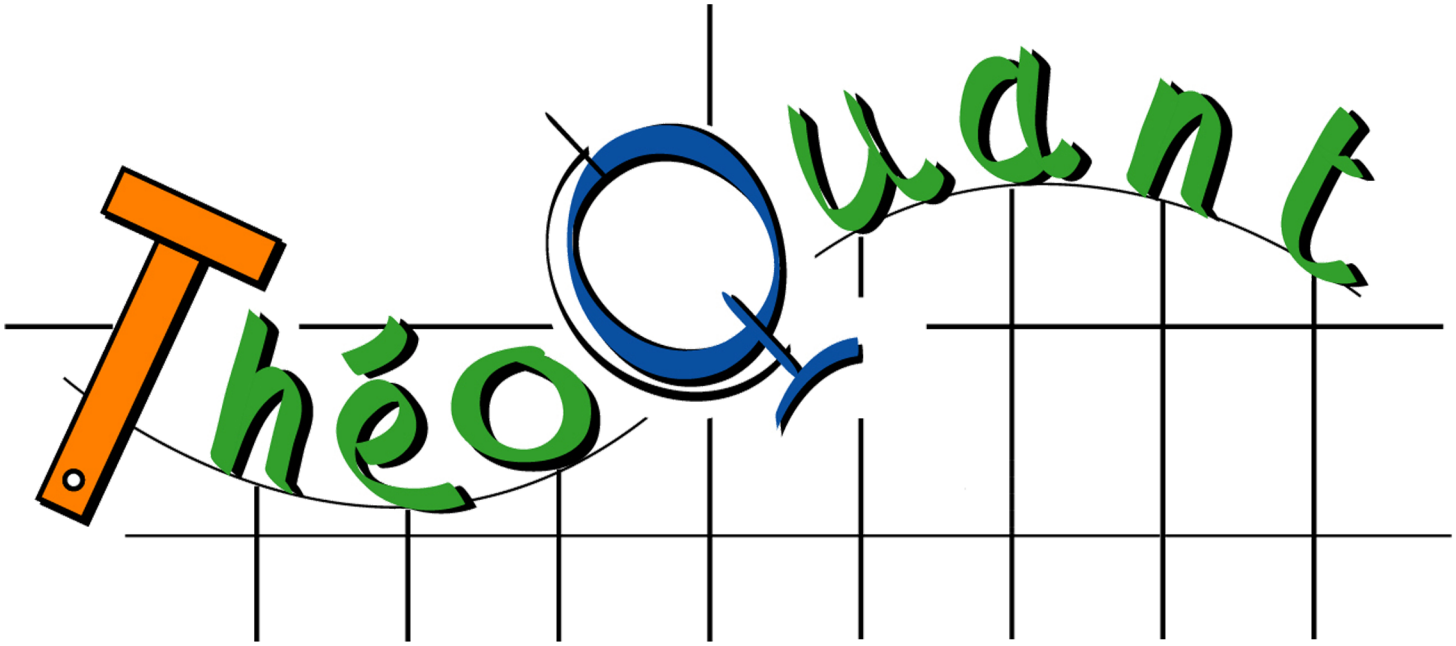
Douzièmes éditions de



Besançon, 20-22 Mai 2015

Nouvelles approches en Géographie Théorique et Quantitative

Résumés des communications

UMR 6049 ThéMA, CNRS/Université de Franche-Comté et de Bourgogne

Sommaire

	Conférences en séance plénière	3
Atelier 1	Modélisation et simulation urbaine (1)	4
Atelier 2	Modélisation et analyse de dynamiques spatiales	17
Atelier 3	Evaluation territoriale	35
Atelier 4	Modélisation et simulation urbaine (2)	54
Atelier 5	Environnement et climat arctique	66
Atelier 6	Mobilité, production, consommation	74
Atelier 7	Les temps du territoire	85
Atelier 8	Morphologies urbaines : simulations et analyses	100
Atelier 9	Observation, acquisition et gestion de la donnée	114
Atelier 10	Géographie de la santé	129
Atelier 11	Statistiques pour l'analyse des territoires	145
Atelier 12	Paysage, écologie du paysage	157
Atelier 13	Modéliser les jeux d'acteurs	171
Atelier 14	Modélisation, simulation à base d'agents	199
Atelier 15	Equipements de transport	214
Atelier 16	Géovisualisation et cartographie	231
Atelier 17	Risques naturels et vulnérabilité	249
Atelier 18	Occupation, utilisation de sols	265

Partenaires des Douzièmes Rencontres de Théo Quant

Centre National de la Recherche Scientifique

Laboratoire ThéMA

Université de Franche-Comté

Ville de Besançon

Région Franche-Comté

Réseau Franco-Suisse

Conférences en séance plénière

Florent Joerin
(HEIG-VD) Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud

Conférence mercredi 20 Mai, 10h30-12h00

Rôle de l'information et des représentations spatiales

Stéphane Joost
(EPFL - LASIG) École polytechnique fédérale de Lausanne - Laboratoire de systèmes d'information géographique

Conférence jeudi 21 Mai, 08h30-10h00

Impact des processus d'urbanisation sur la biodiversité et SIG participatifs

---

Vincent Kaufmann
(EPFL - LASUR) École polytechnique fédérale de Lausanne - Laboratoire de sociologie urbaine

Conférence vendredi 22 Mai, 08h30-10h00

Modes de vie, territoires et consommations énergétiques

Atelier 1

Modélisation et simulation urbaine (1)

Fondements et approches de modélisation 3D des environnements urbains pour la géosimulation

Igor Agbossou

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 CNRS - Université de Franche-Comté

igor.agbossou@univ-fcomte.fr

Mots-clefs - CityGML, Environnement géographique virtuel, Géosimulation, X3D, Shapefile, COLLADA.

Contexte et objectif

Dans le prolongement de la théorie de la géographie virtuelle proposée par Michael Batty (1997, 2008), les Environnements Géographiques Virtuels (EGVs) sont proposés comme une nouvelle génération d'outils d'analyses géographiques, d'aménagements et de prospective de façon plus approfondie (Lin et al., 2012). Le développement des EGVs répond aux trois exigences scientifiques fondamentales des sciences de l'information géographique : visualisation multidimensionnelle, simulation dynamique de phénomènes géographiques et la participation collaborative pluridisciplinaire (Goodchild, 2009). A ce titre, les Environnements Virtuels Urbains pour la Géosimulation (EVUG) sont un cas particulier et constituent un enrichissement des EGVs. En effet, la visualisation et l'analyse spatiale constituent les fonctionnalités de base des outils de l'information géographique (Longley et al., 2011). Cependant, avec l'augmentation de plus en plus en forte des exigences de la cognition spatiale, les SIG répondent de moins en moins aux besoins avancés de la recherche en matière de modélisation et de gestion des espaces complexes. De récentes approches tentent d'intégrer des outils d'analyse spatiale et de visualisation 3D (Brooks et Whalley, 2008 ; Pouliot et al., 2008 ; Aliaga et al., 2009 ; Bansal et Pal, 2009 ; Balogun et al., 2011 ; Yasumoto et al., 2012). Pour ce qui est de la prise en compte réelle de la géointeraction (Lin et al., 2013) dans les approches de la géosimulation (Benenson et Torrens, 2004), les EGVs présentent un véritable intérêt pour la visualisation multidimensionnelle tant du point de vue spatial que du point de vue temporel (MacEachen et Kraak, 2001). De plus, ils permettent d'améliorer grandement la perception du monde (environnement du système simulé). Ils fournissent une plate-forme de simulation permettant aux utilisateurs d'aborder de façon intuitive la dynamique des phénomènes, de faciliter la conduite des simulations et de contribuer à une meilleure compréhension des résultats (Mekni, 2010 ; Xu et al., 2010, 2013, Chen et al., 2011). Bien que les EGVs présentent plusieurs autres avantages, l'usage collaboratif se heurte aux mêmes difficultés liées au format d'échange de données dans les SIG avant l'adoption du Shapefile. Pour palier ce manque, des chercheurs ont exploré des modèles de représentation des données (Su et al., 2008 ; Chen et al., 2008) ; le but étant de pouvoir échanger ces données entre différents EGVs. Mais un véritable obstacle demeure toujours : l'hétérogénéité sémantique. Les EVUG que nous proposons se fondent sur deux standards internationaux pour lever définitivement cet obstacle tout en renforçant la prise en compte des analyses spatio-temporelles multi scalaires et multithématiques dans les modèles données requises pour la géosimulation et la géovisualisation : CityGML et Shapefile.

Données et méthode

Dans la pratique, la conception des environnements urbains de géosimulation en 3D nécessite le recours à plusieurs sources de données. Le défi majeur pour ces applications est l'intégration systématique de cette variété de données selon une approche unifiée afin de pourvoir rendre compte du réalisme de l'environnement virtuel :

- Les données cadastrales : elles offrent le support spatial ainsi que l'adresse des bâtiments et des parcelles. Bien qu'elles ne contiennent pas d'informations géoréférencées 3D, elles constituent une fondation indispensable à la conception des environnements virtuels urbains.
- Les modèles numériques de terrain et les photographies aériennes : les premières servent de surface de référence pour les objets géoréférencés de l'environnement virtuel alors que les photographies aériennes fournissent les données essentielles à la visualisation photoréaliste de l'environnement.
- Les modèles de construction 3D : la granularité de ces modèles est gérée grâce à la norme CityGML (Biljecki et al., 2014)
- ESRI Shapefile pour la description explicite de la géométrie de chaque objet de l'environnemen

En définitive, la conception des environnements virtuels urbains pour la géosimulation nécessite le recours à plusieurs sources de données. Les villes virtuelles se trouvent donc à l'interface de plusieurs approches qui n'étaient pas jusque là connectées pour promouvoir une approche unifiée. La rencontre des approches des SIG et celle de la gestion technique du patrimoine donné naissance à un standard proposé par l'Open Geospatial Consortium (OGC) depuis août 2008 pour le stockage, l'échange et la représentation des données relatives aux modèles de villes. Il s'agit de City Geography Markup Language (CityGML). Cependant, si cette spécification permet d'assurer la cohérence géométrique, topologique et sémantique des objets de géoréférencés de l'environnement virtuel, elle ne gère ni la présentation, ni la visualisation. Comme Kolbe (2008) fait remarquer, CityGML est complémentaire aux normes de visualisation X3D (Web3D, 2014 ; X3D, 2014 ; Xj3D, 2014) et COLLADA (Arnaud et Barnes, 2006 ; Barnes et Levy, 2008). Ces normes sont appropriées pour la visualisation dynamique, et les interactions des modèles 3D basés sur les objets 3D de CityGML. Les propriétés d'apparence des objets CityGML s'appuyant sur des textures et des matériaux issus du monde de l'infographie, il n'est pas recommandé de tenter d'afficher les scènes 3D directement à partir des fichiers CityGML.

Par conséquent, pour ne pas altérer la richesse sémantique des données durant les traitements nécessaires à la géosimulation, notre approche consiste à gérer séparément chaque couche applicative avant de procéder au rendu visuel de la scène 3D de l'environnement. CityGML étant une spécification multi résolutions, la visualisation des résultats de simulation à différentes échelles spatiales dans la scène 3D devient donc possible. Les différents types de bases de données de l'IGN sont utilisés à cette fin.

Principaux résultats

La démarche proposée est appliquée à titre expérimental à la ville de Belfort, notamment à un espace multifonctionnel : mobilités douce et rapide, habitats, commerces et administrations. L'environnement géographique typiquement urbain est modélisé en 3D et simulé de façon virtuelle conformément aux fondements de la théorie de la géographie virtuelle.

Références

Aliaga, et al., 2009, *Visualization of simulated urban spaces : inferring parameterized generation of streets, parcels, and aerial imagery*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 15 (3), 424–435.

Arnaud R. et Barnes M., COLLADA : *Sailing the Gulf of 3D Digital Content Creation.*, A K Peters/CRC Press.

Balogun et al., 2011, *Geovisualization of sub-surface pipelines : a 3D approach*, Modern Applied Science 5 (4), 158–165.

Barnes M. et Levy E., COLLADA – *Digital Asset Schema Release 1.5.0. Specification*, The Khronos Group Inc., Sony Computer Entertainment Inc. `https://www.khronos.org/files/collada_spec_1_5.pdf(consultéle15/12/14)`

Bansal, V.K. et Pal, M., 2009, *Extended GIS for construction engineering by adding direct sunlight visualizations on buildings*, Construction Innovation : Information, Process, Management 9 (4), 406–419.

Batty, M., 1997, *Virtual geography*, Futures 29 (45), 337–352.

Batty, M., 2008, *Virtual reality in Geographic Information Systems*. In : Wilson, J.P., Fotheringham, A.S. (Eds.), The Handbook of Geographic Information Science. Blackwell Publishing, Oxford, UK, pp. 317–334.

Benenson I. et Torrens P. M., 2004, *Geosimulation : object-based modeling of urban phenomena*, Computers, Environment and Urban Systems 28 (2004) 1–8

Biljecki et al., 2014, *Formalisation of the level of detail in 3D city modelling*, Computers, Environment and Urban Systems 48 (2014) 1–15

Brooks, S. et Whalley, J.L., 2008, *Multilayer hybrid visualizations to support 3D GIS*, Computers, Environment and Urban Systems 32 (4), 278–292.

Chen, M. et al., 2008, *Virtual Geographic Environments oriented 3D visualization system*, Journal of System Simulation 20 (19), 7–24.

Goodchild, M.F., 2009, *Virtual Geographic Environments as collective constructions*. In : Lin, H., Batty, M. (Eds.), Virtual Geographic Environments. Science Press, Beijing, pp. 15–24.

Lin et al., 2013, *Virtual Geographic Environment — a workspace for computer-aided geographic experiments*. Annals of the Association of American Geographers 103 (3), 465–482.

MacEachen, A.M., Kraak, M.J., 2001. Research challenges in geovisualization. Cartography and Geographic Information Science 28, 3–12.

Mao et al., 2011, *A multiple representation data structure for dynamic visualisation of generalised 3D city models*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66 (2011) 198–208

Su et al., 2008, *VGEs-oriented Multi-sourced Heterogeneous Spatial Data Integration*. `http://144.206.159.178/ft/CONF/16424604/16424617.pdf` (Consulté le 10/11/ 2014).

Web3D, 2014, X3D, `http://www.web3d.org/x3d/` (consulté le 25/09/14).

X3D, 2014. `http://www.web3d.org/x3d/specifications/` (consulté le 25/09/14).

Xj3D, 2014. `http://www.xj3d.org` (consulté le 25/09/14).

Yasumoto et al., 2012, *Virtual city models for assessing environmental equity of access to sunlight : a case study of Kyoto, Japan*, International Journal of Geographical Information Science 26 (1), 1–13.

Fractalité tridiastatique : Propositions conceptuelles pour l'aménagement urbain

Jean-Philippe Antoni, Pierre Frankhauser, Samy Youssoufi

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 CNRS - Université de Franche-Comté

jean-philippe.antoni@univ-fcomte.fr

Mots-clefs - Analyse fractale, urbanisme souterrain, cartographie 3D, géographie urbaine, ville durable

Contexte

Le contexte de cette communication est motivé par l'objectif de la ville durable (selon la définition de l'ICLEI), et tente de contribuer aux solutions conceptuelles qui permettent d'y parvenir. Nous partons du principe que l'étalement urbain est certes identifié comme un processus néfaste a‘ la continuation de l'urbanisation (§ 1.1), mais posons l'hypothèse qu'il nécessite un changement de paradigme (penser l'espace urbain en 3D et non plus en 2D) pour être dépassé (§ 1.2).

1.1 L'étalement urbain

L'étalement urbain est un processus d'urbanisation qui se mesure généralement dans un espace en deux dimensions par une évaluation diachronique de la forme urbaine, résumée selon un rapport bâti/non bâti (Antoni et Youssoufi, 2007). Généralisé dans les agglomérations françaises depuis les années 1970, cette forme urbaine en expansion diffuse s'accompagne d'externalités négatives sur les trois sphères du développement durable (Antoni, 2010) : économiquement, l'étalement urbain conduit à une augmentation des mobilités pendulaires (Dupuis, 2006) et de la congestion (Koning, 2009), socialement il favorise la ségrégation socio-spatiale (Charmes, 2011) et, d'un point de vue environnemental, il contribue à l'augmentation des émissions des polluants et à la réduction de la biodiversité (Foltête et al., 2013). Pour limiter ces externalités négatives, P. Frankhauser et al. (2007) ont proposé une approche multifractale fondée sur la figure d'un tapis de Sierpinski, qui devrait permettre (i) de réduire les flux de déplacement, (ii) d'optimiser l'accessibilité aux aménités urbaines et rurales, et (iii) de préserver les coulées vertes à l'intérieur de la ville. De nombreuses publications visent aujourd'hui à évaluer l'intérêt de cette approche en les confrontant à des cas d'urbanisation concrets (Tannier et al. (2012) par exemple). Toutefois, d'un point de vue théorique, cette approche fractale nécessite que certains espaces soient laissés vacants pour maximiser la bordure bâti/non bâti ou favoriser la pénétration de coulées vertes jusqu'au centre. Or, au centre des agglomérations surtout, l'intégralité de l'espace est souvent bâti, ce qui rend le modèle applicable essentiellement dans les franges urbaines qui seront construites dans le futur (l'espace périurbain).

1.2 Urbanisation tridiastatique

Le recours a‘ la 3D offre une solution opérationnelle à ce problème. En effet, certains auteurs ont identifié les bâtiments qui pourraient être "translatés" à différentes profondeurs sans que cela ne nuise à leur utilisation, par un recours plus systématique à l'urbanisme souterrain (Utudjian, 1952 ; Barles et Guillerme, 1995). D.

J. Boivin (1989) estime par exemple que le "proche" espace souterrain pourrait accueillir de nombreuses activités commerciales : supermarchés, discothèques, cinémas, restaurants, etc. Ces recommandations s'appuient en grande partie sur les expériences canadiennes (Besner, 1997) ou japonaises (Nishi et al., 2000). Elles permettent de libérer une superficie bâtie importante en surface, selon un schéma qui se calquerait sur les coulées vertes et/ou la maximisation de la bordure bâti/non bâti, sans impacter la centralité des quartiers, ni générer d'étalement urbain.

L'ensemble correspondrait alors en partie au concept de "ville tridiastatique" proposé H. Reymond (1998) qui dépasse l'idée de ville tridimensionnelle (la ville et le monde étant tridimensionnels par essence) en insistant sur son développement vertical : urbaniser en sphère ou en cube (3D) plutôt qu'en disque, en carré ou en étoile (2D).

2 Méthodologie

Dans ce contexte, cette communication vise à évaluer l'apport de l'urbanisme souterrain pour l'évaluation de la forme urbaine d'une grande ville de France, l'agglomération de Strasbourg considérée à travers le territoire politique de sa Communauté urbaine (28 communes). Cet objectif nécessite le développement d'une méthodologie spécifique que nous développons en deux points : la cartographie des bâtiments candidats à l'enfouissement (§ 2.1) et l'évaluation de la forme résultant de cet enfouissement (§ 2.2).

2.1 Cartographie de l'enfouissement

La BD Topo de l'IGN est la principale source de données utilisée dans ce projet. Chaque bâtiment y est géolocalisé et décrit par sa fonction : résidentielle, remarquable (bâtiment religieux, locaux administratifs, installation sportive, etc.), agricole, industriel ou commercial. Cette base est utile pour la sélection des bâtiments susceptibles d'être enfouis pour répondre aux objectifs fixés. En particulier, les bâtiments à vocation industrielle, commerciale, certaines installations sportives et les locaux administratifs sont ceux dont l'enfouissement permettrait de libérer de l'espace sans pour autant compromettre leur usage.

Une nouvelle cartographie est réalisée après éviction des bâtiments préalablement sélectionnés au moyen d'un logiciel SIG 3D : elle permet de visualiser les espaces bâtis en surface et en souterrain de manière dynamique à l'aide d'outils de navigation classiques (navigateurs web) et d'évaluer sommairement les impacts de l'urbanisme souterrain sur les paysages et la forme urbaine.

2.2 Evaluation fractale

Afin d'évaluer plus précisément les effets de l'enfouissement sur la morphologie bâtie, deux types d'analyses fractales sont envisagées : une à l'échelle globale et une à l'échelle locale. Dans le premier cas, la dimension fractale globale de la ville est déterminée avant et après l'enfouissement des bâtiments. Cet indicateur permet de caractériser le degré de concentration de la masse bâtie à travers les échelles (Frankhauser, 1994). Une valeur proche de 0 décrit une structure très hiérarchisée, dans laquelle le bâti est concentré en quelques points bien précis, alors qu'une valeur proche de 2 traduit au contraire une répartition uniforme de la masse bâtie au sein d'une structure très faiblement hiérarchisée.

Dans un second temps, la dimension fractale n'est plus calculée pour l'ensemble de la zone d'étude, mais a‘ partir de plusieurs points d'un semis régulier, selon une logique radiale. En mettant en place cet indicateur avant et après l'enfouissement des bâtiments, il est possible d'évaluer localement les effets de l'enfouissement par la différence entre les dimensions fractales déterminées en chaque point.

Conclusion et discussion

L'évaluation proposée ci-dessus est certes efficace pour débattre concrètement des apports de l'urbanisme souterrain, mais elle ouvre également la voie à des prolongements nécessaires. D'un point de vue méthodologique, l'urbanisme tridiastatique demande d'adapter les analyse fractales (2D) à un espace urbain en trois dimensions ; d'un point de vue conceptuel, cette démarche invite à repenser en 3D les modèles fractals opérationnels d'urbanisme.

Références

Antoni J.P., Youssoufi S., 2007, Etalement urbain et consommation d'espace. Etude comparée de Besançon, Belfort et Montbéliard, *Revue géographique de l'Est*, XLVII, 3, pp. 141-150.

Antoni J.P., 2010, L'étalement urbain. Wackermann G., (Dir.), *La France en villes*, Ellipses, pp. 164-176.

Barles S., Guillerme A., 1995, *L'urbanisme souterrain*, Presses universitaires de France, 128 p.

Besner J., 1997, *Genèse de la ville intérieure de Montréal*, PDF.

Boivin D. J., 1989, De l'occupation du sol urbain à l'urbanisme souterrain, *Cahiers de géographie du Québec*, 33, 88, pp. 37-49.

Charmes E., 2011, *La ville émiettée. Essai sur la clubbisation de la vie urbaine*, Presses universitaires de France, 304 p.

Foltête J.C., Girardet X., Clauzel C., Tournant P., Vuidel G., Bannwarth C., Roué S., Afonso E., Giraudoux P., 2013, Estimer l'impact des grandes infrastructures de transport sur la distribution des espèces : proposition et test d'un protocole méthodologique. In : Luginbuhl Y. (ss. dir), *Infrastructures de transport terrestres, écosystèmes et paysages, des liaisons dangereuses*,La Documentation française, pp. 201-218.

Frankhauser P.,1994,*La fractalité des structures urbaines*, Economica, 291 p.

Frankhauser P., Houot H., Tannier C., Vuidel G., 2007, *Vers des déplacements périurbains plus durables : proposition de modèles fractals opérationnels d'urbanisme*, Rapport de recherche PREDIT, 114 p.

Koning M., 2009, La congestion du boulevard périphérique parisien, *Working paper*, Centre d'économie de la Sorbone, 48 p.

Nishi T. et al., 2000, Estimation of the value of the internal and external environment in underground space use, *Tunneling and underground space technology*, p. 85.

Reymond H., 1998, Approches nouvelles de la coalescence. In : Reymond H., Cauvin C., Kleinschmager R., *L'espace géographique des villes. Pour une synergie multistrate*, pp. 21-48.

Tannier C., Foltête J.C., Girardet X., 2012, Assessing the capacity of different urban forms to preserve the connectivity of ecological habitats, *Land- scape and urban planning*, 105, pp. 128-139.

Utudjian E., 1952, *L'urbanisme souterrain*, Presses universitaires de France, 128 p.

Cellular Automata and Urban Development Simulation : A Transition Rules Creation Process Based on Statistical Analysis.

Valentine Judge[1,2], **Jean-Philippe Antoni**[1]

[1]Laboratoire ThéMA
UMR 6049 CNRS - Université de Franche-Comté

[2]CEPS/INSTEAD
Département développement urbain et mobilité

valentine.judge@univ-fcomte.fr

Key words - Cellular Automata, Spatial Analysis, Principal Component Analysis, Hierarchical Clustering, Decision Tree.

1 Context

Nowadays land use evolution study has become a major stake in urban planning. The main focus is to understand the way in which land use evolves across time and to understand processes that take place. This understanding would allow to plan urban developments based on a knowledge as complete as possible covering as many fields as possible (i.e. urban planning, politics, sociology, etc.). Simulation tools can be used to merge and display different points of view and stakes from different stakeholders (Parrott & Meyer, 2012). Indeed simulation tools have proven to be an efficient way to visualize different kind of stakes that take place on a territory and to come up with solutions that help to achieve general urban planning or organization over a territory (Parrott et Al., 2012). Different studies highlight the usefulness and needs of simulation tools in research focus on urban development and planning (White & Engelen, 1994, Batty et Al., 1999, Parrott et Al., 2012). Several types of simulation tools have been used so far considering urban planning like Cellular Automata (White & Engelen, 1994, Batty et Al., 1999, Jantz C.A., et Al., 2010, Van Vliet J., et Al., 2012) or Agent Based Model (Parrott et Al., 2012).

Cellular Automata (CA) are known for their geometric properties and their potential to show the emergence of trends that could appear on landuse evolution over a spatial area. They present the advantage to link the state evolution of a cell (a parcel) to its current state (its land use) and to states that characterize cells in its neighborhood. The potential evolution of cells is represented by mean of transition rules (Santé I., et Al., 2010).

However issues related to calibration and validation of transition rules in urban CA remain. One of the issues using CA is related to the creation of the transition rules settlement that will drive the simulation. Indeed, “in the context of urban systems, we often have no idea what the “right” rules are” (Torrens, 2011). This paper will focus on CA transition rules creation and proposes two methods to achieve this task. It addresses the hypothesis that landuse composition of the neighborhood has an influence on the landuse change of a cell.

2 Methodology

2.1Data set

In order to fulfill the objective, different datasets showing the composition of the neighborhood from 100m cells are analyzed on the Strasbourg-Kehl area between

1990, 2000 and 2006. Each cell is characterized by variables that represent the neighborhood at a defined distance (eg. : number of agricultural cells within a 500m radius). The method is developed to be transferable over several areas. This is the reason why only open source data available at the European scale are used : Corine Land Cover landuse classification. The choice has been made considering tow specific requirements : (i) generic data available over all of the European area, and (ii) data available from different time periods (making a diachronic analysis possible).

The main hypothesis will be tested on cells that make a transition from a non-urban to an urban type of landuse in order to address the urban development evolution issue. The objective is to understand what type of neighborhood leads to this particular transition and to facilitate the creation of the set of transition rules in CA. In our case study, we propose to base the automation process of the rules on statistical analysis of the neighborhood. Two different methods will be used : a Principal Component Analysis associate to a Hierarchical Classification and a Decision Tree.

2.2 Principal Component Analysis (PCA)

Several descriptive methods for multivariate analysis exist, amongst them Principal Component Analysis. One of the main purpose of this method is to study the resemblance and the difference between individuals (in our case cells defined by a specific landuse) based on the different variables that characterize each one of them : "The core idea to all Principal Component methods is to describe a data set using a small number of uncorrelated variables while retaining as much information as possible. The reduction is achieved by transforming the data into a new set of continuous variables called principal component" (Husson et Al., 2010).

Basically, each component/factor can be described by the variables originally present in the data set. Factors characterize the cells as new variables that summarize the previous variables information. According to the Principal Component Analysis the first factor contains the most significant information ; the second factor the second most significant information and so on. The projection of the individuals according to the two first factors helps to perform a Hierarchical Classification based on their similarities. Several clusters will be obtained from this classification. Each cluster is described and this description leads to the construction of transition rules allowing calibrating CA on the base of PCA results.

2.3 Decision tree

Decision trees are also a well-known method for extracting classification rules from data set. This sorting method arises from Data Mining field and belongs to the supervised descending hierarchical classification group. A decision tree "grow in a top-down way when we successively partition the training data into subsets having similar or the same output (class labels)" (Wang et Al., 2014). In order to build a Decision tree, the subsets represented by "branch" that end in "leaf" are analyzed. A rule that classifies the data into a class can be defined from each leaf. "Once the building process ends, the decision rules generated can be used to predict the classes of the remaining records in the data set" (Padua et Al., 2013).

Our objective is to use the Decision Tree method based on the major criteria of landuse change from a non-urban type to an urban type. As each "leaf" represents a rule, the latter must be adapted, integrated and tested into the Cellular Automata.

3 Results

Results obtained using a Principal Component Analysis and a Decision Tree help to create a set of transition rules based on statistically significant information about type

of neighborhood that lead to a specific transition, and to test them in a Cellular Automata based simulation. Two rules sets are produced by the statistical analysis mentioned above. They are not identical but reveal themselves as complementary and allow highlighting parameters or trends from different points of view.

The efficiency of each transition rules set is tested making a comparison between actual landuse cover data from Corine Land Cover database and simulation landuse data obtained running the simulation according to the transition rules created on the base of on statistics analysis of the neighborhood.

The understanding of the neighborhood environment that leads to a landuse change from a non-urban type of landuse to an urban type provides significant intelligence concerning the landuse evolution study in general, with an urban development specific scope. A further objective is to integrate this knowledge into the prospective scenario process of creation. This study will then contribute to the general stake of urban growth and artificial land sprawl studies.

References

Batty M., Xie Y., Sun Z., 1999, « Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata », *Computers, Environment and Urban Systems* 23, 205-233.

Husson, F., Josse, J. & Pagès J., 2010, «Principal component methods - hierarchical clustering - partitional clustering : why would we need to choose for visualizing data ? », *Technical report.*

Jantz C. A., Goetz S. J., Donato D., Claggett P., 2010, « Designing and implementing a regional urban modeling system using the SLEUTH cellular urban model », *Computers, Environment and Urban Systems*, 34, 1–16.

Kolossov V., Scott J., 2013, « Selected conceptual issues in border studies », *Belgeo* [Online], 1 | 2013, Online erschienen am : 31 Oktober 2013, nachgeschlagt am 04 Februar 2014. URL : `http://belgeo.revues.org/10532`

Moullé F., 2013, « La frontière et son double. Un modèle à partir de l'expérience européenne », *Belgeo* [En ligne], 1 | 2013, mis en ligne le 31 octobre 2013, consulté le 21 janvier 2014. URL : `http://belgeo.revues.org/10620`

Padua L., Schulze H., Matkovi ? K., Delrieux C., 2013, « Interactive exploration of parameter space in data mining : Comprehending the predictive quality of large decision tree collections », *Computers & Graphics* 41 (2014) 99–113

Parrott, L., Meyer, W., 2012, « Future Landscapes : Managing within complexity », *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(7) : 382–389 doi :10.1890/110082.

Parrott, L., Chion C., Gonzalès R. and Latombe G., 2012. « Agents, individuals, and networks : modeling methods to inform natural resource management in regional landscapes », *Ecology and Society* 17(3) : 32. `http://dx.doi.org/10.5751/ES-04936-170332`

Torrens, P.M., 2011, « Calibrating and validating cellular automata models of urbanization », *Urban Remote Sensing : Monitoring, Synthesis and Modeling in the Urban Environment*, Yang, Xiaojun (Ed.). Chichester : John Wiley & Sons, pp. 335-345

Van Vliet J., Hurkens J., White R., Van Delden H., 2012, « An activity-based cellular automaton model to simulate land-use dynamics », *Environment and Planning B : Planning and Design*, 39, 198 - 212

Wang X., Liu X., Pedrycz W., Zhang L., 2014, « Fuzzy rule based decision trees », *Pattern Recognition* 48 (2015) 50–59

Automates cellulaires multi-labels pour la modélisation de la croissance urbaine

Hichem Omrani, Reine-Maria Basse, Olivier Klein

Urban Development and Mobility Department
LISER (Luxembourg Institute of Socio-Economic Research)
Esch/Alzette, Luxembourg

hichem.omrani@ceps.lu ; reine-maria.basse@ceps.lu ; olivier.klein@ceps.lu

Contexte et objectif

Dans un environnement cellulaire, la mesure de la croissance urbaine reste généralement liée à la résolution spatiale des données et au caractère des cellules. Ainsi, dans les approches classiques, une cellule ne peut contenir qu'une seule propriété, généralement la classe dominante, et ne témoigne donc pas d'une mixité possible de l'occupation du sol. Afin de tenir compte de cette mixité, nous proposons d'intégrer l'ensemble des attributs présents dans la cellule sous la forme d'une approche cellulaire multi-labels.

L'objectif de cette communication est de proposer un cadre théorique et empirique pour la modélisation de l'occupation mixte du sol pour éviter une perte d'information afin d'aboutir à des résultats de simulation plus réalistes.

Pour cela, nous devons faire face à deux principaux challenges. Il s'agit, d'une part, de collecter et générer des données multi-labels pour appréhender une occupation mixte du sol et, d'autre part, de modéliser et simuler ce système complexe, puis de valider les résultats issus de la simulation.

Données

Pour mettre en place notre approche, d'automates cellulaires multi-labels, nous choisissons comme cas d'étude le Grand-Duché de Luxembourg, soit une zone d'étude ayant une étendue maximale de 82 km du nord au sud et de 57 km d'est en ouest. Les données issues de l'Occupation Biophysique du Sol (OBS) de 1999 et 2007 sont mobilisées. Ces deux couches vectorielles sont basées sur la nomenclature Corine Landcover avec un découpage en 76 classes d'occupation du sol. La géométrie de ces couches est adaptée aux limites de la BD-Topo de l'Administration du Cadastre et de la Topographie du Luxembourg (source : ACT, 2008).

Dans un premier temps, les 76 catégories initiales d'occupation du sol sont reclassées en 6 classes principales : Agriculture, Forêt, Industrie, Urbain, Réseaux de transport et Eau. Dans un second temps, afin d'intégrer ces données dans un automate cellulaire, nous convertissons ces couches vectorielles en rasters avec une résolution de 100x100 m. Lors de cette rastérisation dénommée soft classification, des données multi-labels sont créées. En effet, lorsqu'une cellule couvre une zone mixte, l'ensemble des caractéristiques associées à cette cellule sont prises en compte, alors que généralement seul le caractère dominant est retenu (*hard classification*).

A ce stade, nous disposons donc d'une grille multi-labels, à chaque date, qui se compose d'un ensemble de cellules ayant un ou plusieurs attributs. En parallèle, d'autres variables pouvant expliquer la croissance urbaine sont mobilisées, entre-autres l'accessibilité, les propriétés physiques du sol (par ex. la pente), la population, l'emploi et/ou

le coût du foncier.

Méthodologie

Face à ces cellules ayant des attributs multi-labels, nous privilégions une approche plus en adéquation avec les données sources. De la sorte, nous considérons un automate cellulaire multi-labels comme étant constitué d'une grille régulière de cellules contenant chacune un ou plusieurs états, choisis parmi un ensemble fini, évoluant au cours du temps de la simulation.

L'automate cellulaire multi-labels proposé dans cette communication est paramétré de telle sorte que la mixité inhérente à l'usage des sols est modélisée de manière dynamique. En effet, dans ce type d'automate une cellule de résolution 100x100m peut disposer de plusieurs attributs, parce qu'elle peut être à la fois urbaine, industrielle et/ou commerciale ; agricole et/ou forêt, ou simplement urbaine. De multiples combinaisons sont ainsi imaginables et possibles (Omrani et al., 2015).

Caractéristiques de l'automate cellulaire multi-labels

Dans chaque cellule, le contenu est variable dans la mesure où nous aurons à traiter un premier groupe de type d'occupation du sol codé comme étant de nature « active », c'est-à-dire dynamique avec une forte capacité de croissance dans le temps et dans l'espace géographique. Très souvent, ce type actif (urbain, industriel et/ou commercial) croît de manière drastique au détriment des autres types d'occupation du sol dans le voisinage immédiat. Un deuxième groupe de type d'occupation du sol est codé comme étant « passif » (agriculture et/ou forêt) car très souvent « victime » du dynamisme du premier groupe. Et enfin, un dernier groupe de type d'occupation du sol est codé « statique » (eau, réseaux de transport) parce qu'il n'évolue pas dans le temps de la simulation. Cependant même si ce type n'évolue pas, il participe d'une manière ou d'une autre à l'évolution du système général de l'occupation du sol. C'est le cas par exemple du réseau de transport qui influence la croissance urbaine à travers l'accessibilité à différents pôles. Les travaux de White et Engelen nous livrent plus de détails sur ces notions « actives », « passives » ou « statiques » (White et al, 1993 ; 1997). Dans un automate cellulaire classique (mono-label) une cellule est soit de nature active, soit de nature passive, soit de nature statique. Avec un automate cellulaire multi-labels, elle peut être tout à la fois. Cette particularité introduit automatiquement des difficultés, et ceci à plusieurs niveaux : au niveau de la reconnaissance de certains patrons ; au niveau de la classification d'un certain nombre d'observation, au niveau de la définition des paramètres du modèle avant exécution de la simulation et enfin, au niveau de la calibration et la validation du modèle dans la mesure où les conversions qui ont lieu (un type d'occupation vers un autre) sont ici plus complexes qu'à l'habitude et, par conséquent, rendent la définition des règles de transition difficile à appréhender.

Règles de transition : utilisation des réseaux de neurones pour la génération des règles

Le principal problème lors de l'implémentation d'un modèle d'automate cellulaire est la construction des règles de transition définissant la structure générale du modèle. Les réseaux de neurones artificiels ont pour avantage principal de pouvoir générer des règles de transition semi-automatiques réalistes et fiables surtout quand il est question d'implémenter ces règles à partir d'une base de données conséquente (Li et Yeh, 2002 ; Basse et al, 2014). L'algorithme généralement utilisé pour la génération des règles est le Back propagation method (Zhang et al., 2006). Il est relativement simple et robuste. De ce fait, il permet d'assurer non seulement les processus de conversions qui ont lieu et pourraient avoir lieu dans le système, mais aussi de prendre en compte de manière plus précise la compétition spatiale

entre les différents types d'occupation du sol ainsi que de nombreuses relations spatiales complexes.

Calibration semi-automatique multi-labels

La calibration semi-automatique est une approche à privilégier afin de garder une interaction et un contrôle sur le modèle et d'éviter ainsi « le piège » du tout automatique. Aussi, dans cette application, la calibration semi-automatique consiste :

- à ajuster les poids proposés par le réseau de neurones grâce à la fonction d'activation (activation function) au terme d'un certain nombre d'itérations. Il s'agit dès lors de pouvoir minimiser les écarts entre situations observées et simulées
- à évaluer si un résultat généré au terme de la simulation fait suffisamment sens pour être réutilisable comme une nouvelle entrée du modèle
- à contraindre le modèle, avec des indicateurs comme l'accessibilité, la distance, les effets de proximité, la nature du voisinage, les propriétés physique

Résultats attendus

Quatre principaux résultats sont attendus :

- a) une mesure plus précise de la croissance urbaine au Luxembourg, à moyen et long terme (2015, 2023, 2030, etc.)
- b) un automate cellulaire multi-labels capable de simuler la complexité de l'occupation du sol qui, par nature, est mixte
- c) un modèle reproductible sur d'autres espaces, notamment transfrontaliers, comme la Grande Région (Luxembourg, France, Belgique, Allemagne)
- d) un cadre théorique, innovant et utile, pour la communauté des chercheurs en géo-simulation

References

Basse, R.M., et al., 2014. Land use changes modelling using advanced methods : Cellular automata and artificial neural networks. The spatial and explicit representation of land cover dynamics at the cross-border region scale. Applied Geography, 53, 160–171.

Li, X., Yeh, A. G. O. (2002). "Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS". International Journal of Geographical Information Science 16 (4), 323-343.

Omrani, H., et al., 2015. Multi-label class assignment in land-use modelling. International Journal of Geographical Information Science (under second review).

White, R., Engelen. G. (1993). "Cellular automata and fractal urban form : a cellular modelling approach to the evolution of urban land use patterns". Environment and Planning A : 25, 1175-1199.

White, R., Engelen, G., Uljee, I. (1997). "The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land use dynamics". Environment and planning B : Planning and Design 24, 323–343.

Zhang, M.L., and Zhi-Hua Z., 2006, "Multilabel neural networks with applications to functional genomics and text categorization". IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 18.10, 1338-1351.

Atelier 2

Modélisation et analyse de dynamiques spatiales

Un modèle, et après ? Exploitations de dynamiques urbaines simulées avec MARIUS.

Clémentine Cottineau[1], Guillaume Chérel[2], Paul Chapron[2], Romain Reuillon[2], Denise Pumain[3]

[1]Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London
c.cottineau@ucl.ac.uk

[2]UMR Géographie-cités
ISC-PIF
ERC GeoDiverCity

[3]Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne
IUF
UMR Géographie-cités
ERC GeoDiverCity

Mots-clefs - Système de villes, Simulation, Multi-agents, ex-URSS, exploration de modèle.

La simulation de modèles multi-agents est un exercice devenu fréquent en géographie, notamment pour la simulation de systèmes de villes depuis le modèle SimPop [Bura et al., 1996]. La démarche de modélisation a rempli jusqu'à récemment son rôle d'aide à la compréhension et à la formalisation d'hypothèses et de processus théoriques (son rôle pédagogique). Toutefois, lorsque le modèle n'était pas abandonné une fois conçu, son exploration (calibrage, analyse de sensibilité, projections) a longtemps été entravée par l'absence d'automatisation et de capacité de calcul. Ainsi, l'évaluation intensive et l'exploration extensive des dynamiques simulées n'a souvent pas pu être menée à bien et a limité les retours thématiques issus non seulement de la conception du modèle mais surtout de sa simulation.

Nous proposons dans cette communication de présenter les résultats d'une démarche d'évaluation et d'exploration d'un modèle (MARIUS[1]) permise par la collaboration entre géographes, modélisateurs et informaticiens et l'accès à des ressources de calcul importantes au sein du projet ERC GeoDiverCity.

Le modèle et ses objectifs géographiques.

Le modèle MARIUS est un modèle multi-agents construit dans le cadre d'une thèse de géographie visant à comprendre les processus à l'origine de l'évolution systémique des villes dans l'espace post-soviétique [Cottineau, 2014]. Il a été construit pour implémenter de manière incrémentale des mécanismes - allant du plus général au plus particulier - permettant de reproduire les trajectoires observées du système durant la période de stabilité démographique et géopolitique de la fin de l'Union soviétique, c'est-à-dire entre 1959 et 1989. Sa conception incrémentale peut être qualifiée de *theory-driven*, tandis que son évaluation est *data-driven*.

Dans sa forme la plus parcimonieuse, mais suffisamment complexe pour rendre compte de dynamiques réalistes aux échelles micro-géographique de la ville et macro-géographique du système de villes, le modèle intègre cinq mécanismes (caractérisés par huit paramètres libres) :

1. Les villes sont initialisées à leur population et localisation empiriques en

1. Modèle des Agglomérations du périmètre Russie Impériale et Union Soviétique.

1959, et leur richesse accumulée est estimée selon une loi d'échelle superlinéaire.

2. Au début de chaque pas de temps (équivalent à une année), on calcule pour chaque ville une quantité produite et une quantité consommée collectivement dans l'année par l'ensemble des citadins. Ces quantités sont modélisées comme liées à la population par une forme superlinéaire, c'est-à-dire que les grandes villes consomment et produisent plus par habitant.
3. À chaque couple de villes sont associés deux potentiels d'interaction qui dépendent de l'offre de l'une, de la demande de l'autre et de la distance qui les sépare.
4. Une transaction est effectivement réalisée entre deux villes si le potentiel d'interaction orienté dépasse une valeur correspondant au coût fixe d'un échange (coût d'entrée, logistique, coût de transaction, etc.).
5. La balance des transactions est bonifiée pour chaque ville en fonction du volume et de la diversité des échanges opérés, puis convertie en stimulus de croissance de population selon un paramètre permettant de différencier ce stimulus en fonction de la taille des villes.

Sous cette forme parcimonieuse et grâce à une procédure de calibrage automatique [Schmitt et al., 2014], nous avons montré que le modèle parvenait à reproduire l'évolution de la structure hiérarchique du système de villes telle qu'observée en Union soviétique entre 1959 et 1989. De plus, nous avons montré avec une analyse de profils de calibrage reposant sur une exploration intensive et automatisée de l'espace des paramètres libres et des trajectoires du systèmes correspondantes [Reuillon et al, 2014], que tous les paramètres étaient contraignants et, partant, que tous les mécanismes étaient nécessaires à la dynamique du modèle en vue de reproduire la structure hiérarchique du système observé [Cottineau et al., 2014].

2. Explorations de la complexité du modèle

Etant donnée la confiance acquise dans le fonctionnement du modèle par son calibrage et une analyse de sa sensiblité, nous avons voulu explorer plus en profondeur la dynamique complexe du modèle et ses capacités prédictives. Pour ce faire, nous présentons deux explorations menées sur le modèle MARIUS, représentant deux directions de recherche sur les dynamiques complexes incluses dans le modèle.

La première exploration vise à tester la robustesse du modèle en fonction du temps et de l'espace simulé. En effet, les mécanismes implémentés sont supposés être génériques et non spécifiques à un espace et à une période donnés : le modèle devrait donc être performant pour simuler l'évolution hiérarchique des villes post-soviétiques après 1991 [2] , de même que l'évolution hiérarchique d'autres systèmes de villes. Le calibrage de MARIUS sur la période 1989-2010 s'est révélé probant et même plus proche des données empiriques que le modèle original conçu pour la période 1959-1989. De même, un modèle initialisé et calibré en fonction des données urbaines indiennes au cours des cinquante dernières années [Swerts, 2013] donne des résultats satisfaisants.

La seconde exploration vise précisément à observer les différents scénarios géographiques d'évolution du système, plausibles ou non, que l'on peut obtenir en simulant MARIUS. Cette exploration, effectuée avec un algorithme évolutionnaire développé pour favoriser la découverte de motifs divers (PSE) en termes de croissance démographique du système et de hiérarchisation, a révélé que :

– Le système simulé peut décroître démographiquement en se hiérarchisant (comme le système urbain russe des vingt dernières années).

2. Ou plutôt 1989, qui correspond au dernier recensement soviétique.

– Le système simulé peut produire une égalisation des tailles de villes en restant dans des valeurs de paramètres réalistes.
– Le système simulé peut atteindre des valeurs de hiérarchisation et de croissance extrêmes, très en deçà et au delà des intervalles empiriquement plausibles.

L'utilisation de cette méthode se justifie lorsque l'on cherche à savoir si le modèle produit des motifs auxquels on ne s'attend pas. Les modèles complexes sont en effet supposés pouvoir produire des comportements inattendus. De plus, la connaissance de la diversité des motifs simulables par le modèle peut nous donner des informations importantes sur sa dynamique (hypothèses irréalistes, prédictions éventuelles, erreurs d'implémentation). Cette exploration guidée par la diversité nous éclaire sur la structure et les propriétés du modèle MARIUS, et plus précisément sur la forme de l'espace des comportements que ses mécanismes sont susceptibles de faire apparaître. Cela renforce le pouvoir explicatif du modèle, en identifiant non seulement des trajectoires potentielles intéressantes d'un point de vue géographique, mais également au sens systémique, en situant ces trajectoires les unes par rapport aux autres.

3. Enseignements géographiques des explorations de modèles MARIUS

Ainsi, la première exploration sur d'autres espaces et d'autres périodes temporelles permet de confirmer l'aspect générique des mécanismes inscrits dans le modèle. Le fait que ces mécanismes soient plus performants après 1991 qu'avant, grâce à l'application du même modèle aux deux périodes 1959-1989 et 1989-2010 peut donner une indication de la particularité de certaines dynamiques urbaines soviétiques, que l'on recherchera dans les résidus du modèle. Dans la démarche incrémentale de construction d'un modèle de système de villes, MARIUS constitue un référentiel pour comparer des modèles plus complexes incluant des mécanismes plus particuliers dans les interactions entre villes et leurs interactions avec l'environnement géographique (afin de rendre compte de la différenciation spatiale de la croissance et de la diversité des trajectoires individuelles de villes, que ce premier MARIUS ne simule pas encore). Ces mécanismes peuvent ainsi varier selon la particularité des systèmes simulés dans le temps et dans l'espace.

Enfin, l'exploration des scénarios simulables par le modèle nous renseigne sur le potentiel de diversité du modèle : bien que la structure du modèle ait été évaluée en fonction de sa capacité à simuler des trajectoires soviétiques croissantes et hiérarchisantes, le fait d'obtenir un modèle qui ne soit pas sur-determiné vers ce genre de résultat nous semble intéressant pour sa généricité et donc sa réutilisation en vue de répondre à d'autres questions macro-urbaines. Par ailleurs, le fait que le modèle puisse produire des scénarios improbables - c'est-à-dire produise des systèmes de villes simulés très éloignés des systèmes observés empiriquement, par l'ampleur de la croissance ou de la différenciation des tailles de villes - nous invite à mieux contraindre les intervalles des paramètres d'entrée du modèle pour lesquelles on manque de données ou à corriger certains mécanismes. Enfin, la découverte de scénarios inattendus à l'intérieur des intervalles plausibles de hiérarchisation et de croissance (comme la décroissance démographique accompagnée de hiérarchisation) nous semblent intéressants pour comprendre les relations entre différentes propriétés de systèmes de villes (dans ce cas : leur croissance et leur dynamique de hiérarchisation) à partir de conditions non encore observées dans le monde, mais qui pourraient caractériser le système urbain européen dans les années à venir.

En effet, la décroissance démographique de grande ampleur observée dans les années 1990-2000 en Russie, dans l'Est de l'Europe ou au Japon pourrait se généraliser en Europe avec la Seconde Transition Démographique [Van de Kaa, 1987]. Est-ce une opportunité pour voir les systèmes de villes se déhiérarchiser ? Quels paramètres

influencent la poursuite de l'une ou l'autre des trajectoires possibles du système ? La méthode d'exploration appliquée au modèle MARIUS permet de mettre au cœur de l'analyse la complexité géographique et la contingence historique des trajectoires urbaines en contrôlant in silico les conditions d'expériences impossibles à mener sur des systèmes urbains réels.

Références

Bura S., Guérin-Pace F., Mathian H., Pumain D., Sanders L., 1996, Multi-agents system and the dynamics of a settlement system, *Geographical Analysis*, vol 28, 2, pp 161-178

Cottineau C., Chapron P., Reuillon R., 2014, "An incremental method for building and evaluating agent-based models of systems of cities", *Pre-print halshs-01093426*, submitted to JASSS, `https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01093426/document`

Cottineau C., 2014, *L'évolution des villes dans l'espace post-soviétique. Observation et modélisations*, Thèse de doctorat à l'Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne.

Reuillon R., Schmitt C., De et Aldama R., Mouret J.B., A new method to evaluate simulation models : The Calibration Profile (CP) algorithm, submitted to JASSS

Schmitt C., Rey-Coyrehourcq S., Reuillon R., Pumain D., 2014, « Half a billion simulations : Evolutionary algorithms and distributed computing for calibrating the SimpopLocal geographical model », Submitted to Environment and Planning B,`http://www.OpenMOLE.org/files/Schmitt2014.pdf`

Swerts E., 2013, *Les systèmes de villes en Inde et en Chine*, Thèse de doctorat à l'Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne.

Van de Kaa D. J., 1987, « Europe's Second Demographic Transition », *Population Bulletin*, vol. 42, pp. 1-57

Pleins feux sur le modèle de radiation

Hadrien Commenges[1], **Florent Le Néchet**[2]

[1] Labex Futurs Urbains, ENPC
Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains

[2] Université Paris Est, ENPC
Laboratoire Ville Mobilité Transport

Mots-clefs - Modèles d'interaction spatiale ; modèle de radiation ; modèle gravitaire ; mobilité quotidienne ; mobilité résidentielle.

Contexte et objectif

Dans un article récemment publié dans la revue Nature, Simini, González, Maritan et Barabási proposent un « modèle universel » appliqué à la mobilité et aux migrations : le modèle de radiation Simini et al. (2012b). Les auteurs comparent ce modèle au modèle de gravité en termes de fondements théoriques et de résultats empiriques. Ils affirment que le modèle de gravité souffre de faiblesses théoriques importantes et qu'il produit des résultats empiriques médiocres. Ils concluent que « toute forme de loi gravitaire est intrinsèquement inappropriée pour décrire de façon satisfaisante les navettes domicile-travail » (Simini et al. 2012a, p.9). Leur article présente le formalisme du modèle de radiation et le compare à celui du modèle gravitaire, il présente ensuite une comparaison de résultats obtenus avec les deux modèles sur des jeux de données variés : flux domicile-travail, migrations résidentielles, flux de marchandises et appels téléphoniques. Le jugement semble sans appel : le modèle de radiation est plus élégant dans son formalisme, il est systématiquement meilleur dans ses prévisions.

L'article de Simini et al. a été discuté par un groupe de chercheurs (Masucci et al. 2013) qui y répond par une confrontation du modèle de radiation et du modèle gravitaire sur différents jeux de donnés. En travaillant sur le périmètre du Grand Londres, les auteurs mettent en évidence un biais de comparaison dans le travail initial : le résultat de la comparaison dépend étroitement de l'échelle spatiale de modélisation. Ce travail de comparaison est assez isolé et il mérite d'être approfondi. Dans cette communication, nous discuterons donc du modèle de radiation en le met- tant à l'épreuve d'une comparaison multiple : comparaison de trois modèles - modèle de radiation, modèle gravitaire, modèle aléatoire - ; comparaison sur différents jeux de données ; comparaison sur différentes échelles ; comparaison avec différentes granularités ; comparaison au regard de plusieurs indicateurs d'évaluation des sorties. Au terme de cette comparaison multiple, nous proposerons une grille synthétique qui permettra de juger de la pertinence de l'usage de ces modèles selon les différents contextes et objectifs de recherche.

Données et méthodes

Trois modèles seront comparés, un modèle de radiation, un modèle gravitaire et un modèle aléatoire. Le modèle de radiation est formulé en termes de radiation et d'absorption, il ne nécessite que quatre variables : le total de flux à l'origine (T_i), la population de i (m_i), la population de j (n_j) et enfin la population totale dans le cercle de centre i et de rayon égal à la distance entre i et j (s_{ij}) :

$$T_{i,j} = T_i \frac{m_i m_j}{(m_i + s_{ij})(m_i + m_j + s_{ij})} \quad (1)$$

Le modèle gravitaire utilisé est un modèle calibré pour chaque jeu de données et sou-

mis à une double contrainte aux marges. Le flux entre i et j est fonction des masses de i et de j (m_i et m_j) et d'une fonction décroissante traduisant la friction de la distance entre i et j (C_{ij}), α et β étant les facteurs de balancement assurant la contrainte aux marges :

$$T_{i,j} = \alpha_i \beta_j m_i m_j f(C_{ij}) \qquad (2)$$

Le modèle aléatoire, quant à lui, est un modèle construit de façon à respecter la distribution des flux observés mais en les redistribuant aléatoirement dans la matrice origine-destination.

Plusieurs jeux de données sont mobilisés, tous trois produits par l'Insee dans le recensement de la population 2010 : les navettes domicile-travail, les mobilités scolaires et les migrations résidentielles. Chacun de ces jeux de données sera utilisé à plusieurs échelles, de l'échelle nationale à l'échelle de l'aire urbaine. Ce jeu des échelles sera complété par des tests faisant varier la granularité de la maille prise en compte, de la commune à la région.

Enfin, plusieurs indicateurs d'évaluation des sorties seront mis en place : un pourcentage d'erreur mettant en relation les flux observés avec les flux estimés par les différents modèles, la distribution des distances de déplacement et la distribution des masses des unités spatiales. Dans cet exercice d'évaluation, nous proposerons également une façon de spatialiser la mesure de l'erreur pour étudier où les modèles peinent à estimer les flux.

Résultats attendus

La comparaison multiple des trois modèles sur différents jeux de données, à différentes échelles et avec différentes granularités permettra de mettre en place une grille synthétique résumant les forces et les faiblesses de ces modèles d'interaction spatiale.

Cette grille sera d'abord le support d'une discussion sur des problèmes courants dans l'analyse de flux : le modèle de radiation ne mobilise que des populations, il considère donc qu'il y a une corrélation forte entre les caractéristiques qui font des unités spatiales des émetteurs et/ou des récepteurs de flux (des domiciles et des lieux de travail par exemple). Or, l'existence de telles corrélations dépend du maillage, ce qui permettra de poser la question du modifiable areal unit problem non seulement dans une analyse de corrélation entre des variables mesurées dans les mailles (Openshaw et Taylor 1979) mais aussi dans une analyse de la distribution des flux entre ces mailles (Courgeau 1973).

Cette grille synthétique servira également une réflexion plus générale sur l'usage des modèles. À travers un examen détaillé de l'usage des modèles d'interaction spatiale en contexte urbain, nous proposerons des pistes pour une appréhension de l'usage des modèles en sciences sociales.

Références

Courgeau, D. (1973). Migrations et découpages du territoire. *Population*, vol.28, pp. 511–537.

Masucci, A. P., Serras, J., Johansson, A. et Batty, M. (2013). Gravity versus radiation models : on the importance of scale and heterogeneity in commuting flows. *Physical Review E*, vol.88, no2, p. 022812.

Openshaw, S. et Taylor, P. J. (1979). A million or so correlation coefficients : three experiments on the modifiable areal unit problem. In Wrigley, N. (dir.) : *Statistical methods in the spatial sciences*, pp. 127–144. Pion, London.

Simini, F., González, M. C., Maritan, A. et Barabási, A.-L. (2012a). A uni- versal model for mobility and migration patterns. Supplementary information. *Nature*, vol.484, pp. 1–27.

Simini, F., González, M. C., Maritan, A. et Barabási, A.-L. (2012b). A uni- versal model for mobility and migration patterns. *Nature*, vol.484, pp. 96–100.

Méthodologie de modélisation climatique à l'échelle des terroirs viticoles : exemple du Libournais Est

Renan Le Roux[1], Malika Madelin[2], Nicolas Jegou3, Laure de Resseguier[4], Cyril Bonnefoy1[1], Cornelis Van Leeuwen[4] et Hervé Quenol[1]

[1]LETG-COSTEL, UMR 6554 CNRS, Université de Rennes 2

[2]Laboratoire de géographie PRODIG UMR 8586 Université Paris-Diderot Paris 7

[3]Université européenne de Bretagne Rennes 2

[4]Bordeaux Sciences Agro, Univ. Bordeaux, ISVV, Ecophysiology and functional genomics of grapevines, UMR 1287

renan.leroux@uhb.fr

Introduction

La vigne est une des plantes pérennes les plus anciennement cultivées et son fonctionnement est fortement influencé par les conditions climatiques de son milieu naturel. Le climat a des effets très importants sur la viticultureet par conséquent sur la qualité et la typicité du vin (Huglin et Schneider 1998 ; Van Leeuwen et al. 2004). Sur certains terroirs (notamment en milieu accidenté), les variations climatiques sont très importantes sur des espaces relativement restreints (de l'ordre de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres) (Brossard et al. 2002 ; Madelin 2004 ; Cuccia 2013). La qualité du raisin ou du vin est souvent en relation avec les caractéristiques locales (altitude, pente, orientation, distance aux masses d'eau, etc.). Dans un contexte de changement climatique, les modèles globaux et régionauxpermettent de prendre en compte un grand nombre de paramètres atmosphériques d'échelle synoptique, mais ils ne permettent pas d'obtenir des résultats satisfaisants aux échelles locales car,d'une part,la résolution spatiale est trop grossière et, d'autre part, ils nécessitent une importante capacité de calcul.Des modèles statistiques statiques reposant sur des techniques géostatistiques ont été développés pour permettre une estimation du climat et notamment des températures aux échelles fines(Madelin et Beltrando 2005 ; Stahl et al. 2006 ; Bonnefoy 2013). Ces modèles statistiques permettent de prendre en compte les effets locaux et de quantifier les relations entre ces éléments locaux et les paramètres climatiquesmais n'apporte qu'une information partielle du fait de leur caractère statique. Cette étude se place dans le cadre du programme LIFE-ADVICLIM [3](2014-2019) qui vise à proposer des solutions d'adaptation de la viticulture au changement climatique à l'échelle des terroirs viticoles. Un des enjeux de ce programme est d'assurer l'emboîtement des échelles climatiques du niveau « synoptique » aux échelles fines en couplant les deux types de modélisation (Global dynamique et multicritère statistique). Dans un premier temps, il est nécessaire d'automatiser et d'assurer la reproductibilité, sous différentes contraintes environnementales, de la modélisation statistiques (ou multicritère).Cette communication présente la mise en place d'une méthodologie de modélisation multicritère adaptée et reproductible

3. LIFE-ADVICLIM : ADapatation of VIticulture to CLIMate change : High resolution observations of adaptation scenarii for viticulture. `http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=4998`

dans plusieurs vignobles européens.

Site d'étude

Le site retenu pour l'étude présentée ici est l'un des sites du programme LIFE-ADVICLIM.Il est composé de 16 communes de la région du Libournais, située dans le département de la Gironde, au nord de la Dordogne. Plusieurs AOC viticoles sont présentes sur le site, l'AOC Saint-Emilion, l'AOC Pomerol ainsi qu'une partie de l'AOC Bordeaux supérieur, l'ensemble prenant le nom de Libournais Est. Le relief est assez contrasté pour le bassin Aquitain avec deux plateaux culminant à une centaine de mètres, séparés par les vallées de la Barbanne et le ruisseau de Lavie plus au nord, la Dordogne coulant au sud du site. Il s'agit d'une région viticole importante en France, les principaux cépages cultivés étant le Merlot, le Cabernet-franc et le Cabernet Sauvignon. Du fait de ce relief contrasté et de la présence de la Dordogne, on y trouve une grande variabilité climatique. Nous avons retenu ce site d'étude pour mettre en place la méthodologie de modélisation en raison de la disponibilité des données sur trois années et pour un grand nombre de capteurs, et la complexité de la topographie.

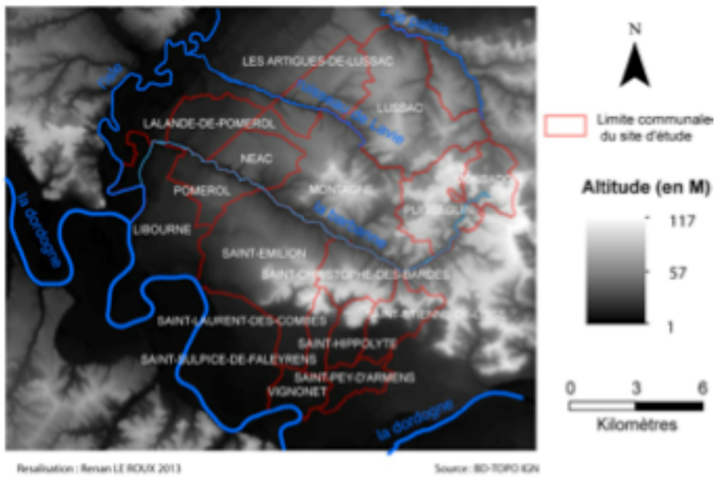


FIGURE 1 – Site d'étude du Libournais

Matériels et méthodes

Le site d'étude a été équipé, en 2011, de 94 capteurs de température de type TinyTag répartis de manière à prendre en compte au maximum les effets locaux. Il est nécessaire dans un premier temps d'identifier quelles peuvent être les variables locales influençant le climat local. Les précédentes études présentant des modèles multicritères présentent des variables récurrentes, à savoir l'altitude, la pente et l'orientation (Joly et al. 2003 ; Lhotellier et Patriche 2007), ces paramètres étant également cités dans les ouvrages consacrés aux développement de la vigne (Huglin et Schneider 1998 ; Keller 2010) .Ces variables seront considérées comme des variables indispensables et communes à tous les sites. De plus, la vigne étant cultivé dans une grande variété de milieux, il est nécessaire,pour chaque site, d'identifier des paramètres spécifiques à intégrer aux variables communes présentées précédemment. Ces paramètres spécifiques peuvent être identifiés via une analyse spatiale ponctuelle (corrélation simple, classification ascendante hiérarchique(CAH)) ou par une expertise terrain préalable. Par exemple, la distance aux océans et masses d'eau (Bonnardot et al. 2012) ou l'action anthropique pourront être intégrés. De plus, afin de prendre un maximum d'effets en compte, ces multiples variables topographiques ont été calculées selon différentes

fenêtres spatiales, en reprenant la méthodologie de Joly 2003 et Madelin 2004. Nous retenons donc p variables explicatives à m fenêtres spatiales. Le modèle général de régression multiple s'écrit sous la forme suivante pour n capteurs et chaque pas de temps :

$$Y_i = \beta_0 + (\beta_1 X_{i1} + ... + \beta_{m1} X_{mi1}) + (\beta_2 X_{i2} + ... + \beta_{mi2} X_{mi2}) + ... + (\beta_{mp} X_{mnp}) + \varepsilon_i$$

Avec Y les températures ou l'indice à expliquer pour n capteurs
Les X_{ip} sont les mesures des facteurs explicatifs (altitude, pente etc...) à m fenêtres spatiales.
Les paramètres β_{mp} sont inconnus et à estimer
Le paramètre β_0 est inconnu et représente la constante (Intercept)
Les ε_i représente des variables aléatoires inconnus et représente les erreurs (résidus)

Quelque soit le pas de temps utilisé (horaire, journalier), l'ensemble des variables explicatives ne va pas être corrélés de manières significatives avec les températures, et va dépendre des conditions des échelles climatiques supérieures, il est nécessaire de sélectionner de manière objective et automatique le meilleurmodèle pour chaque pas de temps. Deux procédures de sélection de modèles sont possibles :

- la méthode exhaustive qui consiste à évaluer tous les modèles possibles et en conserve les nbest meilleurs (nombre à définir par l'utilisateur) pour une variable explicative, deux variables explicatives...p variables explicatives. Cette méthode est peu envisageable si P est grand du fait des temps de calcul.
- La méthode pas à pas (stepwise selection) va, selon le choix fait par l'utilisateur (ascendante, descendante, mixte), ajouter ou retirer une variable explicative jusqu'à obtenir un modèle optimal suivant un critère. Cette méthode ne permet en général que de trouver un optimum local, il est donc conseillé de recommencer la procédure à partir de plusieurs points de départ. Il est également conseillé d'appliquer cette méthode uniquement quand la recherche exhaustive n'est pas possible (n grand, p grand)(Cornillon et Matzner-Lober 2011).

Les précédents travaux visant à automatiser un modèle de spatialisation des températures ont souvent utilisé la recherche pas à pas du fait du grand volume de données à traiter et de sa relative simplicité d'automatisation(Ustrnul 2006 ; Bonnefoy 2013). Le développement d'algorithmes permettant de minimiser le nombre de calcul (Miller 2002) et l'augmentation de la puissance de calcul du matériel informatique permet aujourd'hui d'envisager l'automatisation sur un jeu de données important de la méthode exhaustive, méthode que nous testerons sur le Libournais Est avant de l'appliquer sur l'ensemble des sites d'études.

Ensuite, il est nécessaire de choisir un critère de sélection de variables afin d'obtenir le meilleur compromis biais-variance. Plusieurs critères existent, les plus couramment utilisés étant le R ?, le R ? ajusté, le Cp, l'AIC et le BIC. Une sélection de modèles par le R ? et le R ? ajusté est peu conseillée étant donné qu'ils augmentent avec le nombre de variables explicatives. Ils seront utilisés pour comparer des modèles possédant un nombre équivalent de variables explicatives. L'AIC est surtout adapté pour les études non paramétriques (nombre de paramètres infini) (Liu et Yang 2011).Nous nous concentrerons donc à comparer deux critères : le Cp et le BIC. Pour chacun de ces deux critères, une procédure de validation croisée est mise en place. Un échantillon d'entraînement représentant 80% des capteurs est tiré aléatoirement, les 20% restant serviront à la validation. Sur cet échantillon d'entraînement, on applique le modèle de régression en appliquant une

première fois le critère Cp et une seconde fois le critère BIC. Pour chacun des deux modèles obtenus, la prévision des valeurs est réalisée sur l'échantillon de validation. La somme des carrés des différences entre les valeurs estimées et les valeurs mesurées par le capteur est calculée. Plus la valeur est faible, plus le modèle tend à estimer de manière fidèle les données. Le critère produisant le modèle avec la somme des carrés la plus faible sera donc retenu. Afin d'être renforcée, cette procédure est répétée 1000 fois sur 1000 échantillons aléatoires différents, la moyenne des carrés des écarts entre valeurs estimées et mesurées étant utilisés pour déterminer le critère le plus adapté.

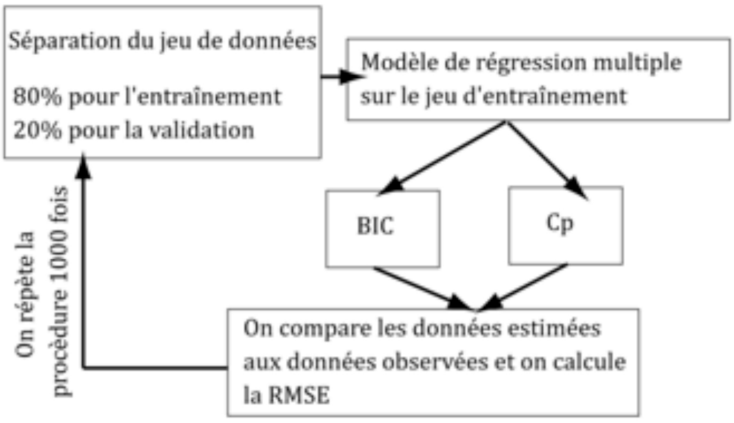


FIGURE 2 –

Résultats et discussions

Dans le cas du Libournais Est, une CAH a révélé l'existence d'un gradient sud-ouest/nord-est, ce gradient sera intégré dans les variables explicatives du modèle. La méthode a été appliquée sur trois saisons végétatives de la vigne (2012, 2013, 2014) sur les températures minimales et maximales. Sur l'ensemble des dates, le critère BIC a présenté les meilleurs résultats et a donc été utilisé pour chacune des modélisations. La répétition du protocole sur les années suivantes et sur les autres vignobles européens du programme LIFE-ADVICLIM permettra de confirmer que ce critère est plus adapté à ce type de jeu de données et d'analyse.Le pourcentage de variance expliqué (R ?) et l'erreur quadratique moyenne (obtenue par validation croisée) ont été calculés.

Les trois années présentent des résultats comparables, la méthode ne semble donc pas être contrainte par l'effet millésime. Cette méthode est applicable à l'ensemble des sites à partir du moment où ces derniers sont équipés d'un nombre suffisant de capteurs de température. Les résultats révèlent également les défauts inhérents à ce type de modélisation climatique. Les températures maximales présentent un pourcentage de variance beaucoup plus faible, ce qui pourrait s'expliquer par la non linéarité de la relation entre les paramètres locaux et les températures maximales dans une majorité des cas. De plus, les températures maximales présentent une variabilité spatiale plus faible. Coupler ce type de modèle avec les modèles climatiques globaux pourrait pallier à ce problème.

Conclusion

Ce protocole de modélisation spatiale présente une méthode objective, automatisée et reproductible de ce type de modélisation aux échelles fines. Ces trois caractères sont indispensables dans le cadre d'une étude

Tmin					
	Moyenne R^2	Médiane R^2	Max R^2	Min R^2	Moyenne RMSE
2012	0,52	0,53	0,84	0,03	0,6
2013	0,44	0,45	0,81	0,03	0,58
2014	0,41	0,43	0,79	0,04	0,58

Tmax					
	Moyenne R^2	Médiane R^2	Max R^2	Min R^2	Moyenne RMSE
2012	0,3	0,28	0,79	0,02	0,54
2013	0,28	0,24	0,8	0	0,51
2014	0,22	0,17	0,76	0,01	0,56

FIGURE 3 –

multi-sites afin de pouvoir comparer les résultats entre eux. De plus, dans l'optique de développer une méthodologie couplant les modèles globaux et multicritères, il est indispensable de posséder un protocole de ce type afin de pouvoir l'utiliser avec les modèles de changement climatique. En effet,l'incertitude liée aux impacts du changement climatique sur la viticulture est d'autant plus importante que la variabilité climatique est importante aux échelles fines. Le développement et l'utilisation de modèles statistiques en complément des différents scénarios de changement climatique sont une des solutions pour proposer des méthodes d'adaptations à court, moyen et long termes des techniques viticoles.

Références

Bonnardot, Valerie, V.A. Carey, Malika Madelin, Sylvie Cautenet, Zelmary Coetzee, et Hervé Quénol. 2012. « Spatial variability of night temperatures at a fine scale over the Stellenbosch wine district, South Africa ». *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 46 (1) : 1 ?13.

Bonnefoy, Cyril. 2013. « Observation et modélisation spatiale de la température dans les terroirs viticoles du Val de Loire dans le contexte du changement climatique ». Université Rennes 2.`http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00815596`.

Brossard, T., A. Elvebakk, D. Joly, et L. Nilsen. 2002. « Modelling index of thermophily by means of a multi-source database on Broggerhalvoya Peninsula (Svalbard) ». *International Journal of Remote Sensing* 23 (21) : 4683 ?98. doi :10.1080/01431160110113908.

Cornillon, Pierre-André, et Eric Matzner-Lober. 2011. *Régression avec R*. `http://www.springer.com/statistics/statistical+theory+and+methods/book/978-2-8178-0183-4`.

Cuccia, Cedric. 2013. « Impacts du changement climatique sur la phénologie du Pinot noir en Bourgogne ». `http://www.theses.fr`. mai 14. `http://www.theses.fr/s27623`.

Huglin, Pierre, et Christophe Schneider. 1998. *Biologie et écologie de la vigne*. Tec & doc.

Joly, D., L. Nilsen, R. Fury, A. Elvebakk, et T. Brossard. 2003. « Temperature Interpolation at a Large Scale : Test on a Small Area in Svalbard ». *International Journal of Climatology* 23 (13) : 1637 ?54. doi :10.1002/joc.949.

Keller, Markus. 2010. « Chapter 2 - Phenology and Growth Cycle ». In *The Science of Grapevines*, édité par Markus Keller,

49 ?83. San Diego : Academic Press. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123748812000027.

Lhotellier, Remi, et Cristian Valeriu Patriche. 2007. « Dérivation de paramètres topographiques et influence sur la spatialisation statistique de la température ». In , XX :6. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00192318.

Liu, Wei, et Yuhong Yang. 2011. « Parametric or Nonparametric ? A Parametricness Index for Model Selection ». *The Annals of Statistics* 39 (4) : 2074 ?2102. doi :10.1214/11-AOS899.

Madelin, Malika. 2004. « L'aléa gélif printanier dans le vignoble marnais en Champagne. Modélisation spatiale à une échelle fine des écoulements de l'air et des températures minimales ». Université Paris-Diderot - Paris VII. http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00008906.

Madelin, M., et G. Beltrando. 2005. « Spatial Interpolation-Based Mapping of the Spring Frost Hazard in the Champagne Vineyards ». *Meteorological Applications* 12 (1) : 51 ?56. doi :10.1017/S1350482705001568.

Miller, Alan. 2002. *Subset Selection in Regression*. CRC Press.

Stahl, K., R. D. Moore, J. A. Floyer, M. G. Asplin, et I. G. McKendry. 2006. « Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density ». *Agricultural and Forest Meteorology* 139 (3–4) : 224 ?36. doi :10.1016/j.agrformet.2006.07.004.

Ustrnul, Zbigniew. 2006. « Spatial Differentiation of Air Temperature in Poland Using Circulation Types and GIS ». *International Journal of Climatology* 26 (11) : 1529 ?46. doi :10.1002/joc.1393.

Van Leeuwen Cornelis, Philippe Friant, Xavier Choné, Olivier Tregoat, Stephanos Koundouras, et Denis Dubourdieu. 2004. « Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir ». *American Journal of Enology and Viticulture* 55 (3) : 207 ?17.

Modélisation dynamique du milieu d'Aedes aegypti vecteur de la dengue à Delhi (Inde) et Bangkok (Thaïlande)

Renaud Misslin[1], Eric Daudé[12], Yvette Vaguet[1], Alain Vaguet[1]

[1]UMR IDEES 6266, Université de Rouen, Rouen (France)

[2]UMIFRE CSH, Delhi (Inde)

renaud.misslin@etu.univ-rouen.fr

Mots-clefs - Aedes aegypti, environnement urbain, biogéographie, SIG, télédétection

Contexte

La dengue est une maladie virale à transmission vectorielle affectant principalement les populations urbaines de la zone intertropicale. D'après les estimations de l'OMS, 50 à 100 millions d'individus sont touchés chaque année et 40% de la population mondiale est à risque (OMS, 2014). Le virus de la dengue existe sous la forme de 4 sérotypes (DENV-1 à 4) (Guzman, 2010). L'infection par un de ces sérotypes assure une immunité à vie pour ce sérotype mais ne protège que quelques mois contre les autres. A l'heure actuelle, aucun vaccin n'est disponible et seule la lutte anti-vectorielle semble efficace pour lutter contre la progression de la maladie (Gubler, 2002). Le virus de la dengue se transmet par l'intermédiaire du moustique du genre Aedes et plus particulièrement de l'espèce *Aedes aegypti* dans les régions tropicales, et secondairement *Aedes albopictus*, notamment en Europe. Les deux premiers facteurs responsables de la diffusion de la maladie sont la densité humaine et la densité de vecteurs, Celles-ci peuvent être très hétérogènes à l'échelle d'une ville. Une connaissance fine de l'aire de distribution des vecteurs permettrait donc d'orienter les autorités sanitaires dans la mise en place d'actions anti-vectorielles et de programmes de lutte contre la dengue (Ferreira, 2007 ; Reiskind, 2013). Les techniques permettant d'estimer l'aire de distribution d'*Aedes aegypti* peuvent être enrichies par la représentation de son milieu propre, c'est-à-dire l'environnement tel que le moustique le perçoit. Appréhender ce milieu à l'échelle de la ville permettrait de cartographier les biotopes lui étant favorables et d'en déduire son aire de distribution potentielle. Cette opération nécessite une compréhension précise des facteurs environnementaux affectant le moustique. La littérature traitant des relations moustique / environnement est particulièrement abondante. La plupart des études issues de cette littérature recherchent des relations statistiques entre des variables environnementales et la présence ou le décompte de moustiques sous ses différents états (œufs, larves, nymphes ou adultes) en un lieu donné. Ce type d'étude s'appuie sur la collecte d'échantillons sur le terrain. Ces enquêtes requièrent des moyens humains et financiers importants. Dans les pays en développement, la qualité des relevés n'est pas toujours assurée du fait notamment de l'absence d'équipes d'entomologistes dans les services de santé publique.

Les facteurs environnementaux influençant la répartition d'*Aedes aegypti* sont nombreux et inter-reliés : des facteurs humains aux facteurs climatiques en passant par les caractéristiques des objets constituant le paysage urbain, chaque facteur influence et est influencé. Ces interrelations produisent des variations spatiales et temporelles non-linéaires dont l'expression dépend fortement des contextes locaux. Or l'objectif final des études portant sur les ca-

ractéristiques environnementales favorisant la présence du moustique est très souvent de rechercher des variables indépendantes entre elles afin de construire des modèles linéaires. Certes la présence de moustique est liée à la présence de containers en eau, mais ces derniers peuvent être en eau soit du fait des très grandes chaleurs sèches, les climatiseurs fournissant alors, du fait de la condensation, des gites vectoriels très actifs, soit du fait des très fortes pluies de mousson, soit les deux entre les deux saisons ! L'intérêt de ces travaux et des nombreux modèles qui en résultent est de guider les campagnes de lutte anti-vectorielle dans les villes étudiées.

Les modèles développés portant sur les relations *Ae. aegypti* / environnement sont généralement construits sur une relation s'exerçant dans un seul sens, celle de la relation d'influence de l'environnement sur le moustique. Cette relation est souvent modélisée sans tenir compte de ses variations potentielles dans le temps et surtout dans l'espace. Cette invariabilité spatio-temporelle entraine une incapacité des modèles à être transférés dans des contextes différents de ceux à partir desquels ils ont été construits. Un modèle construit pour la ville de Buenos Aires (Argentine), dans lequel la végétation est positivement corrélée à la distribution d'Ae. aegypti (Vezzani, 2005) ne peut pas être appliqué à la ville de Tucson (Etats-Unis), où la végétation ne semble pas avoir d'impact sur la distribution du vecteur (Walker, 2011). D'abord, les conditions climatiques ne sont pas identiques entre les deux villes. Ensuite, l'effet mesuré d'un facteur environnemental est largement dépendant de son hétérogénéité spatio-temporelle, des effets des autres facteurs et des interactions entre cet ensemble de facteurs. Enfin, les méthodes d'appréhension des relations spatiales vecteur/environnement (de manière ponctuelle, par buffer, par entité administrative etc.), les périodes d'étude et les échelles spatio-temporelles choisies sont susceptibles d'impacter les résultats.

Cette communication a donc pour but de présenter une méthode permettant de reconstituer de manière dynamique et automatisée le milieu propre d'*Aedes aegypti*. L'originalité de cette méthode réside dans le fait qu'elle puisse être appliquée à des contextes urbains différents et à des échelles différentes. Pour cela, elle s'appuie sur plusieurs techniques permettant de recueillir des données environnementales et d'estimer les différents paramètres environnementaux affectant la vie du moustique. Cette méthode sera développée sur les exemples des villes de Delhi (Inde) et Bangkok (Thaïlande).

Méthode

Etant donné l'importance des fluctuations des conditions environnementales pouvant impacter les dynamiques spatio-temporelles des populations de moustiques, les dynamiques observées en un lieu ne sont pas nécessairement transposables en un autre lieu. Dans le but de développer une méthode transposable d'un contexte urbain à un autre, nous proposons de nous intéresser à la relation inverse (moustique → environnement). Cette relation se manifeste par le fait que pour répondre à ses besoins, le moustique effectue des choix basés sur les stimuli qu'il perçoit dans son environnement. L'ensemble des stimuli pouvant affecter une espèce constitue son *Umwelt* ou milieu propre (Canguilhem 1964). Les comportements et les capacités sensorielles d'*Ae. aegypti* sont partagées par tous les membres de l'espèce, ne différant que très peu entre les sous-populations. De ce point de vue, l'étude des comportements et des besoins du moustique et de la relation moustique → environnement paraît constituer une approche stable, à la fois dans l'espace et dans le temps (à l'échelle de quelques années), permettant l'élaboration d'une méthode transposable d'un contexte urbain à un autre. Cette méthode a donc pour objectif principal de reconstituer le milieu propre du moustique, c'est-à-dire, l'environnement, tel qu'il est perçu par le vecteur de la dengue en fonction de ses besoins.

Les différentes capacités sensorielles du moustique lui permettent de réagir à plusieurs caractères de l'environnement. Ces derniers sont associés à la présence d'objets parfois combinés à des phénomènes particuliers. Ainsi, le nectar, aliment principal du moustique mâle, est associé à la présence de plantes, tandis que la disponibilité en sang, aliment principal du moustique femelle, est liée à la présence de mammifères et plus particulièrement à l'homme, proie privilégiée d'*Ae. aegypti*. L'eau claire et stagnante, élément essentiel pour l'activation du comportement d'oviposition (ponte), est liée à la présence d'un conteneur propre et rempli d'eau, enfin l'ombre, permettant la réalisation du comportement de repos, est liée au soleil et aux objets constituant l'environnement urbain. La température, cinquième paramètre environnemental perçu par le moustique est le résultat mesurable de la combinaison des différents transferts thermiques. Les cinq principaux éléments environnementaux constituant le milieu du moustique sont aisément identifiables ou mesurables sur le terrain. Cependant, recueillir de manière précise de telles données environnementales à l'échelle d'une ville de plusieurs millions d'habitants (Delhi ou Bangkok) apparaît comme une tâche extrêmement compliquée à mettre en œuvre (Maneerat et Daudé, 2015). De ce fait, un des objectifs de la méthode développée dans cet article est d'identifier un ensemble de proxys pouvant être utilisés pour reconstituer de manière dynamique l'environnement d'*Aedes aegypti*.

L'émancipation par rapport aux contraintes posées par le recueil de données environnementales sur le terrain est réalisée en associant les cinq paramètres environnementaux identifiés à des phénomènes pouvant être mesurés ou estimés. Ainsi, la présence d'hommes en milieu urbain peut être estimée par la densité de population, la présence de plantes à nectar peut être déduite des caractéristiques de la couverture végétale, la prise en compte des conteneurs en eau est réalisée grâce à l'estimation de la densité en conteneurs couplée à des données pluviométrique, la présence d'ombre est prise en compte grâce à l'estimation du niveau d'exposition des espaces au soleil. La température peut soit être mesurée directement puis interpolée, soit être déduite de la combinaison entre la radiance atmosphérique et l'émissivité du sol.

La distribution et les dynamiques spatiales intra-urbaines de ces phénomènes sont reconstruites grâce à des données recueillies de manière automatisée (images satellites), des bases de données fournies par les collectivités territoriales partenaires (Bangkok Municipal Authority et Delhi Municipal Council) et des bases de données disponibles sur internet. Selon les contextes urbains, les bases de données disponibles peuvent être de différente nature, certaines bases utilisées dans un contexte peuvent ne pas être disponibles dans un autre ou être disponibles à des échelles différentes. Dans la mesure où l'objectif est de développer une méthode transposable d'un contexte à un autre, celle-ci peut être appliquée de façon similaire même si les bases de données expriment des phénomènes différents ou sont recueillies à des échelles différentes et grâce à des techniques différentes. Quel que soit l'espace urbain étudié, les objectifs sont les mêmes : reconstituer les distributions et les dynamiques des cinq phénomènes principaux, appelés cibles, permettant de reconstruire le milieu propre du moustique. Celui-ci sera caractérisé par la présence de l'une ou de plusieurs des cibles recherchées. Les problématiques liées aux différences de résolution des données disponibles sont traitées par le biais de techniques mêlant télédétection et traitements statistiques. L'échelle à laquelle sont produits les résultats dépend de la résolution des images satellite disponibles (au maximum 30 mètres puisque les données Landsat sont disponibles gratuitement). Les bases spatiales du modèle dépendent des objets homogènes les plus fins d'occupation du sol pouvant être identifiés grâce aux images disponibles. Selon leur résolution, il peut s'agir de bâtiments ou de quartiers entiers comme il peut s'agir d'arbres isolés ou de grands espaces végéta-

lisés (grands parcs ou forêts).

Les cibles, leur intensité et leurs fluctuations, sont estimées par le biais d'une méthode permettant de cumuler les bases de données leur étant liées. Ces méthodes sont particulières à chacune des cibles et peuvent différer selon les bases de données disponibles dans les villes étudiées. Les densités de population sont par exemple estimées grâce à la méthode de cartographie dasymétrique (Reibel et Agrawal, 2007). Les densités ventilées sur l'occupation du sol issues de cette méthode se voient attribuer des dynamiques en fonction des différentes caractéristiques des espaces urbains (résidentiels, commerciaux, industriels, etc).

Résultats

différents besoins du moustique. Ces attributs sont susceptibles d'évoluer au cours de la journée, de la saison ou de l'année en fonction des dynamiques spatio-temporelles et des interactions des différents facteurs de distribution. De fait, l'ensemble des objets spatiaux sont associés à des modèles dynamiques, qui décrivent par exemple la fluctuation des températures dans la journée en fonction de l'occupation du sol et de différents paramètres météorologiques (rayonnement solaire et couverture nuageuse notamment). A partir de ces données spatialisées et dynamiques, il est possible de cartographier le milieu propre d'*Aedes aegypti*. L'analyse des évolutions spatio-temporelles de ce milieu permet d'en déduire les aires de distribution potentielles, ou plutôt les lieux qui optimiseraient le confort d'*Aedes aegypti* dans la ville. La méthode étant transposable, le modèle dynamique est développé à la fois à Delhi et à Bangkok. Celui-ci sera mis au regard des données vectorielles disponibles dans chacune des deux villes.

Perspectives

Ce projet est mené dans le cadre du programme DENFREE (http ://denfree.eu/). Ce programme porte sur l'identification des principaux facteurs contribuant à la réémergence et la diffusion de la dengue, notamment en milieu urbain. Dans ce contexte, la dengue, appréhendée comme un système complexe spatialisé, est modélisée par système multi-agents composé de quatre sous-modèles : l'hôte, le vecteur, le virus et l'environnement. La génération d'un environnement artificiel synthétisant les informations spatiales qui constituent l'écosystème du vecteur contribue à enrichir le sous-modèle environnement. La prochaine étape consistera à coupler cet environnement avec le modèle SEASON (Maneerat et Daudé, 2015).

Références

Canguilhem G., 1965, La connaissance de la vie, Paris, Vrin.

Ferreira A.C., Neto F.C., 2007, Infestation of an urban area by Aedes aegypti and relation with socioeconomic levels, Rev. Saude Publica, Vol.41, No.6.

Gubler D.J., 2002, Epidemic dengue-dengue hemorrhagic fever as a public health, social and economic problem in the 21st century, Trends in Microbiology, Vol.10, No.2, 100-103.

Guzman A., 2010, Update on the global spread of dengue, International Journal of Antimicrobial Agents, Vol.46S, S40-S42.

Maneerat S., Daudé É, 2015, An agent-based model of dengue vector, Aedes aegypti, to understand the spatio-temporal heterogeneity of mosquito populations, Ecological modelling, Elsevier, article en évaluation.

OMS, 2014, Dengue et dengue hémorragique, Aide-mémoire n°117, consulté le 15/12/2014.

Reibel M. et Agrawal A., 2007, Areal interpolation of population counts using pre-

classified land cover data, Population Research and Policy Review, Vol.26, 619-633.

Reiskind M.H., Lounibos L.P., 2013, Spatial and temporal patterns of abundance of Aedes aegypti L. (Stegomya aegypti) and Aedes albopictus (Skuse) [Stegomya albopictus (Skuse)] in southern Florida, Medical and Veterinary Entomology, Vol. 27, 421-429.

Vezzani D., Rubio A., Velasquez S.M., Schweigmann N., Wiegand T., 2005, Detailed assessment of microhabitat suitability for Aedes aegypti (Diptera : Culicidae) in Buenos Aires, Argentina, Acta Tropica, Vol.95, 123-131.

Walker K.R., Joy T.K., Ellers-Kirk C., Ramberg F., 2011, Human and environmental factors affecting Aedes aegypti distribution in an arid urban environment, Journal of the American Mosquito Control Association, Vol.27, No.2, 135-141.

Atelier 3

Evaluation territoriale

Une approche spatiale de la convergence territoriale dans l'Union européenne. Mesurer les variations spatiales de la croissance régionale à l'aide de la GWR

Sébastien Bourdin

Ecole de Management de Normandie
Institut du Développement Territorial

Mots-clefs - Convergence, disparités économiques, politique de cohésion, GWR, Union européenne

1. Contexte et objectif

1.1. L'évolution récente des disparités économiques régionales au sein de l'Union européenne

En 2010, une étude d'Eurostat montre que la région [4] Inner London (ville de Londres) est la plus prospère de l'Union européenne et est sept fois plus riche que la région la moins développée à savoir la région Severozapaden située en Bulgarie. Avec les deux derniers élargissements (2004 et 2007), on a assisté à une reconfiguration géographique des inégalités régionales révélant la mise en place d'un gradient économique Est-Ouest. Cet élargissement aux pays d'Europe centrale et orientale nettement moins développés que les plus pauvres des pays de l'UE15 relance la question de la capacité de l'intégration européenne à favoriser la cohésion de son territoire.

A la lumière des difficultés rencontrées à assurer un développement harmonieux dans l'UE (Dunford, 1994 ; Carluer, 2001 ; Baumont, 2002) et malgré l'utilisation des Fonds de pré-accession, les deux dernières décennies ont engendré d'une part de forts bénéfices pour une petite partie des régions grâce à une certaine « croissance cumulative » (essentiellement les régions métropolitaines) tandis que d'autres régions ont continué à cumuler du retard. Mise à niveau et convergence constituent des problématiques récurrentes de la Commission européenne. Selon Catherine Fuss (1999), « il y a convergence lorsque la différence entre des séries ou leur dispersion se réduit dans le temps ». Il y a alors convergence lorsque la richesse d'un pays ou d'une région en retard tend à croître plus rapidement que celle d'un pays ou d'une région plus développé, annulant ainsi dans le long terme les écarts de richesse. D'une manière générale, les études (institutionnelles et scientifiques) montrent qu'il existe un processus de convergence des pays mais qui est plus discutable aux échelons territoriaux inférieurs. A l'intérieur des États membres, les disparités régionales se sont souvent aggravées, et même si la situation économique de régions plus faibles a évolué positivement, le processus de rattrapage reste extrêmement lent.

1.2. Objectif de la communication et fondements théoriques

Alors que l'élargissement de l'UE aux onze nouveaux membres des Pays d'Europe centrale et orientale est désormais acquis, la question du devenir des politiques européennes, en particulier de la politique de cohésion, reste problématique. Développée par étapes depuis 1975, la politique régionale européenne finance des programmes de développement dont bénéficient les régions de l'UE « en retard de développement » ou « en difficulté structurelle », selon la terminologie officielle.

La question de l'efficacité de cette politique a été largement abordée dans la littérature notamment à travers les travaux cher-

4. Au sens de la Nomenclature d'Unité Statistique et Territoriale

chant à mesurer l'impact des Fonds structurels sur la croissance régionale et la convergence. Les années récentes ont vu se multiplier les études prenant en compte les aspects spatiaux des données dans l'analyse de la convergence d'un point de vue empirique, ou intégrant les interdépendances spatiales d'un point de vue théorique. Les résultats de ces travaux sont souvent divergents et montrent la difficulté de mesurer les effets réels de la politique de cohésion (Rodrigues-Pose et Fratesi, 2004 ; Esposti et Bussoletti, 2008 ; Dall'erba et Le Gallo, 2008 ; Möhl et Hagen, 2010 ; Becker et al., 2010 ; Bouayad-Agha et al, 2011). Les études précédentes utilisent des modèles économétriques spatiaux pour évaluer l'efficacité de la politique de cohésion. Dans cette communication, nous nous proposons d'utiliser un modèle alternatif développé par des géographes : la régression géographiquement pondérée (GWR). Grâce à cette méthode, nous espérons ainsi montrer dans quelle mesure l'approche territorialisée du processus de convergence permet d'avoir une nouvelle lecture des disparités économiques régionales et de leurs évolutions ? Nous faisons l'hypothèse qu'il existe une variation spatiale significative de l'influence des facteurs explicatifs concourant à la croissance régionale et à la convergence.

Notre approche de la convergence dite « territoriale » pour évaluer l'efficacité de la politique de cohésion a un quadruple intérêt :

Politique : L'UE a reconfirmé l'objectif de convergence comme une priorité de la politique de cohésion. Dans ce contexte, cette politique doit être perçue comme un accélérateur de croissance et de revenus dans les régions dites périphériques notamment.

Financier : La part du budget allouée à la politique de cohésion a augmenté pour atteindre 45% pour le programme financier pluriannuel 2014-2020 (contre 35% sur la précédente période). Le budget global est stable sur les deux périodes (à 351,5 milliards d'euros contre 347 pour 2007-2013) mais cela n'a pas été sans heurts lors des discussions. Certains pays invoquant le fait que les Fonds européens étaient mal utilisés.

Théorique : L'analyse territorialisée du processus de convergence implique la compréhension du rôle de la dépendance spatiale et des effets de débordement comme cela l'a été déjà suggéré par la théorie de la croissance endogène et de la Nouvelle Economie Géographique

Méthodologique : Le débat théorique peut être testé empiriquement par des techniques issues de l'analyse spatiale, qui n'ont jamais été utilisées pour l'analyse de la convergence économique à l'échelle de l'UE

2. Méthode utilisée : vers une modélisation spatiale des facteurs explicatifs de la croissance régionale en Europe

D'un point de vue méthodologique, Parmi les difficultés inhérentes à l'analyse de données spatialisées, on recense le problème de la non-stationnarité spatiale. En effet, certaines variables peuvent avoir un effet positif dans certaines unités territoriales alors que des effets négatifs sont observables dans d'autres (Meloche et Shearmur, 2010). La régression géographiquement pondérée (GWR) peut être un moyen de prendre en compte, au moins partiellement, la non-stationnarité spatiale des facteurs (Brundson et al., 1996). L'intérêt de la GWR réside également dans son approche qui permet une cartographie des variations paramétriques dans l'espace. Cette dernière peut être utilisée pour améliorer la compréhension des processus modélisés mais également pour identifier les anomalies spatiales locales pour chaque variable exploratoire et notamment des effets différenciés de la politique de cohésion dans le cadre de notre communication.

De récentes contributions (Bivand and Brunstad, 2005 ; Yu, 2006 ; Eckey et al., 2007 ; Yildirim, 2009 ; Sassi, 2010) ont été développées de cette entrée méthodologique originale pour mesurer la convergence des régions. En utilisant cette méthode, nous faisons l'hypothèse qu'il existe

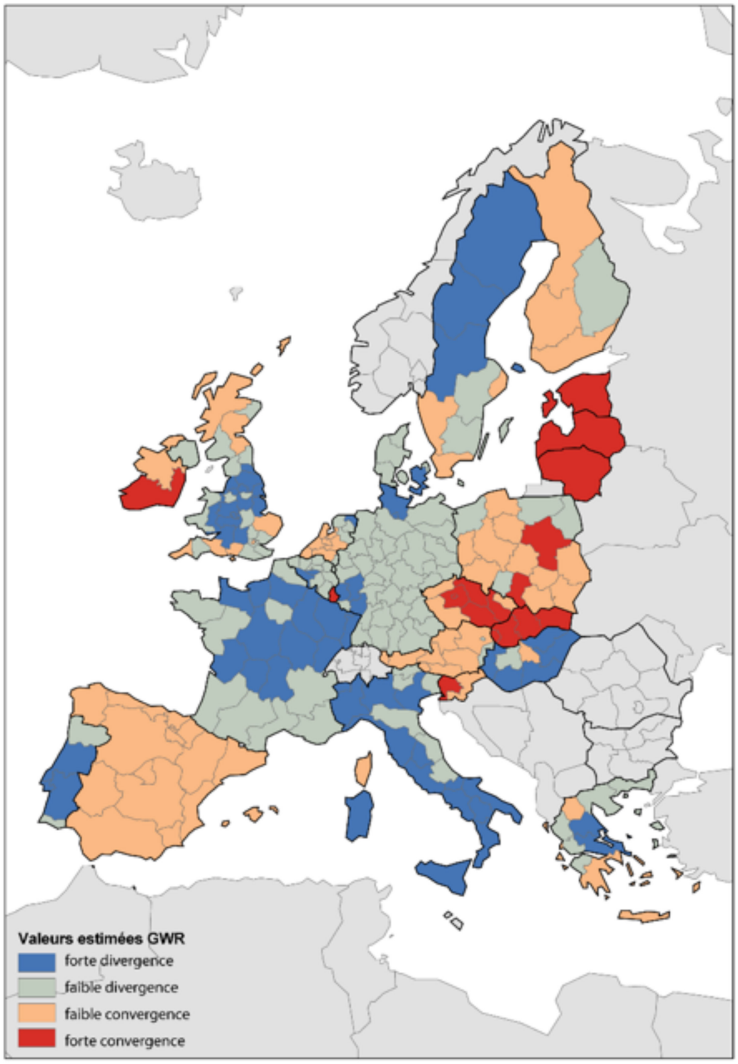
une variation spatiale significative de l'influence des facteurs concourant à la croissance régionale (dont les Fonds européens). La GWR produit des valeurs de paramètres locaux pour chaque région (NUTS 2) plutôt que d'estimer simplement les valeurs globales. Ainsi, la variation spatiale des paramètres est lissée par pondération spatiale, révélant des grandes différences régionales dans les paramètres. Nous avons construit notre modèle explicatif selon l'approche menée par Mankiv, Romer and Weil (1992). Parmi les paramètres de notre régression on compte notamment la densité de population et le capital humain (Eurostat), les Fonds structurels perçus sur la période de programmation 2007-2013 (DG Regio) ou encore l'indicateur de la qualité des institutions (données de Charron et al., 2013).

Notre étude se base sur un l'ensemble des régions de l'UE au niveau NUTS 2 sur la période 2000-2013. Parmi les données de la base Eurostat introduites dans notre modèle, on a :

Variable	**Description**
taux de croissance	un indicateur de performance économique d'une région
log PIBt0	représente le PIB/hab. pour la période initiale ce qui permet de mesurer la convergence des régions
logDens	densité de population (hab./km²) comme proxy des économies d'agglomération
logEduc	niveau d'éducation de la population (part de la population âgée de 25 à 64 ans qui est titulaire d'un diplôme de l'enseignement supérieur) comme proxy du niveau de capital humain
logR&D	part de la R&D dans le total des dépenses régionales
logFS	somme des Fonds européens dépensés /habitant (obj 1, 2, 3 – pol de cohésion)
logInstit	indice de qualité institutionnelle (Charron et al., 2013 ; Montresor et al. 2013)

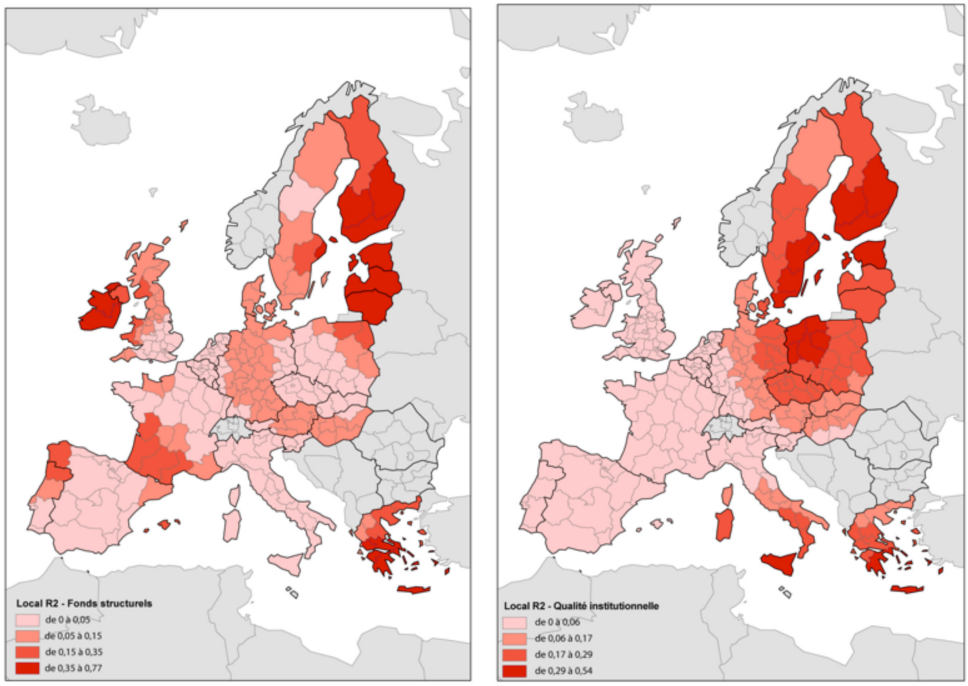
Quelques résultats : une convergence multipolaire et des Fonds européens inégalement efficaces

Les résultats montrent qu'il existe une variation importante de la vitesse de convergence des régions entre elles avec une forte instabilité structurelle. La visualisation des coefficients du modèle de GWR met en lumière les variations spatiales des paramètres. L'analyse empirique confirme l'hypothèse de bêta-convergence, même si les différences structurelles entre les régions sont maintenues. Il existe bien une répartition non aléatoire des phénomènes de convergence qui se matérialise dans l'espace par une tendance au regroupement et à la présence de « clubs de convergence/divergence locale ».



Ainsi, la convergence observée entre les États de l'UE masque en réalité parfois une augmentation des inégalités régionales intra-étatiques (analyse globale). Par ailleurs, les phénomènes de convergence observés au niveau global produisent localement soit une convergence, soit une divergence (analyse locale).

La mise en évidence d'une convergence multipolaire et la présence conjointe des zones de convergence et de divergence au sein de l'espace européen souligne l'efficacité différenciée des Fonds structurels qui peut être mise en relation notamment avec la qualité institutionnelle des régions.



Références

Bouayad Agha S., Turpin N., Védrine L. , 2011, “Fostering the potential endogenous development of European regions : a spatial dynamic panel data analysis of the Cohesion Policy on regional convergence over the period 1980-2005”, working paper

BeckerT., D ?ianu D., Darvas Z., Gligorov V., Landesmann M., Petrovi ? P., Pisani-Ferry J., Rosati D., Sapir A., Weder di Mauro B., 2010, “Whither growth in central and eastern Europe ? Policy lessons for an integrated Europe”, Bruegel Blueprint 11

Bivand, R., Brunstad R., 2005, “Further Explorations of Interactions between Agricultural Policy and Regional Growth in Western Europe. Approaches to Nonstationarity in Spatial Econometrics”, Paper presented on the 45th Congress of European Regional Science Association, Amsterdam, 23-27 August 2005

Brunsdon C., Fotheringham A.S. et Charlton M.E., 1996, « Geographically Weighted Regression : A Method for Exploring Spatial Nonstationarity », Geographical Analysis, vol. 28, n° 4, pp. 281-298

Charron N., Lapuente V., 2013, ”Why do Some Regions in Europe Have Higher Quality of Government ?”, Journal of Politics, 75(3), p. 567-582

Eckey H.F., Kosfeld R., Turck M., 2007, “Regional convergence in Germany : a Geographically Weighted Regression Approach”, Spatial Economic Analysis, 2 (1), p. 45-64

Esposti R., Bussoletti S., 2008, "Impact of Objective 1 Funds on Regional Growth Convergence in the European Union : A Panel-data Approach", Regional Studies, vol. 42(2), p. 159-173

Le Gallo J., Dall’erba S., 2008, "Spatial and sectoral productivity convergence between European regions, 1975-2000", Papers in Regional Science, vol. 87(4), p. 505-525

Meloche J-P., Shearmur R., 2010, “Emploi dans le secteur public et croissance économique régionale au Canada : Quelques limites inhérentes aux régressions spatiales”, Canadian Journal of Regional Science, 33(1), p. 101-114

Mohl P. et Hagen T., 2010, "Do EU structural funds promote regional growth ? New evidence from various panel data approaches", Regional Science and Urban Economics, Elsevier, vol. 40(5), pages 353-365

Rodriguez-Pose A., Fratesi U., 2004, "Between Development and Social Policies : The Impact of European Structural Funds in Objective 1 Regions", Regional Studies, vol. 38(1), p. 97-113

Sassi M., 2010, "OLS and GWR Approaches to Agricultural Convergence in the EU-15", International Advances in Economic Research, 16(1), p. 96-108

Yildirim J., Öcal N., Özyıldırım S., 2009, "Income Inequality and Economic Convergence in Turkey : A Spatial Effect Analysis", International Regional Science Review, 32(2), p. 221-254

Yu D., 2006, "Spatially Varying Development Mechanisms in the Greater Beijing Area : A Geographically Weighted Regression Investigation", Annals of Regional Science, 40, p. 173-190

Les convergences spatiales du vieillissement démographique en Europe méridionale [1]

Yoann Doignon[1,2], Laurence Reboul[3], Sébastien Oliveau[1]

[1]Université de Nice, Sophia Antipolis, Université d'Avignon, Aix Marseille Université, CNRS, UMR ESPACE 7300

[2]Aix Marseille Université, CNRS, UMR LAMES 7305

[3]Aix Marseille Université, CNRS, UMR I2M 7373

Mots-clefs - Vieillissement démographique, convergence spatiale, chaînes de Markov spatiales

Introduction

Le vieillissement démographique constitue un phénomène à enjeu social. Il remet en cause les équilibres budgétaires d'un Etat, les solidarités familiales, la place des personnes âgées et des jeunes dans la société, le renouvellement du marché de l'emploi, l'allocation des ressources etc. Les populations ne vieillissent pas tous à la même vitesse. Ainsi, des territoires en rattrapent d'autres, ou se font distancer par d'autres. S'il a été initialement développé en économie, le concept de convergence peut légitimement s'appliquer aux indicateurs démographiques, dont le vieillissement fait partie.

Cette présentation se propose d'étudier la dimension spatiale du phénomène de convergence du vieillissement démographique. Parmi les méthodes disponibles, nous utilisons les chaînes de Markov pour analyser ce que nous appelons convergence spatiale. Nous choisissons l'Europe méridionale (Portugal, Espagne, France, Italie) comme aire d'étude, et la période temporelle choisie est 1998-2013.

La convergence : concept développé en économie, mais transférable en démographie

Les sciences économiques sont les premières sciences humaines et sociales à étudier le concept de convergence. Les théories néoclassiques posent l'hypothèse que les pays pauvres ont un taux de croissance plus fort que les pays riches. Par conséquent, ce différentiel de vitesse de croissance économique implique un rattrapage des pays riches par les pays pauvres (Solow, 1956). De nombreuses méthodologies statistiques sont développées par l'économie et l'économétrie pour mesurer cette convergence.

Si l'économie est à l'origine de ce concept de convergence, il est possible de l'adapter à d'autres sciences humaines et sociales. La démographie se prête plutôt bien à l'exercice : la convergence serait au cœur de la transition démographique (Wilson, 2001). Toutes les populations mondiales voient leur fécondité et mortalité devenir de plus en plus basses. Il y aurait donc une convergence de la fécondité et de l'espérance de vie. Les populations vivant leur transition démographique plus tardivement sont souvent celles qui la vivront le plus rapidement. La baisse de la fécondité des pays du monde en est un bon exemple (Grinblat A., 2008). La fécondité des pays en retard dans leur transition va certainement rattraper celle des pays dont la transition est terminée ou presque. Dans ce cas, on pourrait observer un phénomène de convergence, puisque toutes les populations n'ont pas le même rythme de transition démographique. David Coleman (2002) va même plus loin en imaginant une convergence

1. Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Observatoire démographique de la Méditerranée – DemoMed, et a reçu le soutien du projet SoDeMoMed financé par l'ANR Transmed (ANR- 12-TMED-0005).

socio-économique découlant de la deuxième transition démographique (Van de Kaa, 2004).

Convergence spatiale du vieillissement démographique ?

Le vieillissement démographique est une conséquence de la transition démographique. La baisse de natalité provoque un amenuisement de la base de la pyramide des âges. La baisse de mortalité induit un vieillissement dans la population uniquement quand les progrès sur la mort concernent les âges avancés. Dans ce cas, le haut de la pyramide des âges est de plus en plus fourni.

Quasiment toutes les populations post-transitionnelles partagent une faible fécondité, une faible mortalité, et un vieillissement de la population. Ce dernier est d'autant plus aggravé que la fécondité stagne de façon prolongée sous le seuil de remplacement des générations. Les différences du degré de vieillissement proviennent des divers rythmes des transitions démographiques.

La plupart des phénomènes démographiques, dont fait partie le vieillissement démographique, intéresse particulièrement le géographe du fait qu'ils présentent un niveau plus ou moins fort d'autocorrélation spatiale (Decroly, Grasland, 1992). On observe souvent des regroupements spatiaux des indices de fécondité, de mortalité, de migrations etc. Autrement dit, les composantes du vieillissement démographique sont bien souvent autocorrélées dans l'espace. Il n'est pas absurde d'imaginer alors une convergence spatiale du vieillissement de la population. Les espaces ne vieillissent pas tous à la même vitesse. Ainsi, sous l'effet de la fécondité, mortalité, migration et structures par âge héritées, des espaces peuvent converger avec des espaces voisins. Nous cherchons à mesurer ce phénomène.

Données pour l'Europe méridionale

Dans cette communication, nous étudions la convergence spatiale du vieillissement démographique en Europe du Sud, c'est-à-dire la France, l'Espagne, l'Italie et le Portugal. Le niveau NUTS3 est choisi dans chaque pays, correspondant aux départements français, aux provinces espagnoles, aux provinces italiennes, et aux sous-régions portugaises.

Le vieillissement démographique est apprécié par la part des 65 ans et plus dans la population. Les données sont récoltées sur les offices statistiques nationaux : `http://www.ine.pt` pour le Portugal ; `http://www.ine.espourl\T1\textquoterightEspagne` ; `http://www.insee.fr` pour la France et `http://www.istat.it` pour l'Italie. Nous disposons de la part des 65 ans et plus pour chaque année entre 1998 et 2013. Les données proviennent du recensement de la population et de ses actualisations par l'état civil pour l'Italie, la France et le Portugal. Pour l'Espagne, la source des données est principalement le registre de population, et le recensement.

Méthodologie #1 : l'intérêt des chaînes de Markov

Les premières mesures de la convergence ont été initiées en économétrie (Barro, Sala-i- Martin, 1992). Il s'agit principalement d'une régression (?-convergence) et d'un test de dispersion statistique (?-convergence). Ces méthodes sont largement critiquées du fait qu'elles n'informent pas sur la dynamique de la distribution statistique de la variable étudiée et cache l'existence de plusieurs clubs de convergence (Quah, 1996). De plus, la β- convergence souffre d'une erreur de Galton (Friedman, 1992). Elles permettent de tester si globalement il y a convergence dans un échantillon statistique. Ces deux méthodes globales ont été adaptées en indicateur local (Bourdin, 2012 ; Yildrim, 2009).

Toutefois, nous choisissons la démarche de Danny Quah (1996), c'est-à-dire l'analyse de distribution par les chaînes de Markov. Cette approche consiste à diviser la distribution statistique en plusieurs « états ». Entre deux dates, une matrice de transitions entre les états est estimée. Ainsi, on connaît la probabilité pour un individu de passer de l'état 1 à l'état 2 et ainsi de suite. Si nous faisons l'hypothèse que ces probabilités sont homogènes dans le temps, alors une distribution ergodique peut être estimée. Il s'agit de la distribution statistique à long terme, si on applique indéfiniment aux individus les probabilités estimées.

Cette méthode est particulièrement intéressante pour une étude de convergence. En effet, il est possible de mesurer la convergence des populations jeunes vers les populations vieilles et inversement. Cela permet également de voir si la distribution ergodique est unimodale ou plurimodale. Dans le premier cas, les probabilités de transitions indiqueraient qu'à long terme, les individus convergeraient vers un seul point. Dans le deuxième cas, cela sous-entendrait plusieurs points de convergence, révélant l'existence de clubs de convergence (Durlauf, 1996).

Cependant, en appliquant cette méthodologie à nos données, les mesures effectuées concerne la convergence du vieillissement démographique, mais en évacuant l'aspect spatial du phénomène. Nous transformons alors nos données en les normalisant par la moyenne des voisins (Le Gallo, 2004). De cette façon, la valeur indique l'écart entre le territoire et ses voisins. Nous proposons d'appliquer les chaînes de Markov à ces données normalisées pour réellement étudier la convergence spatiale. Cela permet d'étudier la convergence locale : connaître les territoires qui rattrapent leur voisinage géographique (ou inversement).

Méthodologie #2 : l'intérêt des chaînes de Markov *spatiales*

La méthode précédente intègre la dimension spatiale, mais n'étudie plus la position des territoires dans la distribution. On sait uniquement si le territoire converge ou diverge avec ses voisins. On ne sait pas si ce territoire et ses voisins sont vieux ou jeunes démographiquement vis-à-vis de l'ensemble des territoires.

Pour pallier ce problème, une méthode consiste à ajouter aux matrices de transitions « l'état » des voisins (Rey, 2001). Ainsi, la matrice de transition informe sur la probabilité pour un individu de passer d'un état 1 à un état 2, conditionnellement à l'état de son voisinage. Ce type de matrice sont appelées chaînes de Markov spatiales.

Références

BARRO R. J., SALA-I-MARTIN X., 1992, « Convergence », *Journal of Political Economy*, vol. 100, n° 2, pp.223-51

BOURDIN S., 2012, *Convergence et intégration régionale dans l'Union européenne*, Thèse de doctorat, Université de Rouen, 376 p.

COLEMAN D.A., 2002, « Populations of the industrial world – a convergent demographic community », *International Journal of Population Geography*°, 8, pp.319-344

DECROLY J.M., GRASLAND C., 1992, « Frontières, systèmes politiques et fécondite ? en Europe », *Espace, population et sociétés*, 10/2, pp.135-152

DURLAUF S., 1996, « On the convergence and divergence of growth rates », *Economic Journal*, Vol.106, pp.1016-1018

FRIEDMAN M., 1992, « Do old fallacies ever die ? », *Journal of Economic Literature*, 30, pp.2129-2132

GRINBLAT A., 2008, «L'évolution de la fécondité dans le monde», *Monde en développement*, n° 142, pp. 13-22

LE GALLO J., 2004, « Space-Time Analysis of GDP Disparities among European Regions : A Markov Chains Approach », *International Regional Science Review*, Vol. 27, No. 2, pp.138-163

QUAH D.T., 1996, « Empirics for economic growth and convergence », *European Economic Review*, 40, pp.1353-1375

REY S. J., 2001, « Spatial Empirics for Economic Growth and Convergence », *Geographical Analysis*, Vol. 33, No 3, pp.195-214

SOLOW R., 1956, « A Contribution to the Theory of Economic Growth », *Quarterly Journal of Economics*, The MIT Press, 70/1, pp.65–94

VAN DE KAA D.J., 2004, « Is the Second Demographic Transition a useful research concept. Questions and answers », *Vienna Yearbook for Population Research*, 2, pp.4-10

WILSON C., 2001, « On the Scale of Global Demographic Convergence 1950-2000 », *Population and Development Review*, 27, pp.155-171.s

INEGALITES DE TAILLES ET INEGALITES DE REVENUS DANS LES VILLES FRANCAISES : ANALYSE MULTI- ET INTER-NIVEAUX.

Clémentine Cottineau[1], **Elsa Arcaute**[1], **Erez Hatna**[2], **Michael Batty**[1]

[1]Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London.

[2]Center for Advanced Modeling in the Social, Behavioral and Health Sciences, Johns Hopkins University.

c.cottineau@ucl.ac.uk

Mots-clefs - Lois d'échelle, inégalités, système de villes, France.

L'augmentation des inégalités de revenu représentent le défi majeur de l'année 2015 selon le Forum économique mondial [1], devant les défis climatiques, politiques et de santé. En effet, les inégalités économiques et sociales retrouvent des niveaux inconnus depuis la Belle Epoque ; elles se renforcent sous l'effet des politiques d'austérité mais aussi mécaniquement, par le jeu des taux d'intérêt, des héritages et des inégalités induites face à l'éducation et à la santé [Piketty, 2013 ; Dorling, 2014]. De plus, il semble que ces inégalités soient exacerbées spatialement, en particulier dans le monde urbain (c'est-à-dire à l'intérieur des villes et entre les villes). Nous proposons d'examiner cet aspect au moyen de données décrivant la distribution des foyers fiscaux par tranche de revenu dans les villes françaises en 2011. L'objectif est de confronter cette observation avec les hypothèses théoriques de l'économie géographique et de la géographie économique pour améliorer la connaissance des processus de polarisation économique et sociale et aider à terme à la définition de politiques publiques.

La place des villes dans un contexte de (re-)montée des inégalités.

La relation entre performance économique et taille de villes est un classique de l'économie urbaine depuis les années 1980 et 1990. Elle procède de travaux plus anciens comme ceux de Marshall dans les années 1920 et de la reconnaissance de d'externalités positives liées à la concentration spatiale des activités productives, que celles-ci découlent d'un jeu de concurrence plus ou moins parfaite (chez V. Henderson et les néoclassiques) ou non (chez P. Krugman et la New Economic Geography). Ces auteurs identifient aussi des rendements croissants associés à la congestion ou à la dynamique des inégalités, qui compenseraient l'avantage productif des plus grandes villes et expliqueraient l'arrêt de la concentration spatiale des hommes et des activités au-delà d'un certain seuil.

Cependant, la conclusion empirique d'un avantage des grandes villes en termes de richesse et d'inégalités ne fait pas consensus. La question n'est pas close et prend une importance d'autant plus grande depuis la crise financière. Elle est alimentée en France par des analyses contradictoires menées à différentes échelles géographiques, sur des données plus ou moins urbaines. Ainsi, le débat suivant la contribution de L. Davezies et M. Talandier [2014] et sa réponse par O. Bouba-Olga et M. Grossetti [2014] est difficile à trancher du fait de l'inadéquation entre les échelles d'analyse utilisées (régions, départements, aires urbaines, zones d'emploi, unités urbaines, communes) et le concept de ville censé donner lieu à des éco-

1. http://reports.weforum.org/outlook-global-agenda-2015/top-10-trends-of-2015/

nomies ou déséconomies d'agglomération.

Le contexte récent de croissance faible, de contraction des budgets publics et de (re)montée des inégalités [Piketty, 2013 ; Dorling, 2014] rend donc nécessaire une recherche sur les inégalités urbaines de richesse à partir de données locales récentes. Nous montrerons en effet que la définition adoptée pour définir la ville modifie qualitativement les résultats obtenus concernant la relation entre richesse, inégalités et taille de villes en France.

Des données locales pour une exploration multi- et inter-niveaux.

Pour ce faire, quatre hypothèses concernant la relation entre distribution des revenus dans les sociétés urbaines et taille de villes sont identifiées et testées avec des données locales sur les tranches de revenu des foyers fiscaux en 2011. Ces données proviennent du Trésor Public [2] et fournissent pour toutes les communes françaises entre 2004 et 2012 la distribution du nombre de foyers fiscaux déclarant un revenu pour l'année précédente compris dans les tranches d'imposition en vigueur à cette date [3]. De plus, nous avons collecté les données de population et d'emploi fournies par l'INSEE pour le recensement de 2011, à l'échelle des communes [4].

Ces données locales sont agrégées selon différents périmètres pour rendre compte du caractère multiniveaux du concept de ville en France. Ainsi, les délimitations de ville dense (unité urbaine) et d'aire métropolitaine (aire urbaine) sont mises en oeuvre pour l'analyse d'ajustements log-linéaires entre population et nombre de foyers fiscaux par tranches de revenus. Elles sont d'autre part combinées au sein de modèles multiniveaux, et enfin déconstruites par une analyse de définition continue de la ville faisant varier simultanément les seuils de densité et la part de navetteurs polarisés, selon la méthodologie développée dans [Arcaute et al., 2015].

L'utilisation de régressions log-linéaires entre le nombre de foyers fiscaux et la population urbaine pour chaque catégorie de revenu permet de mesurer l'existence de relations scalantes. Ces lois d'échelle indiquent, lorsque l'exposant est supérieur ou inférieur à 1, que la quantité "à expliquer" (ici le nombre de foyers d'une certaine tranche de revenu) augmente respectivement plus ou moins que proportionnellement avec la taille des villes. On appelle ces relations super- ou sub-linéaires. Les relations super-linéaires traduisent une concentration relative dans les plus grandes villes, et correspondent généralement aux activités innovantes [Pumain et al., 2006] et créatives [Bettencourt et al., 2007], tandis que les relations sub-linéaires sont associées aux activités productives anciennes (voire obsolètes) et aux optimisations infrastructurelles (réseaux de transport et d'alimentation).

L'inégale répartition des inégalités urbaines.

En nous basant sur la littérature liant concentration des revenus et taille des villes, nous avons identifié quatre hypothèses à tester sur les données locales françaises :

- Les urbains français les plus riches se concentrent dans les villes de plus grandes tailles [Bettencourt et al., 2007 ; Batty, 2011].
- Les urbains français les plus pauvres se concentrent aussi dans les villes de plus grandes tailles, qui sont des lieux d'inégalité et de polarisation sociale exacerbée [Sassen, 1991].
- Les urbains français les plus riches se concentrent dans la partie centrale des

2. `http://www2.impots.gouv.fr/documentation/statistiques/ircom2011/ir2011.htm`

3. Toutefois, pour les tranches comprenant moins de 10 foyers, l'information n'est pas publiée pour des raisons de confidentialité. Cette condition exclut une majorité de communes mais une minorité de français : il reste 4081 communes renseignées représentant 67.8 % de la population.

4. `http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/`

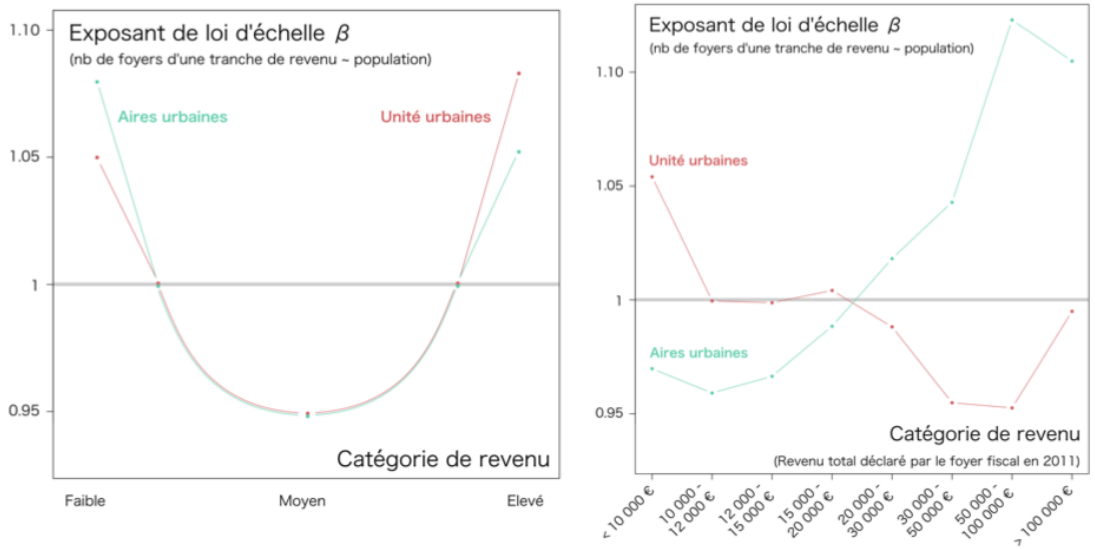
villes, mieux pourvue en aménités et plus chère [Glaeser et al., 2001].
– Les urbains français les plus pauvres n'ont plus accès aux centres-villes et se concentrent par défaut dans les périphéries urbaines [Dorling, 2014].

Le graphique de gauche de la figure 1 représente la distribution théorique des exposants de loi d'échelle associée à ces hypothèses. Le graphique de droite indique que les deux premières hypothèses dépendent de la définition de la ville adoptée tandis que les deux dernières sont infirmées empiriquement.

Ainsi, le principal résultat de cette communication concerne le fait que selon la définition de la ville adoptée (unité urbaine ou aire urbaine), la concentration relative des foyers aisés et modestes change de régime : de super-linéaire à sub- linéaire pour les plus pauvres et de sub-linéaire à super-linéaire pour les plus riches entre la définition d'unité urbaine et celle d'aire urbaine. Cette inversion résiste à l'instrumentation des régressions par la part d'industrie dans l'économie et à la modélisation multi-niveaux.

La dernière partie de la communication vise donc à explorer la transition entre les deux parties morphologiques de la ville en France et à montrer la façon dont varient ces exposants lorsque l'on considère une définition continue de la ville selon des critères de densité et de polarisation des navetteurs.

Figure 1. Distributions théorique (à gauche) et empirique (à droite) des exposants de lois d'échelle par tranche de revenu et par définition urbaine.



Références

Arcaute, E., Hatna, E., Ferguson, P., Youn, H., Johansson, A., & Batty, M., 2015, Constructing cities, deconstructing scaling laws. *Journal of The Royal Society Interface*, 12(102), 20140745.

Batty M., 2011, "Editorial. Cities, prosperity, and the importance of being large", *Environment and Planning B : Planning and Design* 38, 385-387

Bettencourt, L. M., Lobo, J., Helbing, D., Kühnert, C., & West, G. B., 2007, "Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(17), 7301-7306.

Bouba-Olga O., Grossetti M., 2014, "L'avantage économique apparent des métropoles : un problème de méthode de calcul ?", billet de blog, methode.hypotheses.org/164

Davezies L., Talandier M., 2014, *L'émergence des systèmes productivo-résidentiels*, Paris, La documentation Française, Coll. "Travaux", No. 19, 133p.

Dorling D., 2014, *Inequality and the 1%*, London, Verso, 234p.

Glaeser, E. L., Kolko J., Saiz A., 2001, "Consumer city", *Journal of Economic Geography*, Vol. 1, pp. 27-50.

Piketty, T., 2013, *Le capital au XXIe siècle*, Seuil, 950p.

Pumain, D., Paulus, F., Vacchiani-Marcuzzo, C., & Lobo, J., 2006, An evolutionary theory for interpreting urban scaling laws. *Cybergeo : European Journal of Geography.*

Sassen, S. (1991). *The global city*, Princeton, NJ : Princeton University Press.

Transports en commun artisanaux dans les pays en développement : auto- organisation et modélisation.

Léa Wester

UMR ESPACE – CNRS – Aix Marseille Université

lea.wester@laposte.net

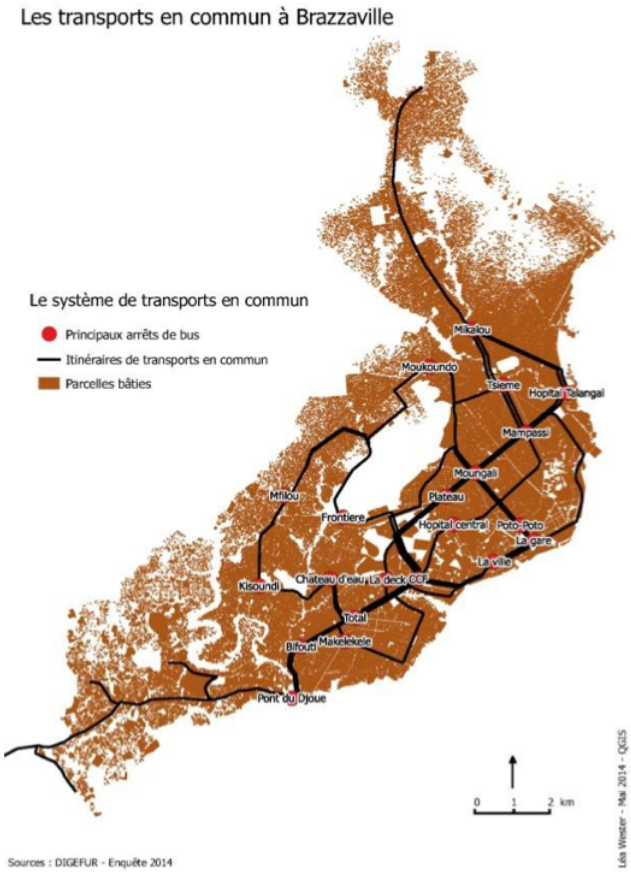
Mots-clefs - Lois d'échelle, inégalités, système de villes, France.

Les pouvoirs publics de certaines grandes métropoles du Sud n'interviennent pas dans la gestion des transports en commun. Dans ce contexte, des solutions alternatives apparaissent (Cervero, 2000). Ces transports fonctionnent sur la base de l'initiative individuelle, en l'absence de centralisation publique ou privée. Autrement dit, des individus indépendants mettent en place des offres de transport collectif. La mobilité quotidienne de plusieurs millions de personnes à travers le monde repose sur ce type d'organisation (Salazar Ferro, 2014). Ce secteur d'activité est la plupart du temps composé de micro-entreprises « artisanales » (Godard 2008). Elles reposent, de fait, sur une gestion décentralisée (Wilkinson et al., 2011), induisant une information non concertée et non regroupée, tant pour les usagers que pour les transporteurs. Le secteur est donc souvent difficile à décrire ou à comprendre dans son fonctionnement.

Chaque chauffeur de bus, indépendant dans ses choix, définit en temps réel ses stratégies commerciales. Ainsi, il construit au fur et à mesure de ses trajets, des itinéraires non préalablement définis. Il s'agit d'un processus bottom-up assez original en ce qui concerne les transports collectifs, notamment si on se place dans un référentiel de pays du Nord. Le système que nous avons observé montre pourtant une très grande stabilité, à la fois dans l'espace et le temps. Il pourrait être source d'innovation et mérite une analyse plus approfondie (Amar, 2004). Nous voyons donc ici un phénomène d'émergence spatiale : de la combinaison de stratégies individuelles non concertées apparaît un système de transport en commun présentant une structure spatiale stable. La non-centralisation et le caractère multiscalaire du fonctionnement du système nous incite à utiliser les théories de l'auto- organisation pour l'appréhender (Pumain, 2007).

Nous proposons une approche de modélisation individu-centrée dans l'objectif de caractériser les variables structurantes de ce type d'offre de transport collectif. A partir d'une modélisation du système, inspirée du cas de Brazzaville, nous testons les hypothèses liées à la construction des stratégies individuelles des opérateurs. Etant donné qu'aucun dispositif ne les oblige à agir en fonction du bien commun, on considère que leur principal objectif reste leur profit personnel (Olson, 1965). La maximisation du profit des opérateurs repose sur la mise en relation des coûts liés au déplacement et des recettes relatives au remplissage du véhicule. L'adaptation à la demande est donc au cœur du processus de décision.

Nous étudions les paramètres d'adaptation de l'offre à partir de règles de comportement simples, basées sur la maximisation du profit et la recherche itérative des meilleurs choix. ? Pour analyser le mode de fonctionnement du système de transport en commun brazzavillois, nous nous sommes intéressés à l'offre puis à la demande. La stratégie constituant l'offre étant liée à une demande instantanée, il est nécessaire, dans un premier temps, de pouvoir caractériser spatialement cette offre. Des enquêtes réalisées en 2013 et 2014 ont permis de constituer une base de données géo-référencée des itinéraires et arrêts structurant le réseau (Carte 1).



Carte 1 : Structure des transports en commun brazzavillois

Une enquête basée sur des entretiens semi-directifs nous a permis de définir le fonctionnement des stratégies individuelles. Les 40 opérateurs interrogés ont montré des paramètres de choix particuliers. En arrivant à un arrêt, les opérateurs de chaque bus annoncent des destinations afin d'identifier les destinations les plus attendues. Ils finissent par choisir un trajet comprenant trois destinations successives. Les annonces des trajets possibles sont basées sur de multiples critères. A titre d'exemple, nous avons constaté que l'expérience des opérateurs est importante dans ces choix. Ainsi, ils n'annoncent pas d'itinéraire trop long, et donc trop coûteux, à moins d'être certains de remplir le bus. Un itinéraire particulièrement congestionné ne sera pas non plus envisagé. De même, la théorie d'annonce de trois destinations n'est pas toujours respectée dans les faits. L'itinéraire choisi est susceptible de changer avant d'avoir atteint le dernier des trois arrêts annoncés. Il suffit qu'une direction plus rentable apparaisse à l'un des arrêts. Le calcul du rapport coût / bénéfice est donc récurrent, voire même rétroactif.

L'intégration de la demande dans notre modèle repose sur une enquête effectuée en 2014. Plus de 2300 individus ont été enquêtés. Nous avons constitué une base de 4300 déplacements répartis autour des 23 principaux arrêts de bus de l'agglomération. Sachant ? qu'on estime à 90% le nombre de citadins mobiles en Afrique Subsaharienne (Diaz Olvera, Plat et Pochet 2012) et qu'environ 20% des déplacements sont effectués en transports en commun (Diaz Olvera et al., 2010). On peut supposer que Brazzaville compte 230 000 utilisateurs de transports en commun et génère près d'un million de déplacements journaliers, en comptant les utilisateurs extérieurs. Notre enquête nous permet donc d'avoir un intervalle de confiance inférieur à 2% en ce qui concerne les usagers. Pour les déplacements, notre intervalle de confiance varie entre 6 et 3.5% selon les zones.

Un système multi-agents a été construit à

partir de ces données concernant l'offre et la demande de transport en commun. L'environnement prend la forme d'un graphe où les nœuds sont localisés à partir des arrêts de bus et les liens correspondent aux itinéraires possibles (Figure 1). Chaque lien a un prix qui est proportionnel à sa longueur, au prix de l'essence et à la consommation moyenne du bus.

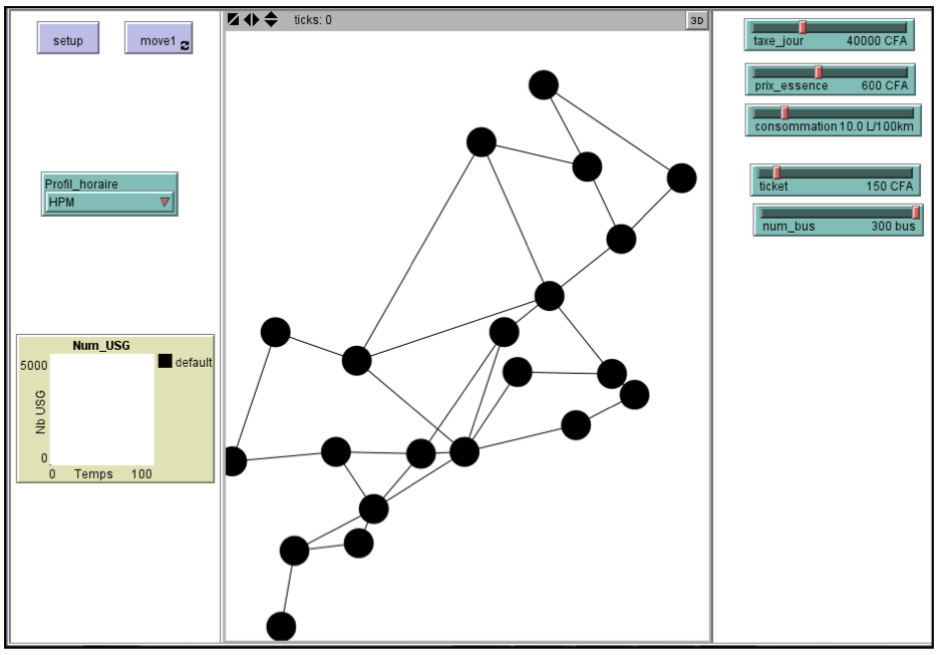


Figure 1 : Le graphe - environnement du SMA

Les agents sont de deux types : usagers et bus. Les usagers sont créés à une origine et avec une destination en fonction de l'enquête effectuée. A l'échelle macro, différents profils de demande ont été implémentés. Ils correspondent aux différentes tranches horaires. On peut ainsi différencier la demande en heures de pointe et celle en heures creuses. Les bus ont été, dans un premier temps, générés aléatoirement sur le réseau. Ils seront à terme relocalisés à partir de données spatiales issues de photographies aériennes de la ville. Leur capital est perpétuellement recalculé en fonction des coûts de déplacement et des recettes liées aux usagers. Les agents-bus sélectionnent leurs itinéraires en fonction des destinations les plus demandées et de la congestion aux arrêts lors des précédents déplacements. Nous testons les hypothèses concernant le rapport entre l'offre et la demande en transport, contraint par la structure sous forme de graphe de l'environnement. Les variations expérimentées concernent les rapports coût / recettes et nombre de bus / nombre d'usagers, ainsi que la capacité mémorielle des agents-bus. ? L'observation de la répartition de la desserte à l'échelle de l'agglomération et des temps d'attente des bus et des usagers nous permet de tester un certain nombre d'hypothèses. Nous souhaitons, par ces variables pour l'instant simples, analyser la construction et la performance des structures spatiales du système. Ces structures sont intimement liées aux différentes combinaisons stratégiques possibles. Nous pouvons ainsi, d'un point de vue génératif, identifier les variables dont le comportement conditionne le fonctionnement du système. Une fois ces variables identifiées, nous faisons émerger les points d'équilibre et les différents seuils qui amènent à des bifurcations comportementales. Celles-ci induisent ainsi une modification globale de notre système, soit dans sa structure, soit dans sa dynamique. Nous espérons, à terme, mettre à l'épreuve la stabilité de cette structure. Il s'agit, par exemple, de la comparer à des structures qui émergent à partir d'autres types de stratégies, différentes de celles utilisées à Brazzaville.

Références

AMAR Georges, 2004, *Mobilités urbaines. Eloge de la diversité et devoir d'invention.*, Paris, Edition de l'aube, 251 p.

CERVERO Robert, 2000, *Informal Transport in the Developing World*, s.l., UN-HABITAT, 262 p.

DIAZ OLVERA Lourdes, PLAT Dider et POCHET Pascal, 2012, « Mobilité et accès à la ville en Afrique Subsaharienne », Addis Abeba.

DIAZ OLVERA Lourdes, PLAT Didier, POCHET Pascal et SAHABANA Maïdadi, 2010, « Entre contraintes et innovation : évolutions de la mobilité quotidienne dans les villes d'Afrique subsaharienne », *Espace populations sociétés. Space populations societies*, 31 décembre 2010, no 2010/2-3, p. 337 ?348.

GODARD Xavier, 2008, « Transport artisanal, esquisse de bilan pour la mobilité durable », Hô Chi Minh Ville.

OLSON Mancur, 1965, *The Logic of Collective Action*, s.l., Harvard University Press, 212 p.

PUMAIN Denise, 2007, « Une approche de la complexité en géographie », *Géocarrefour*, 23 mai 2007, vol. 78, no 1, (coll. « Les références des géographes »), p. 25 ?31.

SALAZAR FERRO Pablo, 2014, *Le transport collectif artisanal : une composante essentielle dans un système dual*, s.l., CODATU - AFD.

WILKINSON P, GOLUB A, BEHRENS R, SALAZAR FERRO Pablo et SCHALEKAMP H, 2011, « Transformation of Urban Public Transport Systems in the Global South » dans *International Handbook of Urban Policy*, Volume 3, H. S. Geyer., s.l., vol.3, p. 30.

Atelier 4

Modélisation et simulation urbaine (2)

MIRO3 : Des modèles orientés experts et données pour comprendre et simuler les dynamiques intra-urbaines quotidiennes.

Pierre Fosset[1,2], Nicolas Marilleau[2] et la Miro Team

[1]UMR 8501 Géographie-Cité – CNRS

[2]UMI 209 UMMISCO – IRD/UPMC

pierre.fosset@ird.fr et nicolas.marilleau@ird.fr

Mots-clefs - Mobilité quotidienne, modélisation agent stylisée vs simulation descriptive, génération de population, génération de planning

Décideurs et scientifiques s'accordent sur la nécessité de mieux prendre en compte les concepts de durabilité et de résilience comme base des politiques d'aménagement urbain. Celles-ci doivent ainsi promouvoir le respect des équilibres sociaux, l'intégration harmonieuse de la ville aux écosystèmes qui l'entourent, l'usage d'un habitat « vert », ou encore la promotion de moyens de transport économes en énergie. Dans le même temps, elles doivent également veiller à diminuer la vulnérabilité de la ville et de sa population face aux changements et à l'imprévisible. Le projet Miro (financement PREDIT 2004—2007, ANR 2009—2013, MEDDE 2014-2015) vise à explorer, par simulation informatique, les impacts possibles de politiques urbaines sur l'accessibilité spatio-temporelle des citadins à la ville et leurs conséquences sur leur mobilité quotidienne. Il vise également à établir des diagnostics territoriaux (pertes et gains d'accessibilité localisés) et sociaux (populations avantagées et désavantagées par les différentes politiques teste ?es). Il permet enfin d'explorer les possibles impacts globaux de modifications de comportements individuels, moins centrés sur la maximisation d'une utilité individuelle et prenant davantage en compte des enjeux globaux. Bien que les fonctions de la ville soient définies une à une, leur enchevêtrement fait qu'il est difficile d'en optimiser une sans modifier voire dénaturer l'efficacité d'une autre. C'est pourquoi, il nous faut imaginer des politiques qui fassent consensus en tenant compte de la diversité des acteurs locaux, des dynamiques environnementales et des processus sociaux, et sans évaluer, a *priori*, leur impact sur le territoire.

Ainsi dans le cadre du projet Miro nous développons une approche originale tirant partie : (i) de la modélisation stylisée et de la simulation large échelle [1] ; (ii) de données réelles de terrain notamment d'enquêtes ménage déplacement et de données Insee ; (iii) de l'expérience des acteurs de la ville aux travers de jeux sérieux, des simulateurs didactique et interactifs dont l'objectif est d'établir des scénarios urbain et des compromis intéressants.

Modélisation stylisée et simulation large échelle

Les modèles à bases d'agents sont au cœur de la démarche développée dans le projet MIRO. Les Systèmes Multi-Agents sont des outils tout à fait intéressants pour explorer virtuellement des scénarios urbains (aménagement du territoire, organisation des services de la ville), en tenant compte de critères spatio-temporels fondamentaux pour décrire les mobilités intra-urbaines. Ils permettent de naviguer entre : (i) une représentation stylisée d'un phénomène pour le comprendre, le manipuler et identifier des solutions via des scénarios urbains ; (ii) et une étude descriptive et prospective, par simulation large échelle pour évaluer ces mêmes solutions en les confrontant au données réelles de la ville. Ainsi, trois modèles

complémentaires sont développés (voir figure 1) : un modèle stylisé, dit de « compréhension » ; un modèle participatifs pour établir des scénarios par le jeu sérieux ; et un modèle descriptif basé sur des données réelles permettant la simulation exploratoire de quelques scénarios identifiés.

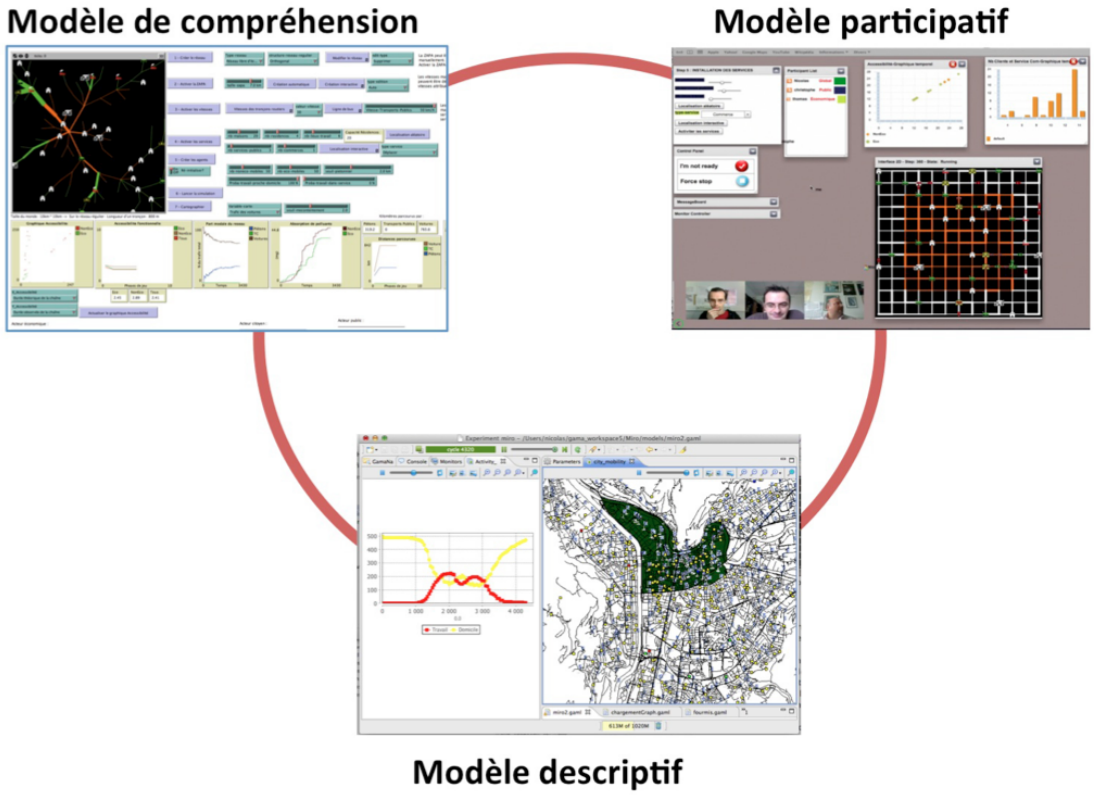


FIGURE 1 – Trois modèles complémentaires pour une meilleure compréhension, l'élicitation de scénarios urbain et leur évaluation par simulation large échelle.

Modèle de compréhension SMArtAccess

SMArtAccess, est un modèle de compréhension, permettant à l'utilisateur de construire une ville, d'y localiser des services commerciaux et universels, ainsi que des lieux de travail et de résidence, puis de le peupler d'agents autonomes réalisant des chaînes d'activité au moyen de différents modes de transport (marche à pieds, transport public, voiture). L'objectif est alors pour l'utilisateur de tester des modèles urbains (ville compacte, villages urbains,...) mais également de définir, de manière itérative et interactive et en s'appuyant sur un grand nombre d'indicateurs macroscopiques et microscopiques, des configurations urbaines satisfaisant certains critères de durabilité. L'objectif de ce jeu est d'amener les utilisateurs à prendre conscience de la difficulté de piloter un système urbain complexe, qui plus est lorsqu'on cherche à atteindre plusieurs objectifs, dont certains sont mutuellement incompatibles.

Modèle participatif SM^{2}A^2

SM^{2}A^2 est une version participative multijoueurs du modèle SmartAccess. SM^{2}A^2 permet à cinq personnes de jouer de manière collaborative pour identifier des scénarios adaptés. Chacun des participants assume un rôle (Aménageur, transporteur, citoyen etc) et ne peut intervenir que sur une partie du modèle et l'environnement créé que dans le cadre de ce rôle (ex : le joueur « Aménageur » définit le réseau routier, la Zone d'Action Prioritaire pour l'air,...). L'objectif de ce jeu sérieux est d'amener

les acteurs à prendre conscience de la difficulté d'agir de manière sectorielle sur un système complexe, animé d'une dynamique propre et soumis aux actions non coordonnées mais interdépendantes d'autres acteurs.

Modèle descriptif GaMiroD

GaMiroD est un modèle descriptif qui a été appliqué pour les villes de Dijon et de Grenoble. Ce modèle a été développé au sein de la plateforme GAMA [7], plateforme autorisant la simulation de centaines de millier d'habitants. L'objectif de ces deux études de cas était de pouvoir tester des scénarios impliquant un changement dans l'environnement urbain et qui se rapportent aussi à des actions de politiques publiques locales encouragées par des objectifs de développement durable (construction d'une infrastructure de Transport Collectif en site propre ; mise en place d'une zone urbaine avec régulation du trafic en vue de réduire les effets de pollution).

L'application du prototype GaMiroD sur les deux sites a permis in fine de vérifier la reproductibilité du protocole et de tester les capacités de calcul sur deux agglomérations de tailles différentes.

Introduire les données d'enquête dans le modèle

Afin de donner au modèle descriptif GaMiroD une consistance par rapport à la quantité de données recueillie ces dernières années dans les projets MIRO et MIRO2, nous avons opté pour un premier axe de développement portant sur la génération de population synthétique. Il s'agit d'une génération mêlant de nombreuses données, hétérogènes en qualité et granularité. Un traitement statistique des données des enquêtes ménages et déplacement (EMD) nous a fourni une typologie des personnes, mêlant leur mobilité quotidienne à leurs caractéristiques socio-géographiques.

Les différents travaux effectués dans MIRO et MIRO2 sur le sujet de la génération de population nous ont amené à travailler sur une méthodologie classique dite de reconstruction synthe ?tique [4]. Cette approche fait appel à un algorithme IPF (Iterative Proportional Fitting) permettant de faire correspondre les données des échantillons des enquêtes à des données agrégées de plus grande envergure (type INSEE). Notre choix pour cette étape se porte ainsi vers une librairie R généralisable, disponible en téléchargement libre [5]. Une fois la population créée, son affectation spatiale (dans les logements) se fait au moyen d'une méthode probabiliste, afin de regrouper les agents de manière analogue à des foyers.

Enfin, pour retranscrire la complexité des itinéraires quotidiens et des choix réalisés à l'échelle de l'agent, une fonction d'utilité est utilisée pour l'allocation du temps [6]. Une bibliothèque d'emplois du temps a été créée à partir des données des EMD afin de fournir un panel de choix important pour les agents dans l'organisation de leur temps à chaque cycle de la simulation. A chacun de ces emplois du temps est associée une probabilité de choix par les agents, suivant une loi de régression multinomiale, dont la valeur dépend des temps de trajet et des temps passés dans les différentes activités. Ainsi, au travers des choix d'emploi du temps, nous comptons retrouver les différents comportements identifiés lors des enquêtes selon les catégories socio-géographiques.

Le jeu sérieux pour comprendre et identifier des scénarios intéressants

Le jeu sérieux SMArtAccess et sa plateforme multi-joueurs SM2A2 ont bénéficié en juin 2013 d'une diffusion auprès de professionnels, en particulier dans le domaine du transport et de la recherche, mais aussi auprès des collectivités territoriales. En parallèle, le modèle de compréhension est utilisé en formation initiale pour amener des étudiants en Master de géographie et d'aménagement du territoire à appréhender les problématiques de la ville durable à travers des projets en binômes ou lors de séances de Travaux dirigés. Cette diffusion

a permis et permettra de juger le jeu en situation réelle, et de le valider via les retours utilisateur, ouvrant toujours de nouveaux axes de recherche.

Pour développer de nouvelles dynamiques, le joueur bénéficiera désormais d'une fonction permettant l'ajout de chaînes d'activités personnalisées, créant ainsi une population plus diversifiée dans ses déplacements. Il est possible dans cette fonction d'affecter soi-même des emploi du temps différents à des pourcentages de la population choisis.

La gestion de la multi modalité est également un de nos axes d'amélioration. Les agents choisissent de faire le trajet à pied et changer ensuite pour le bus, ou bien prendre un véhicule personnel, mais ne peuvent pas déposer leur véhicule personnel pour ensuite prendre les transports en commun. Il sera envisageable dans les prochaines versions, en se basant sur les travaux cités en référence [2] et [3], d'ajouter des parkings dans la ville à des points choisis par l'utilisateur, pour permettre ce changement modal (dont le choix se fait en fonction du plus court chemin).

Nous avons de plus choisi de développer différents scénarios de jeu, dans lesquels tous les paramètres normalement disponibles ne sont pas proposés. Ainsi, chaque scénario a une interface propre, afin que le joueur se focalise plus facilement sur son ou ses objectifs. Le développement des scénarios se fait de la même manière en multijoueur, où chaque acteur du jeu a accès à une interface commune d'observation de la ville synthétique, ainsi qu'à la modification de certains paramètres qui lui sont propres.

Références

[1] BANOS, A., SANDERS L., 2013, Modéliser et simuler les systèmes spatiaux en géographie. In Varenne Franck et Silberstein Marc (éd.) : Modéliser et simuler. Épistémologies et pratique de la modélisation et de la simulation, Volume 1, Matériologiques, pp. 833-863

[2] Aurelie Bousquet, Sophie Constans, and El Faouzi Nour-Eddin. On the adaptation of a label-setting shortest path algorithm for one-way and two-way routing in multimodal urban transport networks. In International Network Optimisation Conference, 2009.

[3] Pierre Parent, Dominik Kirchler, Marie-José Huguet, Roberto Wolfler Calvo. Plus court-chemin multimodal aller-retour.

[4] Müller K., & Axhausen, K.W. (2010). Population synthesis for microsimulation : State of the art, TRB 2011 Annual Meeting, 1 ? 21.

[5] Alexander W Blocker (2014). `http://cran.us.r-project.org/web/packages/ipfp/ipfp.pdf` Librairie R hébergée par le Comprehensive R Archive Network (CRAN) et est téléchargeable sous réserve d'acceptation des termes de la licence Open Source Apache Licnce.

[6] Pierre-Henri Morand. WP2, livrable n°1-ANR MIRO2. Vers une approche micro-économique du comportement de l'agent dans MIRO2 : Modèles de déplacements et d'allocation du temps

[7] Taillandier et al, 2014 : Taillandier P. Grignard A., Gaudou B. Drogoul A. (2014). Des données géographiques à la simulation à base d'agents : application de la plateforme GAMA. Cybergéo : European Journal of Geography, Document 671.

L'apport de la simulation multi-agent du trafic routier pour l'estimation des pollutions atmosphériques automobiles

Justin EMERY [1,3], **Nicolas MARILLEAU**[2], **Nadège MARTINY**[3], **Thomas THEVENIN**[1], **Julien VILLERY**[4]

[1] Université de Bourgogne, UMR ThéMA
[2] UMI 209 UMMISCO IRD/UPMC
[3] Université de Bourgogne, UMR Biogéosciences, CRC
[4] AASQA Atmosf'air Bourgogne

justin.emery@u-bourgogne.fr
nicolas.marilleau@ird.fr
nadege.martiny@u-bourgogne.fr
thomas.thevenin@u-bourgogne.fr

Mots-clefs - Pollution atmosphérique de proximité, Comptage routier, Simulation Multi-Agent, Modélisation des flux de transport routier

Contexte et objectif de l'étude

La pollution atmosphérique est aujourd'hui considérée comme cancérigène pour la santé humaine (OMS, 2013). Avec le bruit, elle est l'une des premières nuisances directement ressenties par les populations en milieu urbain. Son évaluation présente un véritable enjeu pour les pouvoirs publics afin de mieux en identifier ses sources, ses impacts en vue de définir des politiques territoriales (PDU, cadastre d'émission). A l'échelle locale, la pollution atmosphérique est à relier directement à l'intensité des sources d'émissions qui vont accentuer, ou non, la qualité de l'air extérieure (Elichegaray, 2010). En milieu urbain, le premier contributeur en émission de NOx, CO, ou PM10 dans l'atmosphère est le trafic routier (CITEPA, 2014). L'évaluation de la Pollution Atmosphérique Automobile (PAA) à l'échelle d'une agglomération implique de disposer d'une information spatialisée du trafic sur les axes routiers (PCIT, 2012). La piste habituellement privilégiée pour y parvenir est d'utiliser les modèles de trafic et leurs résultats en vue d'alimenter un modèle d'émission des polluants atmosphériques.

La modélisation à quatre étapes reste l'outil le plus utilisé pour modéliser les déplacements et mener des études d'impacts routiers en milieu urbain (Debizet, 2011), malgré des avancées scientifiques importantes dans le domaine des systèmes complexes, notamment avec les approches désagrégées (McFadden, 2000) et/ou agents (MATSIM ou SUMO). Les modèles de trafic routier issus de la modélisation à quatre étapes sont le résultat d'un processus de construction et de modélisation basé sur la demande et l'offre de déplacement (Bonnel, 2001). Il est alors nécessaire de faire appel aux données de comptages routiers pour calibrer et valider ces modèles agrégés et les données de trafic routier qu'ils produisent par simulation (SETRA, 2010).

Le rapprochement du modèle à la donnée de terrain est de première importance pour les études relatives aux impacts environnementaux du trafic routier. Dans le cadre de cette communication, nous proposons une approche désagrégée, dite « bottom up », où le véhicule est vu comme une entité en mouvement sur un réseau routier. Par l'évolution spatio-temporelle de l'ensemble de ces entités et leurs interactions nous cherchons à visualiser un trafic routier émergent représentatif pour évaluer la PAA. Cette approche repose principalement sur le paradigme agent et sur des données de comp-

tages routiers.

Nous appliquons ce travail à la ville de Dijon à partir de données réelles. À travers ce cas d'étude, nous souhaitons évaluer cette approche dite descriptive car basée sur des données de comptage routier présent sur le site d'étude. Cette étude s'intéresse donc à une échelle fine du territoire : autant d'un point de vue spatial que temporel. Elle vise à explorer les variations de concentrations en oxydes d'azote, conséquence directe de la circulation routière quotidienne. Ceci nécessite, dans un premier temps la mise en place d'un modèle multi-agents d'affectation qui permettra de reconstruire la fréquentation routière de la ville de Dijon à partir des données de comptage, puis dans un second temps, d'appréhender les émissions d'oxydes d'azote en lien avec l'automobile pour mieux identifier les 'hot-spot' (Roussel, 2001) de la qualité de l'air. Cette dernière étape reprend le processus de modélisation habituellement utilisé dans les AASQA (Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air) pour la mise en place des inventaires territoriaux d'émissions atmosphériques automobiles (PCIT, 2012) reposant sur la méthodologie européenne COPERT (Computer Programme to Estimate Emissions from Road Transport).

Un modèle d'affectation des données de comptage routier

Notre méthode repose sur l'utilisation d'un réseau de 210 capteurs électromagnétiques placés sous la chaussée à l'échelle de Dijon et sa rocade. En complément des stations permanentes, la ville de Dijon réalise des comptages ponctuels sur des périodes plus courtes pouvant aller de 2 à 3 semaines. Sur la période 2006-2014, ceux-ci placés en 655 lieux différents offrent une ou plusieurs mesures pour tous les types de réseau routier de la ville (de la liaison résidentielle à la liaison nationale). Ces données offrent ainsi l'opportunité de mieux connaître la répartition du trafic sur les différents axes du site d'étude.

Les données sont structurées au sein d'un SIG-T (Goodwin, 2000) permettant l'interfaçage entre la localisation des postes de mesures (PM) et les données recueillies par la ville pour traiter les données de comptages d'un point de vue spatial mais aussi temporel. La figure ci-dessous illustre notre système de traitement de données. Deux modules se distinguent, le premier concerne la dynamique et la gestion des données de comptages recueillies au sein du Système de Régulation du Trafic (SRT) de la ville de Dijon qui sont ensuite stockées au sein d'une base de données. Le second permet de localiser et de mettre en œuvre la représentation des PM et de leurs données sur l'espace dijonnais.

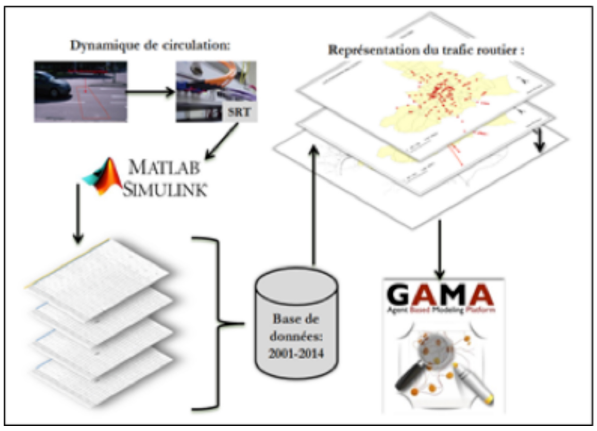


FIGURE 2 – : Schéma de traitement des données de comptages routier

L'enjeu du modèle multi-agent est de quantifier le trafic sur l'ensemble des tronçons d'un réseau routier à partir d'un signal ponctuel et épars, issu des données de comptage. Les SMA présentent l'avantage d'offrir un lien direct avec les SIG permettant, d'une part, d'inscrire des agents au sein d'un environnement géographique et, d'autre part, de reproduire la mobilité de ces agents par la description de leurs comportements dans un environnement (Marilleau, 2006). De plus, les SMA offrent l'opportunité d'intégrer plus aisément la dimension temporelle d'objets géographiques permettant par nature de proposer une architecture spatio-temporelle de notre modèle de données (Paque, 2004). L'interfaçage entre les données géographiques et la simulation à base d'agents se fait par le biais de la plateforme GAMA (Taillandier et al, 2014).

Au sein du modèle de SMA, deux entités se distinguent pour affecter les données de comptage sur le réseau routier : i. l'environnement est le réseau routier issu de la BD Topo de l'IGN ; ii. les agents qui sont de deux natures, les PM générant les véhicules et les véhicules eux-mêmes se déplaçant sur le réseau routier. Cette approche dite cumulative permet d'insérer les véhicules au sein du réseau routier au fil de l'eau. Une fois générés, les véhicules se déplacent sur les tronçons (et de tronçon en tronçon) en tenant compte des interactions locales avec la voirie (hiérarchie) et les autres véhicules. Ils participent ainsi, par leur comptage sur chaque tronçon, à quantifier le trafic sur l'ensemble du réseau. Cette méthodologie permet, en outre, d'appréhender les flux de circulation routière qui interviennent sur le réseau capillaire ; et qui sont plus difficilement mesurables par l'emprise spatiale du réseau de mesure.

Principaux résultats

d'apporter des éléments de validation du modèle multi-agent d'affectation du trafic. Cette étude visera à comparer les données produites par simulation aux données de terrain sur une journée type. Deux dimensions doivent être prises en compte : la première, temporelle, en vue de reproduire la courbe de la fréquentation routière en journée (matin, midi, soir) ; la seconde, spatiale, permettant de valider la fréquentation des axes.

Pour cela, la méthode de la validation croisée a été choisie. Deux échantillons de données ont été utilisés, l'un utilisé en entrée pour alimenter la simulation et l'autre en sortie pour être comparé avec les résultats de la simulation et évaluer/valider ceux-ci. Ils permettent d'apprécier la validité des simulations face à des données de référence qui ne sont pas intervenues dans le dispositif de simulation.

Les premiers résultats tendent à montrer une bonne conservation du signal issu des PM qui reste néanmoins sous-estimé face aux données de références. Sur le plan spatial, les résultats sont à nuancer. La fréquentation des axes se structure autour des axes les plus caractéristiques où la donnée est prépondérante. Toutefois, ces résultats spatiaux ne permettent pas de valider le trafic observé sur le réseau capillaire. D'autres efforts doivent être menés pour mieux valider cette partie spatiale. Ensuite, les répartitions spatio-temporelles du trafic, obtenues par simulation, alimenteront les modèles d'émissions atmosphériques. Ces derniers donneront une vision spatialisée des émissions d'oxydes d'azote sur la ville de Dijon dont les résultats préliminaires seront présentés. Ainsi, notre proposition tend à apporter une autre réponse dans une portée environnementale et plus spécifiquement pour la mesure de la pollution atmosphérique liée à la circulation routière en ville.

L'utilisation des comptages routiers révèle un véritable potentiel pour reproduire la circulation routière avec un processus de construction qui est moins chronophage qu'un modèle à quatre étapes. D'autant plus que notre approche est applicable à d'autres villes disposant des mêmes dispositifs de comptage. Néanmoins, l'intégration de ces données eulériennes n'est pas sans contrainte car elle nécessite un prétraitement de la donnée, son recueil puis son affectation sur l'ensemble du réseau. Ce dernier pourrait être automatisé.

Références

CITEPA, 2014 : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, (avril 2014). « Rapport d'inventaire national SECTEN ».

Debizet, 2011 : Debizet G. (2010). Crise ou mutation de l'expertise en transport et mobilité ? Action publique face à la mobilité, *Action publique face à la mobilité*, Paris, L'harmattan Ed. 2010, p.139-162.

Elichegaray, 2010 : Elichegaray, C. (2008). *La pollution de l'air : Sources, effets, prévention*. Dunod, Paris.

Goodwin, 2000 : Goodwin M.F. (2000) Gis and transportation : Status and challenges. *GeoInformatica*, Vol 4, n°2, p. 127-139.

MacFadden, 2000 : MacFadden D. (2000), Disaggregate behavioral travel demand's RUM side,a 30-year retrospective, *9thInternational Association of Travel Behavior Analysts*, Brisbane, Australia, vol.1, 38p.

Marilleau, 2006 : Marilleau N. (2006). *Méthodologie, formalismes et outils de modélisation-simulation pour l'étude des systèmes complexes : application à la mobilité géographique*. Thèse en informatique, Université de Franche-Comté.

OMS, 2013 : International Agency for Research on Cancer OMS (2013). IARC : Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths, Article de presse n°221, Octobre 2013

Paque, 2004 : Paque D. (2004) Gestion de l'historicité et méthodes de mise à jour dans les SIG », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 278, mis en ligne le 23 juin 2004 URL : `http://cybergeo.revues.org/2500;DOI:10.4000/cybergeo.2500`

Roussel, 2001 : ROUSSEL I. *L'air et la ville : Les nouveaux visages de la pollution atmosphérique*. Hachette Littérature. Paris : Hachette, 2001. 209 p.

SETRA, 2010 : SETRA, (2010). *Calage et validation des modèles de trafic. Techniques appliquées à l'affectation routière interurbaine* (Guide méthodologique). Juillet 2010. Paris

Taillandier et al, 2014 : Taillandier P. Gragnard A. Gaudou B. Drogoul A. (2014). Des données géographiques à la simulation à base d'agents : application de la plateforme GAMA. *Cybergéo : European Journal of Geography, Document 671.*

Contraintes spatiales, mobilité résidentielle et changement modal : le cas transfrontalier luxembourgeois.

Philippe Gerber[1], Olivier Klein[1], Tai-Yu Ma[1], Julien Schiebel[1], Samuel Carpentier[2]

[1] LISER - Luxembourg Institute of Socio-Economic Research [2] Aix-Marseille Université, CNRS, ESPACE UMR 7300

philippe.gerber@ceps.lu

Contexte et objectif

La particularité principale du Grand-Duché du Luxembourg est sans conteste le phénomène frontalier, notamment en termes de demande de transport à l'échelle individuelle. Depuis plus d'une décennie, près de la moitié de la main-d'œuvre luxembourgeoise provient de France, d'Allemagne et de Belgique (STATEC, 2014). Nombre de travaux ont déjà relaté les spécificités des comportements de déplacement de cette population (par ex. Gerber, Ramm 2003 et 2004, Schmitz et al. 2012, Enaux, Gerber 2014), et plus particulièrement celles d'actifs anciennement résidents luxembourgeois qui ont déménagé dans les pays limitrophes et devenant de facto des frontaliers (Carpentier 2010, Gerber, Carpentier 2013, Carpentier et al. 2013). Pour ces derniers, force est de constater que l'utilisation de l'automobile reste largement prépondérante et s'accentue, la part modale de la voiture passant de 68% à 83% entre 2002 et 2008. Au-delà du constat quantitatif concernant le partage modal, il convient de s'interroger sur les déterminants de ces choix ; autrement dit, quels motifs ont poussé ces travailleurs à changer de mode de transport ?

L'objectif de cette présentation est ainsi d'analyser les principaux déterminants de changement modal d'actifs frontaliers suite à un déménagement depuis le Luxembourg vers un des pays limitrophes, notamment les impacts liés aux changements de contraintes spatiales (différences d'offre et d'accessibilité, type de localisation, évolution éventuelle des espaces d'activité, etc.). A partir d'une revue de littérature portant sur les déterminants du choix modal (par ex. de Witte et al. 2013, Schwanen, Lucas 2011), il conviendra d'isoler les séries d'indicateurs disponibles à intégrer dans les modèles économétriques. Pour cela, nous soutenons l'hypothèse que, indépendamment d'un changement relatif de la configuration de leur espace de vie quotidienne, les actifs frontaliers se retrouvent confrontés à une accessibilité en transport en commun moins performante à l'échelle transfrontalière qu'à l'échelle nationale luxembourgeoise, témoignant toute chose égale par ailleurs de différentiels, ou du moins de fortes discontinuités, d'un pays à l'autre.

Objectifs

Ce travail vise à évaluer quelle part chacun des mécanismes évoqués jouent au niveau francilien. Les travaux de la littérature de l'*Excess Commuting* fournissent un cadre méthodologique bien balisé mais mettent le plus souvent l'accent sur les différences entre structures théoriques et observées (du point de vue des distances surtout). Des travaux comme ceux d'Horner (2002) visent à augmenter le caractère réaliste des permutations suggérées en intégrant des contraintes sur les types de ménages pouvant échanger leur emploi. Toutefois, même dans ce cas, ces travaux ne s'intéressent pas à la transition entre la situation réelle et la situation "optimale", puisque le module d'optimisation, agit comme une boîte noire masquant toutes les situations intermédiaires. Ce module permet d'évaluer les gains potentiels en termes de distances domicile-travail en utilisant des algorithmes

de recherche opérationnelle fondés le plus souvent sur une matrice de flux et une matrice de distance origines / destinations, fixées une fois pour toutes.

D'autre part, le recours à ce type d'approches agrégées empêche la prise en compte de liens horizontaux entre individus au sein des zones, comme par exemple les liens familiaux au sein d'un ménage. Dans l'optique de dépasser cette difficulté et de pouvoir suivre au cours de la simulation l'évolution des distances, nous proposons un modèle de micro-simulation présentant la particularité d'intégrer la composition fine des ménages, et ainsi en particulier la question de la biactivité.

Données

Pour y répondre, nous nous appuierons sur deux sources d'informations complémentaires, une enquête et une base de données ad hoc interrégionale. Réalisée au printemps 2008 par le CEPS/INSTEAD en partenariat avec la fondation Forum Europa, l'enquête a été administrée par courrier. Son champ d'application, correspondant à celui de cette communication, concerne l'ensemble de la population des actifs occupés résidant au Luxembourg et qui se sont installés dans un pays frontalier entre 2001 et 2007, tout en conservant leur emploi au Grand-Duché. Quatre critères de sélection ont été retenus sur base de fichiers anonymisés de l'Inspection Générale de la Sécurité Sociale luxembourgeoise : (i) avoir déménagé du Luxembourg vers une commune allemande, belge ou française appartenant à la Grande Région, (ii) avoir effectué ce déménagement entre 2001 et 2007, (iii) avoir un emploi au Grand-Duché avant et après le déménagement, et (iv) avoir séjourné au moins six mois dans ? le pays d'accueil. Finalement, ces critères ont abouti à la sélection d'une population-mère de 7 715 personnes, et, avec un taux de réponse de près de 25%, l'enquête fournit finalement un échantillon de 1 939 répondants (pour plus de détails sur cette enquête et les données afférentes, voir notamment Carpentier 2010).

La deuxième base de données correspond à la mise en place de variables contextuelles nécessaires à la confrontation des changements éventuels de la situation géographique avant et après déménagement. Sur les 4 pays considérés, plusieurs indicateurs synthétiques peuvent se révéler discriminants quant aux comportements de déplacement des résidents et des frontaliers luxembourgeois (Schiebel et al. à paraître). Ces indicateurs recouvrent entre autres certaines caractéristiques liées à la structure urbaine (comme les densités de population ou l'offre d'aménités) ou à des mesures d'accessibilité (un comparatif entre les transports en commun et la voiture en heures de pointe). Cette base de données, affectée au niveau des 1 939 répondants de la première base de l'enquête, a été composée à l'échelle communale. Il est ainsi possible d'appliquer ces indicateurs dans différents modèles explicatifs de changements de comportement individuel.

Méthodes et résultats attendus

Les étapes méthodologiques suivent notamment les principes de la time geography (par ex. Hägerstrand, 1981), ainsi que ceux de la random utility theory (RUT, McFadden 1986, Ben- Akiva, Lerman 1985). La time geography prend en compte des variables ressources en fonction du temps et de l'espace pratiqué, tout en faisant ici appel à des techniques géostatistiques. Ceci est notamment valable pour la construction de variables liées aux espaces d'activité, aux prismes spatio-temporels ou encore aux différentiels d'accessibilité. La RUT, quant à elle, se concentre essentiellement sur les alternatives des individus (ici, principalement voiture ou transport en commun), sur les caractéristiques de ces agents (genre, revenus, niveau d'éducation, âge...) ainsi que certaines caractéristiques situationnelles comme la densité (de la commune de résidence ou la commune de travail), etc.

Plus précisément, les changements de comportement du choix modal vont être analysés en utilisant le modèle de Logit mixte (Hensher, Greene 2003, Train 2009) afin de

saisir les effets d'hétérogénéité des préférences des individus et de la corrélation des facteurs non observés au fil du temps sur les changements du choix modal. L'avantage du modèle Logit mixte réside dans sa flexibilité pour l'intégration de l'hétérogénéité des choix modaux tout en évitant les contraintes liées aux hypothèses du modèle Logit multinomial classique pour les données panel, comme par exemple l'indépendance des modalités de choix modal.

Les analyses en cours permettront ainsi de quantifier les différents indicateurs établis lors de la construction de la base de données, tout en mesurant et hiérarchisant leurs impacts sur le changement de mode de transport. Les estimations fournissent alors des renseignements utiles à la compréhension du choix modal dans ce contexte transfrontalier particulier.

Références

Ben-Akiva M. Lerman S. (1985) Discrete Choice Analysis : Theory and Application to Travel Demand, Cambridge, MA and London, UK : The MIT Press.

Carpentier S. (2010, dir.) La mobilité résidentielle transfrontalière entre le Luxembourg et ses régions voisines. Luxembourg : St-Paul.

Carpentier S. Epstein D. Gerber P. (2013) Implications de la mobilité quotidienne dans les stratégies résidentielles transfrontalières, Espace Populations Sociétés 2012-3, 95-115.

De Witte A. Hollevoet J. Dobruszkes F. Hubert M. (2013) Linking modal choice to motility : a comprehensive review, Transportation Research Part A 49, 329-341.

Enaux C. Gerber P. (2014) Beliefs about energy, a factor in daily ecological mobility ?, Journal of Transport Geography 41, December, 154-162.

Gerber P. Carpentier S. (2013) Impacts de la mobilité résidentielle transfrontalière sur les espaces de la vie quotidienne d'individus actifs du Luxembourg. Economie et Statistique n°2012 457-458, INSEE, 77-96.

Hägerstrand T., 1981, Interdépendances dans l'utilisation du temps. *Temps libre*, 3, 53- 68.

Hensher D.A. Greene W.H. (2003) The Mixed Logit model : The state of practice. Transportation, 30(2), 133-176.

McFadden D. (1986) The choice theory approach to marketing research. Marketing Science, 5(4), 275-297.

Schiebel J. Omrani H. Gerber P. (accepted) Border effects on the travel mode choice of resident and cross-border workers in Luxembourg, European Journal of Transport and Infrastructure Research.

Schmitz F. Drevon G. Gerber P. (2012, dir.) La mobilité des frontaliers du Luxembourg : dynamiques et perspectives. *Les Cahiers du CEPS/INSTEAD*, Hors-Série 1, 40 p.

Schwanen T. Lucas, K. (2011) Understanding auto motives. In K. Lucas, E. Blumenberg, R. Weinberger (Eds.) Auto Motives : Understanding Car Use Behaviours, Emerald, 3-38.

Train K. (2009) Discrete Choice Methods with Simulation. 2nd ed. Cambridge University Press.

Atelier 5

Environnement et climat arctique

Intérêt de l'utilisation de la photogrammétrie SfM (Structure from Motion) pour le suivi des processus nivo-glaciaires. Application au bassin du glacier Austre Lovén, Spitsberg.

enne de Bretagne - Rennes 2

Éric Bernard[1], Jean-Michel Friedt[2], Florian Tolle[1], Sophie Schiavone[1], Madeleine Griselin[1]

[1] Laboratoire ThéMA - UMR 6049–CNRS Université de Franche-Comté

[2] Laboratoire FEMTO-ST - UMR 6174–CNRS Université de Franche-Comté

Mots-clefs - photogrammétrie, SfM, dynamiques glaciaires, topographie

Contexte et problématique

L'Arctique est reconnu comme un excellent indicateur des évolutions climatiques contemporaines : sa sensibilité aux moindres sollicitations climatiques en fait une zone d'étude idéale. L'étude des processus et des dynamiques glaciaires revêt, dans ce contexte, un intérêt majeur afin de mieux comprendre les impacts du climat sur la récession glaciaire observée durant cette dernière décade.

Toutefois, l'accès, les conditions climatiques rigoureuses, ainsi que la nécessité de travailler à une échelle spatio-temporelle qui soit la plus fine possible rendent l'observation et les mesures souvent très délicates. Afin d'être comparables, les mesures doivent être effectuées selon un protocole systématique permettant de ne pas surévaluer les processus. Les méthodes de mesures par photogrammétrie complètent les mesures de terrain traditionnelles.

Méthodes et données

Pour obtenir la topographie de surface (Modèle Numérique de Terrain/d'Elévation), l'une des solutions alternatives de mesures consiste en l'utilisation de méthodes photogrammétriques fondées sur le SfM (Structure from Motion). Il s'agit une méthode d'analyse d'une série de photographies (numériques) d'un même objet vu selon divers angles de prises de vues. Un nuage de point tri-dimensionnel est généré à partir du repérage, dans diverses photographies, de points remarquables identiques (après identification des propriétés optiques du dispositif de prise de vue et de la position de l'observateur au moment de l'acquisition des données).

La méthode de travail, qui ne nécessite aucun investissement autre qu'un appareil de prise de vue (nous avons effectué nos tests avec des appareils photographiques grand public, téléphone mobile), permet dans le contexte de la gestion spatiale d'informations de générer par traitement semi-automatiques des modèles numériques d'élévation. Diverses prises de vues selon des orientations différentes d'un même objet permettent de reconstruire la structure tridimensionnelle de l'objet. Il est ainsi possible de produire des MNE/MNT de haute résolution avec des moyens simples.

Plusieurs outils permettant ce type de traitement sont disponibles : nous avons sélectionné un outil libre et en ligne de commande, par souci d'efficacité, qu'est la suite logicielle MICMAC de l'IGN. Cet outil extrêmement puissant est très bien documenté et illustré par de nombreux exemples. La principale difficulté pour sa prise en main ne tient pas dans les séquences de commandes liées aux étapes successives du traitement mais dans le respect de certaines conditions de prises de vues, en particulier de ne pas faire varier la focale de l'objectif au cours des diverses prises de

vues, et d'éviter la présence d'objets ne présentant pas des structures reproductibles (surfaces réfléchissantes, eau).

Résultats et discussion

Les résultats sont fondés sur des MNE/MNT générés à partir de prises de vues dites « opportunistes » et de prises de vues sur un site « test ». Les campagnes de mesures présentées ici concernent plusieurs zones du bassin glaciaire de l'Austre Lovén. Elles ont été doublées par des mesures in situ au LiDAR, permettant d'apporter une comparaison qualitative et quantitative des différentes mesures. Dans le contexte d'observations glaciologiques, les mouvements générés par des processus géomorphologiques (glacier, moraine, versants) sont ainsi clairement identifiables et quantifiables.

Par ailleurs, les résultats ont montré que les données acquises par les systèmes embarqués sont facilement géolocalisables en incluant un récepteur de systèmes de navigation par satellite dans la chaine de mesure. La mise en contexte géographique de ces informations permet une fusion et une analyse des interactions de diverses grandeurs, de même que l'exploitation quantitative de données (calcul de volumes, mouvements de terrain etc.).

Ces méthodes de travail sont par ailleurs facilement accessibles sans investissement matériel, au travers des logiciels libres QGis, GRASS et GDAL, en particulier pour une analyse quantitative des photographies numériques prises en vues obliques. Le traitement d'images en vue d'extraire, d'une multitude de photographies visant un même objet selon des points de vue différents, est proposé au travers des outils MICMAC de l'IGN.

Ce travail démontre que les méthodes d'observations fondées sur le SfM proposent une solution alternative et/ou complémentaire à des méthodes plus classiques, se révélant extrêmement fiable pour suivre les dynamiques d'un bassin glaciaire.

Impact de la variabilité climatique large échelle sur l'hydrologie d'un petit bassin glaciaire : Le cas de l'Austre Lovenbreen (Spitsberg, 79°N)

Olivier Champagne, Benjamin Pohl, Jean-François Buoncristiani, Florian Tolle, Eric Bernard, Daniel Joly

Mots-clefs - Réchauffement climatique, Régimes de temps , hydrologie proglaciaire, Modèle glacio-hydrologique, Spitsberg

Contexte et objectif

L'Arctique est la région du monde qui se réchauffe le plus ces dernières décennies (Serreze et al. 2008). Cette amplification du réchauffement, dont les causes restent discutées, a un fort impact sur le retrait des glaciers du Groenland (Sasgen et al.), de l'archipel canadien (Gardner et al.) ou du Spitsberg (James et al. 2012). La fonte des glaciers arctiques contribue fortement à la montée du niveau des océans et cela devrait se poursuivre au cours du XIème siècle (Rignot et al. 2011). L'évolution récente des écoulements proglaciaires de l'archipel englacé du Spitsberg a donc un fort enjeu dans le contexte de la montée du niveau des océans. Les relevés hydrologiques sont cependant rares au Spitsberg et ne concernent que quelques années comme sur les bassins du Finsterwalderbreen (Hodgkins et al. 2009), du Waldemarbreen (Sobota 2014), du Rieperbreen (Rutter et al. 2011) ou de l'Austre Brøggerbreen (Blaen et al. 2014). Ces mesures ne sont pas en nombre suffisant pour permettre d'étudier l'évolution des débits contemporaine au réchauffement climatique global. La seule étude sur une plus longue période, portant sur les relevés hydrologiques de la rivière Bayelva, dans le bassin glaciaire de l'Austre Brøggerbreen, ne montre pas de tendance significative dans les écoulements entre 1989 et 2010 (Nowak & Hodson 2013).

Le bassin de l'Austre Lovénbreen (Spitsberg, 79°N) partiellement englacé, est caractérisé par des eaux de fontes canalisées en deux cours d'eau. Son glacier, situé à 5km de la base Scientifique de Ny Ålesund, est surveillé depuis de nombreuses années et surtout depuis le programme Hydro sensor flow (HSF) lancé en 2007 et qui a mis en place notamment des mesures de débits proglaciaires entre 2008 et 2010 et de températures en différents points du glacier (Bernard 2011). L'objectif de cette étude est de mettre en relation l'évolution du débit proglaciaire de ce bassin avec les changements climatiques récents observés en Arctique. La première étape consiste en la modélisation du débit depuis 34 ans à partir d'un modèle glacio-hydrologique. Puis il s'agit d'identifier des régimes de temps marqueurs de situations atmosphériques récurrentes sur le domaine des hautes latitudes de l'Atlantique Nord. Enfin sera discuté le rôle des modifications de circulation atmosphériques sur l'évolution des écoulements.

Données et méthodes

Modèle glacio-hydrologique GSM Socont

Les mesures de débits effectués durant 3 saison de fonte (2008-2010) entre juin à septembre ont permis de modéliser les écoulements grâce au modèle glacio-hydrologique GSM Socont (Schaeffli et al. 2005). L'avantage du modèle est le peu de données nécessaire en entrée : Les températures, les précipitations et l'évapotranspiration ainsi que des données d'altitude et de pourcentage de glaciation du bassin. Les températures utilisées sont celles de surface du bassin que l'on a reconstruit depuis 1974 par une simple régression linéaire entre les relevés de la station de Ny Alesund et les relevés sur le bassin de 2008 à 2012. Les

précipitations ont aussi été mesurés à Ny Alesund mais doivent être reconstruites car sont sous-estimées notamment lors de précipitations neigeuses (Kilingveit 2004). Enfin l'évapotranspiration a été estimée à partir des températures par une formule d'évaporation dérivée de celle de Penman (Linacre 1977).

Le modèle calcule un débit journalier sur 20 bandes d'élévation, 10 sur le glacier et 10 pour la partie non englacée. Il sépare d'abord les précipitations pluvieuses de celles neigeuses. La neige s'accumule pour une température inférieure à 0° et fond au-dessus. La glace fond dès que la neige a complètement disparue. Neige et glace fondent en fonction d'un facteur de degré jour à calibrer. Les précipitations pluvieuses et l'eau de fonte sont ensuite transformées en écoulement selon d'autres coefficients à calibrer. La calibration a été faite sur la période dont on dispose de données de débits observés entre 2008 et 2010 et consiste à déterminer les coefficients permettant de rapprocher la modélisation au plus près de l'observation. Le retrait du glacier a été pris en compte dans la modélisation en déterminant l'extension du glacier chaque année grâce aux mesures numériques de terrain (MNT) de 1962, 1995 et 2009 (Friedt et al. 2012).

Les régimes de temps de l'Atlantique nord

Dans les zones extratropicales, l'atmosphère est soumise à des récurrences dans la position des centres d'actions synoptiques. Au-dessus de l'Atlantique Nord, différentes situations atmosphériques reviennent régulièrement et apparaissent comme étant quasi stationnaires en durant plusieurs jours. Ces situations synoptiques récurrentes sont nommées régimes de temps (Vautard 1990). Des régimes de temps ont été déterminés dans ce travail sur le domaine des hautes latitudes de l'Atlantique Nord pour la période 1979-2012. Il sont calculés à partir des cartes journalières d'anomalies de hauteurs de géopotentiel à 500hPa qui ont une résolution de 2,5x2,5° et qui sont issues de réanalyses NCEP-DOE AMIP II (NCEP2) (Kanamitsu 2002). Les régimes ont été obtenus par une méthode de partitionnement de type k-means (Michelangeli 1995). Le but de l'algorithme est de déterminer un nombre de carte (k) représentatif des configurations atmosphériques récurrentes. Ces cartes sont déterminées en minimisant la variance intraclasse avec un processus itératif. Le choix d'un nombre robuste de classe (k) est determiné par un test de bruit rouge basé sur une comparaison entre l'algorithme calculé avec les cartes d'atmosphère observés et des cartes d'atmosphère déterminées au hasard.

Résultats

Augmentation des débits proglaciaires entre 1979 et 2012

La modélisation montre une augmentation des écoulements proglaciaires entre 1979 et 2012 avec une rupture observée en 1998. Cette augmentation du débit est plus importante en première partie de saison de fonte, en juin et juillet. Cette hausse des écoulements est du à une fonte plus importante de la neige sur l'ensemble du bassin versant du à un réchauffement des températures surtout observé en première partie de saison. En août et septembre l'augmentation du débit est moindre pour plusieurs raisons. D'abord l'augmentation des températures n'est pas aussi forte qu'en première partie de saison. Ensuite la neige qui fond plus tôt dans la saison ne participe plus aux écoulements en seconde partie de saison, ce qui limite la hausse du débit venant de la fonte du glacier. Enfin la modulation des débits par les températures n'est pas un aussi fort qu'en première partie de saison, les précipitations ayant un rôle de plus en plus important en avançant dans la saison.

Les régimes de temps des hautes latitudes de l'Atlantique nord

Le test de bruit rouge a permis de déterminer 6 régimes de temps. Le régime, nommé dépression de Norvège (DN) est le plus fréquent. Il correspond à une situation dépressionnaire centrée sur la mer de Norvège et des conditions plus anticycloniques sur la Sibérie. Le régime anticyclone de Norvège (AN) est au contraire caractérisé par des anomalies positives de hauteurs de géopotentiel sur la mer de Norvège et une situation dépressionnaire en Russie. Deux autres régimes sont de signes opposés, l'Anticyclone de Groenland (AG) et le régime Zonal (ZO). Un puissant anticyclone sur le Groenland et une situation dépressionnaire sur l'Europe du Nord caractérisent le premier. Le régime ZO est au contraire marqué par une vaste dépression s'étendant de l'Arctique au sud du Groenland alors que des conditions anticycloniques prévalent sur l'Europe du Nord. Ce sont des régimes moins fréquents. Les deux derniers régimes Anticyclone Russe (AR) et Dépression de Barents (DB) semblent aussi s'opposer. AR est caractérisé par des hautes pressions sur la côte russe de la mer de Barents alors que DB est dépressionnaire dans le même secteur.

Les débits du bassin de l'Austre Lovén portés par la circulation atmosphérique

L'occurrence des 6 régimes a évolué entre 1979 et 2012. Les régimes caractérisés par une dépression sur la mer de Norvège (DN) ou sur le Groenland (Zo) sont de moins en moins fréquents au contraire des régimes de hautes pressions sur les mêmes régions (AN et AG). Les régimes qui sont plus fréquents ces dernières années sont associés à des débits simulés plus importants par rapport aux autres régimes en première partie de saison. Ces régimes sont en effet associés à des températures plus élevés grâce à un vent de sud-ouest dans le cas de l'anticyclone en mer de Norvège ou à la faveur de conditions plus ensoleillées pour l'anticyclone du Groenland. L'augmentation des écoulements et le décalage du cycle saisonnier vers la première partie de saison peut donc être associé à l'augmentation de la fréquence de ces régimes anticycloniques plus chauds. Ces résultats corroborent des travaux sur le Groenland montrant que les conditions plus anticycloniques de ces dernières années ont contribué à une accélération de la fonte des glaciers (Fettweis et al. 2011, Hanna et al. 2013).

Approche multivariée des facteurs influençant le bilan de masse d'un glacier arctique

Sophie Schiavone[1], Florian Tolle[1], Éric Bernard[1], Jean-Michel Friedt[2] Madeleine Griselin[1], Daniel Joly[1]

[1] Laboratoire ThéMA - UMR 6049–CNRS, Université de Franche-Comté [2] Laboratoire FEMTO-ST - UMR 6174–CNRS, Université de Franche-Comté

Mots-clefs - statistique multivariée, bilan de masse, glacier arctique

Contexte et problématique

L'Arctique est la zone géographique où la modification du climat au cours du XXI^{ieme} siècle sera la plus forte de la planète. La totalité de la cryosphère (banquise, glaciers, pergélisol, etc.) subira de profondes altérations qui se traduiront spatialement par des évolutions majeures. Les glaciers sont de bons indicateurs de ces changements, aussi bien à une échelle locale que globale, car leur dynamique est très sensible au climat. Cette étude porte sur un glacier du Spitsberg où il a été observé que des conditions climatiques et nivologiques contrastées d'une année sur l'autre avaient des conséquences multiples, et parfois inattendues, sur les bilans de masse. En 2014 par exemple, les mesures laissaient présager un bilan de masse négatif. Or l'analyse de l'ensemble des données disponibles a permis de conclure à un bilan de masse du glacier positif pour la première fois depuis 7 ans. Des travaux antérieurs ont montré que les bilans de masse sont dépendants de 3 facteurs principaux : les températures estivales, les précipitations liquides en toute saison et l'accumulation hivernale de neige. L'objectif de ce travail est (i) d'identifier et de qualifier les combinaisons de facteurs qui influencent le bilan de masse d'un glacier arctique. Il s'agira notamment (ii) de comprendre la chronologie saisonnière et de hiérarchiser les paramètres qui ont la plus grande influence sur les dynamiques glaciaires.

Données observées

Notre objet d'étude est le glacier arctique Loven Est situé sur la péninsule de Brøgger au Spitsberg (Svalbard, 79°N). C'est un petit glacier d'une superficie de 4.5km2 qui présente une configuration géographique plutôt simple : pente douce et régulière, absence de séracs, avancée lente (3-4m/an). Le Loven Est est un glacier observatoire équipé de nombreux appareils de mesure. Les données mobilisées dans ce travail sont issues d'observations faites entre 2007 et 2014 : le bilan de masse annuel, les précipitations, les températures et l'accumulation de neige.

Le bilan de masse annuel est mesuré à la fin de l'été (30 septembre). Ces mesures sont faites à partir de 36 balises à glace réparties de manière homogène sur le glacier, couvrant aussi bien la zone d'ablation en aval, que la zone d'accumulation en amont.

Les températures de l'air à la surface du glacier sont issues de mesures faites depuis 2007 en continu (à raison de 2 mesures horaires) sur le Loven Est. Le glacier est parsemé de 20 capteurs de température répartis de la manière la plus homogène possible et la plus représentative de la topographie et de la morphologie du glacier. Pour des raisons techniques, les données de précipitations n'ont pas pu être mesurées in situ c'est pourquoi nous nous re ?férons à celles de la station météorologique la plus proche (Ny Ålesund, à 6 km du site, à 8m d'altitude). Elles servent de base à l'évaluation des précipitations sur le glacier. Enfin, l'accumulation de neige est mesurée chaque an-

née. Le manteau neigeux en place sur le glacier constitue le bilan de masse hivernal. Il est mesuré par carottage de la couche de neige à la fin de l'hiver (fin avril/début mai), avant que ne commence la fonte. Ces carottages sont réalisés aux mêmes emplacements que les balises à glace. La couche de neige est caractérisée selon son épaisseur et sa densité.

Méthode

Les paramètres initiaux (température, précipitations, manteau neigeux) font l'objet de traitements visant à identifier leur influence sur le glacier. Dans le cas de la température par exemple, une approche par degrés-jours permet de considérer uniquement les températures positives qui auront évidemment la plus grande influence sur le glacier. Les mesures sont effectuées en continu dans le temps mais ponctuellement dans l'espace et en des sites différents selon les variables. Une démarche de généralisation spatiale par interpolation doit donc être appliquée afin de pouvoir rendre compte de processus en tout point du glacier. En effet, les facteurs conditionnant la zone d'accumulation, zone où se forme la nouvelle glace, ne seront pas nécessairement les mêmes que ceux qui ont la plus grande influence sur la fonte en zone d'ablation. Une fois cette étape réalisée, chaque point de la surface du glacier (dépendant de la résolution choisie) constituera un individu intégré dans l'analyse statistique.

Les données observées sont mises en forme pour constituer les éléments de l'analyse. Ainsi, les températures brutes sont traitées en vue d'obtenir une série d'indicateurs secondaires révélant le contexte thermique selon différents aspects. Des températures estivales, ou positives quelle que soit la saison, dépend le potentiel de fonte du couvert neigeux dans un premier temps puis de la glace dans un second temps. Les précipitations qui influencent le plus le bilan de masse sont les précipitations liquides, en hiver comme en été. Un gradient altitudinal est appliqué aux données de la station de Ny Ålesund pour ajuster les données au contexte local rencontré en tout point du glacier. Leurs conséquences peuvent aller de la réduction irréversible de l'épaisseur du manteau neigeux jusqu'au lessivage de la surface du glacier. L'époque, la fréquence, et la durée des épisodes pluvieux peut avoir une influence majeure sur le bilan de masse annuel du glacier.

Toutes les données dérivées servent de base à une approche multivariée de ces déterminants. Les résultats permettent de mettre en évidence et de cartographier, à échelle spatiale très fine, les processus jouant un rôle dans les évolutions glaciaires actuellement observées. Pour aller au-delà d'analyses par corrélation, c'est une typologie des facteurs et de leur impact cumulé qui sera réalisée.

Atelier 6

Mobilité, production, consommation

Choix modal et contrôle de l'hétérogénéité par classes latentes : le cas des employés des Institutions Européennes au Luxembourg [1]

Tai-Yu Ma[1], Philippe Gerber[1], Samuel Carpentier[2], Sylvain Klein[1]

[1] LISER - Luxembourg Institute of Socio-Economic Research [2] Aix-Marseille Université, CNRS, ESPACE UMR 7300

sylvain.klein@ceps.lu

Contexte et Objectifs

La mobilité quotidienne pose un défi important en ce qui concerne la durabilité de nos modes de vie. En effet, une prise de conscience s'est opérée sur l'importance d'une mobilité favorisant un report modal plus important (Banister 2008) de la voiture vers, d'un côté, les transports en commun (TC) et, de l'autre, les mobilités actives (marche, vélo, etc.). À côté des leviers offerts par les interactions entre développement spatial urbain et transports (Newman and Kenworthy 1996) ou encore par les améliorations technologiques des véhicules, il est nécessaire de bien comprendre les déterminants socio-économiques, spatiaux et psychosociaux qui président aux comportements de mobilité afin d'identifier les incitatifs les plus efficaces pour promouvoir les modes alternatifs à l'automobile (Gärling et al. 1998, Enaux, Gerber 2014).

Les travaux présentés ici contribuent à l'analyse empirique et à la modélisation du comportement de choix modal sur les employées des Institutions Européennes au Luxembourg grâce à une approche économétrique basée sur le modèle de choix discret en incluant l'hétérogénéité de préférence latente et des facteurs attitudinaux. Dans un contexte de congestion quotidienne importante au Luxembourg, cette population est hautement qualifiée, moins contrainte financièrement et dispose de capacités de mobilité relativement grande. Cela devrait laisser une plus grande place aux attitudes dans la définition du comportement de choix modal.

Données

Les données utilisées sont issues de l'enquête réalisée en octobre-novembre 2012, dans le cadre du projet ACROSS (Assessing the Socio-Cultural Effects on Mobility Behaviours in Cross-Border Areas) du programme CORE du FNR (Fonds National de la Recherche au Luxembourg), auprès des fonctionnaires et agents de la Banque Européenne d'Investissement (BEI) et de la Cour de Justice de l'Union Européenne. Le lien vers le questionnaire internet a été relayé auprès des personnels des institutions via les services de ressources humaines afin de favoriser un meilleur taux de réponse. L'échantillon comporte 131 répondants pour la BEI (6,2 % de l'ensemble des employés) et 239 répondants pour la Cour de Justice (11,2% de l'ensemble des employés). Le questionnaire comporte des questions sur les modules suivants : les pratiques de mobilité, les attitudes vis-à-vis des modes de transports, les caractéristiques sociodémographiques ainsi que la perception de la ville du lieu de travail.

Méthodes et résultats

Le comportement de choix modal est modélisé grâce à la technique de modèle de choix discret avec classes latentes, pour lequel les

1. Communication tirée d'un article à paraître dans Transportmetrica A : Transport Science

comparaisons empiriques montrent généralement de meilleures performances par rapport aux modèles logit mixtes (Greene and Hensher, 2003 ; Shen, 2009). Ce type de modèle a en effet l'avantage de ne pas nécessiter d'hypothèse sur les distributions des valeurs des paramètres entre individus. De plus, il permet d'identifier de manière endogène différents groupes homogènes de préférences.

La définition et l'inclusion des variables attitudinales en faveur de la voiture, du bus et du train ont été calculées grâce à la technique multivariée de composantes principales ; cette technique synthétique donne de meilleurs résultats que les autres tests (indicateurs isolés...) et a donc été retenue pour être intégrée dans le modèle de classes latentes. La validité du modèle a ensuite été comparée avec un modèle logit multinomial conditionnel.

Les résultats du modèle à classes latentes retenu font apparaître deux segments de préférence (une classe préférant l'utilisation de voiture, l'autre classe les transports en commun) du comportement de choix modal. Plus précisément, l'analyse sur le profil de chaque classe montre que le lieu de résidence au Luxembourg (comparativement aux lieux frontaliers par exemple) est un déterminant significatif pour distinguer la classe des échantillons. À partir de là, les résultats nous permettent d'identifier les déterminants spécifiques à chaque classe pour expliquer le comportement du choix modal des groupes homogènes. L'étude empirique confirme ainsi que le temps de trajet ainsi que la disponibilité d'un parking à destination sont les deux déterminants majeurs pour les résidents au Luxembourg qui utilisent la voiture.

Par ailleurs, l'analyse de sensibilité indique que la réduction du temps de transport en Transports en Commun (TC) pourrait être un moyen efficace pour inciter les utilisateurs de la voiture à se reporter sur les TC. Les résultats donnent également des éclairages permettant d'évaluer les effets des déterminants sur le comportement de choix modal pour les différentes classes de préférence.

Références

Banister D., 2008. The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2) : 73–80.

Enaux C. Gerber P. 2014. Beliefs about energy, a factor in daily ecological mobility ? *Journal of Transport Geography*, 2014, vol. 41, pp. 154-162.

Greene, W.H. and Hensher, D.A., 2003. A latent class model for discrete choice analysis : contrasts with mixed Logit. *Transportation Research Part B*, 37, 681–698.

Newman P. and Kenworthy J. 1996. The land use-transport connection. An Overview. *Land Use Policy*, 13(1) : 1-22.

Shen, J., 2009. Latent class model or mixed logit model ? A comparison by transport mode choice data. *Applied Economics*, 41 (22), 2915–2924.

Mobilité et accessibilité de la population urbaine aux grands centres commerciaux d'Abidjan en Côte d'Ivoire : cas des hypermarchés et supermarchés de la société PROSUMA (Société Ivoirienne de Promotion des Supermarchés) à Abidjan

Kouadio Joseph KRA, Lath Franck Eric KOFFI , Yéboué Stéphane Koissy KOFFI

Université Peleforo Gon Coulibaly (Korhogo, Côte d'Ivoire)

Mots-clefs - Abidjan, localisation, proximité, mobilité, transport.

Contexte et objectif

L'expérience ivoirienne en matière de distribution à travers les grands centres commerciaux est le fait d'entreprises commerciales pionnières comme la Compagnie de Distribution de Côte d'Ivoire (CDCI) et la Société ivoirienne de promotion des supermarchés (PROSUMA). L'implantation progressive des structures commerciales privées à Abidjan et à l'intérieur du pays est devenue un phénomène géographique important mais moins étudié par les chercheurs le plus souvent attachés aux travaux des structures publiques et parapubliques.

En effet, leader en Côte d'Ivoire et en Afrique de l'ouest francophone de la grande distribution, la société ivoirienne de promotion des supermarchés (PROSUMA) repose sur un important réseau de centres commerciaux dont la localisation répond à des logiques commerciales et géographiques. Ce sont surtout le pouvoir d'achat de la population et les grandes artères de circulation qui orientent la mobilité des citadins et la dynamique spatiale de la ville d'Abidjan. L'occupation stratégique de l'espace urbain par le réseau des centres commerciaux PROSUMA obéit également à une logique de concurrence et d'augmentation des parts de marchés. Les problèmes de transport et donc de mobilité des populations ont imposé à la société la création de centres commerciaux de proximité pour faciliter l'accès aux citadins se déplaçant vers le centre et ceux vivant à la périphérie de la ville d'Abidjan. Traduction et expression spatiales du recul du modèle africain de consommation, ces centres commerciaux localisés à proximité des grands carrefours et boulevards sont très fréquentés par l'élite ivoirienne, les expatriés occidentaux et les hommes d'affaires sino-asiatiques de plus en plus nombreux. La forte concentration de la population urbaine et du parc automobile national à Abidjan, capitale économique, l'émiettement du site urbain par la lagune ébrié, l'indiscipline routière des automobilistes, et surtout l'insuffisance des parkings, des ponts lagunaires et des routes rendent difficiles la mobilité urbaine et l'accessibilité des centres commerciaux aux heures de pointe. La création des petits centres commerciaux de proximité est une réponse aux problèmes de transport des citadins pour avoir accès aux grands centres. Cette atomisation spatiale des petits centres permet de réduire les distances géographique et économique des citadins tout en augmentant les charges de l'entreprise commerciale. Aussi, le regroupement de l'essentiel de la population euro-occidentale à Abidjan Sud pour cause d'insécurité relative aux crises passées est un frein de l'intégration sociale et urbaine de ces derniers, même si une frange de cette population est localisée à Abidjan Nord notamment à Cocody, le principal quartier résidentiel de la capitale économique.

L'exemple choisi est la Société ivoirienne de promotion des supermarchés (PROSUMA) à travers ses hypermarchés et supermarchés de la ville d'Abidjan. Alors, l'objectif de cette étude est de comprendre les logiques

qui sous-tendent la création de ces centres commerciaux, de savoir si ces centres commerciaux sont intégrés au schéma directeur des infrastructures de transport de la ville d'Abidjan et enfin de voir si ces centres sont destinés aux populations riches ou pauvres de la ville ou sont accessibles aux enfants, aux handicapés physiques et aux personnes âgées ou retraitées. Ces soucis scientifiques vont nous éclairer sur la capacité d'intégration socio-urbaine de ces centres qui sont des lieux de rencontre et d'échanges des citadins. Comment les citadins ont-ils accès à ces grands centres commerciaux ? Comment se présente le profil démographique et socio-professionnel des citadins qui fréquentent ces centres ? Quels sont les effets socio-géographiques créés par l'attrait de ces centres commerciaux ? Voici autant de questions qui méritent des réponses. Pour répondre à ces questions, nous avons structuré l'article en trois grands points d'abord une mobilité urbaine à l'épreuve du sous-développement des infrastructures et moyens de transport, ensuite la répartition géographique et l'accessibilité des principaux centres commerciaux PROSUMA et enfin les conséquences sociales et géographiques de l'attractivité des centres PROSUMA.

Données et méthodes

Pour collecter les informations indispensables à cette étude, nous avons choisi, selon des critères géographiques, deux (2) grands centres commerciaux de la société ivoirienne de promotion des supermarchés (PROSUMA) au Sud et au Nord de la ville d'Abidjan : CAP NORD dans la commune huppée de Cocody précisément à la Riviera II et CAP SUD dans la commune de Marcory. Nous avons ajouté à ces deux structures commerciales, l'hypermarché SOCOCE des Deux-Plateaux dans la commune de Cocody. Dans chacune de ces structures, un questionnaire très précis et court a été adressé de façon aléatoire aux clients ivoiriens, africains et occidentaux pour comprendre les déterminants socio-économiques et les réflexes culturels qui sous-tendent leur mobilité.

La constitution de notre échantillon

Il n'y a pas de base de sondage proprement dite pour déterminer le nombre total des clients pour ce genre d'enquête, au sens statistique du terme. C'est l'approche utilisée dans les enquêtes de surveillance de comportements (ESC) auprès des clients ou des personnels de ces grandes distributions. On identifie les check-points ou lieux où ceux-ci (clients) sont sensés s'arrêter, on détermine la taille de l'échantillon, et les enquêteurs sont répartis à ces endroits, enquêtant au fur à mesure jusqu'à atteindre le nombre souhaité. Le choix de la taille d'échantillon obéit à la logique de degré de précision afin de réduire les biais statistiques en obtenant un taux de confiance et une marge d'erreur suffisants. Pour ce faire, nous avons effectué deux passages dans les centres commerciaux étudiés au cours de nos enquêtes. Le premier passage a constitué notre pré-enquête. Au cours de cet exercice, nous avons identifié deux check-points par centre commercial, constitués d'une part des parkings et d'autre part, les entrée et sortie desdits centres, soit six au total. Selon l'ensemble des responsables de ces centres commerciaux, il ressort de cette première phase qu'environ 25% à 30% (soit une moyenne de 27,5%) des personnes qui se déplacent vers ces centres commerciaux viennent pour faire des achats. Avec cette proportion, nous avons identifié notre taille d'échantillon requise en appliquant la formule statistique permettant de constituer une taille suffisante. Avec :

- $\mathbf{n = t^2.p\ (1\text{-}p)/m^2}$
- **n** : taille d'échantillon requise
- **t** : niveau de confiance à 95% (valeur type de 1,96)
- **p** : prévalence estimative des clients (27,5%, notre pré-enquête)
- **m** : marge d'erreur à 5% (valeur type de 0,05)

L'application numérique donne : $\mathbf{n} = 1.96^2.0{,}275(1\text{-}0.275)/0{,}05^2$ **n**= environ 300

Pour donner toutes les chances à tout individu d'être interrogé et pour des questions de proportionnalité, nous avons décidé de répartir de façon égale la taille de notre échantillon, c'est-à-dire 100 personnes enquêtées par centre commercial.

Nous avons recueilli aussi les opinions des directeurs des centres commerciaux quant à la logique de la localisation géographique et compétitive. Nous avons observé les grandes artères et carrefours de la ville, les transports en commun et la superficie des parkings des grands centres commerciaux PROSUMA choisis. Le schéma directeur de développement des infrastructures de transport de la ville d'Abidjan disponible au Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement (BNETD) a été analysé pour comprendre la logique des implantations géographiques des centres commerciaux. Les cartes routières, des infrastructures et zones de production de la ville ont permis de comprendre la densité et l'orientation des mobilités urbaines journalières.

Principaux résultats

Les analyses origine-destination des citadins et les enquêtes démographiques montrent que la clientèle des centres commerciaux d'Abidjan Sud est dominée par les occidentaux tandis qu'à Abidjan Nord, on retrouve de plus en plus des clients africains. Et ce, d'autant plus que depuis la crise militaro-politique de 2002, l'insécurité et le souci d'évacuation rapide en cas d'instabilité ont renforcé l'installation des occidentaux à Abidjan Sud où sont localisées des infrastructures militaires et de transport stratégiques notamment le grand boulevard Valery Giscard d'Estaing, l'aéroport international, le port, le camp commando de Koumassi et le camp militaire de la 43e Brigade d'Infanterie Marine appartenant à la France (BIMA). Cette concentration de l'élite occidentale abidjanaise au Sud de la ville provoque d'innombrables embouteillages dans le sens Nord-Sud de la ville rendant ainsi difficile la mobilité et l'accessibilité aux grands centres commerciaux. Mais, les populations urbaines ont pris goût et fréquentent de plus en plus ces centres commerciaux avec leurs services d'accompagnement (restaurants, banques, assurances, cinéma, jeux, services de sécurité, etc.). L'implantation des centres commerciaux vers les carrefours majeurs de la ville entraine et renforce des centralités spatiales qui créé des difficultés d'accessibilité pour les citadins. L'émergence d'une nouvelle société urbaine de consommation à l'européenne loin des habitudes africaines traditionnelles à travers les marchés informels créé une différenciation spatiale et sociale à travers la ville. L'extension spatiale de la ville avec les sociétés immobilières privées dans le contexte d'une croissance économique de près de 9,6 % en 2013, l'amélioration du pouvoir d'achat des citadins et l'augmentation de la population urbaine offrent des possibilités de développement des grands centres commerciaux reflets du dynamisme de la grande distribution urbaine.

Ce nouveau phénomène spatial des hypermarchés et supermarchés a une emprise sur les habitudes des citadins. Le comportement spatial de ces grands centres commerciaux, les services offerts, la tranquillité et la convivialité des lieux aux citadins développent une certaine forme de sociabilité urbaine qui renforce leur attractivité. La localisation géographique de ces centres exprime dans l'espace l'exclusion d'une couche de la population urbaine si l'environnement ne tient pas compte de l'ensemble des citadins.

Du circuit long au circuit court. Analyse de la distribution de l'ananas et du manioc à Bonoua

Raphaël Kouadio OURA[1], **Atsé Alexis Bernard N'GUESSAN**[2]

[1] Chargé de recherche
Centre de Recherche pour le Développement (CRD)
Université Alassane Ouattara de Bouaké

[2] Enseignant-Chercheur
Institut de Géographie Tropicale
Université Félix Houphouët Boigny Abidjan Cocody

ouranien@yahoo.fr et atsalexis1@yahoo.fr

Mots-clefs - Bonoua ; crise de l'ananas ; normes de qualité ; circuit long ; circuit court

La plupart des pays africains ont obtenu leur indépendance dans la décennie 1960 sans toutefois rompre leur rapport avec l'occident. Avec ce statut de nouveaux Etats indépendants, on s'attendait à des rapports plus équitables avec celui-ci. Mais, au regard de certains discours politiques, la question de l'indépendance de ces Etats revient constamment dans les débats ; elle est abordée sous différents angles. Géographes ruraux, notre priorité pour y participer est de nous intéresser au domaine agricole, la base du développement de la plupart de ces pays notamment la Côte d'Ivoire.

En fournissant 75% de l'ananas ivoirien, la sous-préfecture de Bonoua s'est identifiée comme la principale zone nationale de production du fruit entre 1980 et 2000. Mais, sa vente se fait dans un environnement difficile qui a conduit à sa troisième crise (Oura, 2012). Les paysans majoritairement analphabètes, peu informés et disposant de peu de moyens n'ont pu fournir des produits compétitifs sur ces marchés. Comment peuvent-ils tenir la concurrence avec la grande firme américaine Del Monte ? Leur échec sur le marché international va coïncider avec un environnement local rendu favorable par l'augmentation des besoins alimentaires des citadins. Les paysans accroissent leur production de manioc. Située à une cinquantaine de kilomètres, Bonoua devient la principale région d'approvisionnement d'Abidjan. Avec plus de 3 millions d'habitants, les besoins alimentaires de la métropole se sont accrus. La reconversion est vite réussie au point où la sous-préfecture fournit à elle seule, 46% du manioc frais vendu sur Abidjan. L'essor du manioc a permis aux allogènes Burkinabé ayant l'ananas comme la seule culture de rente, de se repositionner sur le marché de l'agriculture marchande. Cette reconversion présente donc des enjeux d'ordre financier et foncier (Okou, 2009) et permet l'intégration progressive de ce produit local dans la consommation domestique.

Le manioc est devenu un vivrier marchand et bénéficie de meilleures conditions de vente comparativement à l'ananas dont le contrôle échappe aux producteurs.
Quelles sont les contraintes liées à la distribution de l'ananas ivoirien à travers le circuit long ?
Quels sont les atouts comparatifs du circuit de vente du manioc à travers l'essor de la demande urbaine en produits vivriers locaux ?
Quel avenir du circuit court face à la prépondérance du circuit long de distribution des produits locaux en partant des exemples du manioc et de l'ananas à Bo-

noua ?

Les réponses à ces questions permettront de mieux analyser ces deux circuits afin d'en dégager les forces et les faiblesses de chacun dans la distribution des produits ivoiriens. Elles sont donc susceptibles d'aider également les paysans dans le choix des cultures à pratiquer.

Cadre théorique et méthodologiquet

L'étude s'appuie sur une enquête menée auprès de 120 paysans de Bonoua et 20 responsables sur les marchés de gros d'Abidjan. Dans chaque village d'enquête que sont Samo, Tchètchimbé et Ono-Salci, le questionnaire a été adressé à 40 chefs d'exploitation de manioc et/ou de l'ananas. Conformément à des notions clefs que sont la distance, le prix et le coût de transport qui doivent être constamment abordées, nous avons voulu construire cette étude à partir de modèles de localisation activités agricoles ou d'interaction. En effet, « Depuis longtemps, la théorie de la localisation des productions agricoles et l'analyse des spéculations agricoles font partie intégrante du domaine de la gestion des entreprises agricoles », (Théodor Dams, 1968).

Ces deux cultures se développent sur un espace commun de Bonoua, aux alentours de la ville. Depuis que l'ananas est entré en crise au début des années 2000, c'est le manioc qui s'est substitué à lui, par l'effet d'une reconversion réussie par les paysans. En tant que deux produits périssables et au regard de la disposition des autres produits agricoles de la région, l'analyse de la culture de l'ananas ainsi que du manioc pendant ces dernières années, pourrait se faire avec l'une des théories de la localisation habituellement utilisée en géographie : la théorie de Von Thünen.

En prenant en compte la composante distance, cette théorie se présente comme l'un des modèles les plus aboutis de la rente de localisation. C'est un modèle qui aide dans la compréhension des choix agricoles à partir de la distance au marché. Cela répond généralement à la question que se poserait un agriculteur : quelle est la meilleure activité à implanter à un lieu donné ?

Le modèle de Von Thünen est traduit par un schéma classique représentant dans un milieu homogène, un paysage global fait d'anneaux concentriques centrés sur la ville et occupés chacun par une même culture, dans un ordre décroissant à partir de la ville. Cette distribution accorde une place prépondérante aux cultures les plus périssables (qui ne peuvent pas beaucoup supporter le transport) aux alentours de la ville afin de limiter les trajets à grande distance qui abîment le produit frais quand les moins périssables sont disposées à une distance plus grande. Dans une telle approche, le modèle de Von Thünen dévoile le souci que doivent avoir les producteurs pour une meilleure accessibilité des exploitations au marché pour une minimisation du coût de transport. Belhedi (2010) fait remarquer en effet que « La distance en général et le coût de transport en particulier sont devenus une donne centrale de la question de la localisation et de l'interaction ». Ce qui revient à un jeu judicieux sur les paramètres de la distance et du coût de transport qui aboutisse à une localisation optimale et qui puisse permettre à l'agriculteur de pouvoir procurer un avantage ou un profit. Ces deux paramètres constituent donc un facteur capital dans l'organisation de l'espace. La localisation des activités économiques répond par ailleurs à un souci de leur rapprochement des usines de transformation (modèle de localisation industrielle d'Alfred Weber). Ce type de localisation minimise le coût de transport ou de transfert, il s'inscrit selon Weber, dans un triangle (Matière première-Marché-Energie) dont le centre de gravité constitue le positionnement optimal de l'usine.

Dans le cadre de Bonoua, des usines de transformation de l'ananas ont été installées dans l'espace de culture de l'ananas avant de disparaître à la suite. L'ananas de conserve a fait ainsi place à l'ananas-export. Quel que soit le type d'ananas produit en Côte d'Ivoire, la consommation n'étant pas locale, le marché se trouve ainsi

à une distance très éloignée de l'espace de production. Mais, à quoi sert la production de produits périssables à la périphérie urbaine s'ils doivent être à la suite transportés à des milliers de kilomètres, très loin de l'espace de production ? La production de l'ananas ivoirien s'inscrit dans ce paradoxe et n'échappe pour ainsi dire à d'énormes difficultés dont fait l'objet de nombreux produits périssables, dans leur exportation. Cette forme de distribution qui n'obéit qu'en partie aux théories de localisation évoquées ici pour expliquer le fonctionnement de ces deux circuits, mérite d'être profondément analysée.

Résultats et discussion

Un circuit de commercialisation long et exigeant à divers niveaux

En plus de la longue distance que les produits doivent parcourir depuis la production à Bonoua jusqu'aux consommateurs européens, le circuit de vente de l'ananas fait intervenir assez d'intermédiaires. Si ce circuit a été privilégié par les producteurs, il n'en demeure pas moins que le marché européen est resté très peu maîtrisé par ces derniers.

Les normes de production sont difficilement respectées par les paysans. L'emploi des intrants doit répondre aux normes européennes en ce qui concerne les Limites Maximales de Résidus (LMR). Les paysans disposent généralement de très peu de moyens pour se procurer des herbicides, de l'engrais, de la fongicide, de l'éthrel, etc. nécessaires à de meilleures conditions de production pour le marché européen. Selon un technicien agricole, le non-respect des recommandations faites par les techniciens a été l'une des principales causes de la chute de la filière ananas à Bonoua. *« Sur 100 paysans, c'est peut-être 35 qui pouvaient respecter la quantité d'intrants que nous leur recommandions. En outre, le calendrier cultural était très peu suivi. A un moment donné de la pratique de l'ananas, nombre de paysans se disent qu'ils en ont la maîtrise ; ils refusent nos conseils et procèdent par des mélanges de produits, selon leurs moyens. C'est regrettable ! »*, a-t-il dénoncé. Cette attitude qui a forcément un impact négatif sur la qualité de fruits présentés s'explique surtout par le faible niveau d'instruction des producteurs ; ils sont à plus de 60% analphabètes. Les paysans sont alors mal formés et mal informés sur les exigences européennes sur les LMR qui varient d'ailleurs d'une année à une autre et d'un pays à un autre (Oura, 2010). Cela pourrait être maîtrisé si les paysans recevaient un encadrement qui puisse réduire les écarts avec les normes. Or, le non respect des normes est responsable d'énormes pertes dès les préparatifs d'exportation. A cela s'ajoutent les contraintes de l'exportation.

L'une des premières contraintes de l'ananas est d'abord la longue distance qu'il parcourt avant d'être consommé. En tant que culture très périssable, les risques de pourriture sont grands. En outre, cet ananas est soumis à une rude concurrence. Le produit doit compétir sur le marché européen avec les grands producteurs d'Asie et d'Amérique Latine. Comment les agriculteurs ivoiriens peuvent-ils tenir la concurrence avec la grande firme américaine Del Monte ? Les pertes sont d'autant plus lourdes que beaucoup de paysans se retrouvent souvent avec des comptes de vente négatifs. A ces difficultés, s'ajoute l'intervention d'intermédiaires qui rognent le profit des paysans.

La question des intermédiaires, une tendance lourde dans la gestion de la filière. Avant d'être mis sur le marché, les fruits passent par un autre contrôle plus rigoureux ; ils doivent obéir aux normes phytosanitaires, les LMR. Le contrôle est d'autant plus strict que si par exemple, un produit est révélé pourri lors d'un tirage aléatoire, c'est toute la palette de 800 ananas, qui est refusée (Oura, 2012). En outre, le transport de ces produits jusqu'au dépotoir, figurera encore sur la facture du paysan ! Ainsi, les paysans avouent avoir tiré assez de bénéfices avec l'ananas mais dénoncent les contraintes du marché extérieur. D'où l'in-

térêt d'analyser les possibilités que peuvent offrir les marchés locaux, notamment celui du manioc, la culture de substitution à l'ananas.

Le circuit court de distribution : quels atouts ?

Avec les difficultés du marché international de l'ananas, les paysans ont opté pour le manioc dont la distribution est soumise à peu d'intermédiaires. Le manioc se vend dans des conditions nettement moins contraignantes que l'ananas dont la commercialisation semble ne plus dépendre uniquement de la loi classique de l'offre et de la demande, tant les contraintes sont grandes. Dans le manioc, un lien direct existe entre le producteur et le consommateur à travers des expositions des produits. Il arrive qu'intermédiaire intervienne à partir d'un achat direct des produits bord-champ. Les deux premiers s'informent régulièrement sur les besoins du marché et la disponibilité du produit. Le circuit court présente une « bonne capacité d'accès au marché et une optimisation de la production et de la distribution par échange de connaissances, de contacts et d'informations », (Couveuse d'île de France, 2013). Dans tous les cas, les conditions de vente du manioc qui se font généralement au niveau local, à Abidjan et sa banlieue, sont plus appréciables que celles de l'ananas-export. C'est pourquoi, les producteurs actuels de l'ananas intègrent désormais ce circuit dans leur système de production et de vente.

Le circuit court présente des avantages tant au niveau environnemental qu'économique. De cela, on s'interrogerait pourquoi les paysans africains « s'entêtent-ils » à privilégier les cultures qui empruntent les circuits longs à travers l'exportation vers les marchés occidentaux.

Cette étude semble répondre un temps soit peu à cette interrogation, de par la comparaison des circuits empruntés par l'ananas et le manioc. Cette approche comparative répond au souci de reconsidérer les atouts des vivriers dans le double contexte de l'urbanisation accélérée et du renforcement des contraintes du commerce international. On peut également apprendre qu'aussi avantageux que sera le circuit court qui concerne généralement le marché local, celui-ci fonctionne dans le cas ivoirien, dans un environnement moins formel. En outre, ce marché n'est pas à mesure de recevoir une grande offre. D'où la nécessité du circuit long. Quoique plus flexible, le marché local ne peut supporter qu'une quantité limitée de produits, il propose des prix encore faibles et donc moins excitant pour des paysans qui se laissent très facilement attirer par les prix des produits, sans prendre nécessairement en compte d'autres paramètres comme le niveau d'investissement, le temps qu'ils consacrent à chaque culture, etc. Dans ce cas, des spéculations comme le caoutchouc, le cacao, le café, le coton et même l'ananas qui ne rentrent pas directement dans la consommation des ménages des pays producteurs, et qui présentent dans bien des cas, des prix plus reluisants, seront privilégiés que les produits vivriers consommés localement et dont les prix restent moins attrayants malgré la demande de plus en plus croissante du fait de l'urbanisation rapide.

Références

Anassidé A. et Aïvodji J. (2009), *Elaboration des règles de soutien et de stabilisation des prix pour la filière ananas*, Projet d'appui à la Sécurisation des Revenus des Exploitants Agricoles (PASREA), 62 p.

Belhedi A. (2010), *Les modèles de localisation des activités économiques*, 203 p. Site personnel : Modèles de localisation des activités économiques (mlae) : `http://mlae.site.voila.net`, `http://amorbelhedi.250free.com`

Couveuse d'Ile de France, Circuits courts et circuits longs, 6 p. Consulté en ligne le 06-06-2013, `www.alimenterre.org/sites/www.../files/346_presentation__couveuse.pdf?`

Dams Th. (1968), « Localisation des productions agricoles en République Fédérale d'Allemagne : évolution et causes ». In : Économie rurale. N°78, 1968. *Les nouveaux facteurs de localisation de la production agricole dans la C. E. E.* pp. 33-42.

Daniel J. et Martin T. (2008), *Impact des normes obligatoires de la réglementation européenne, de l'agriculture biologique et du commerce équitable sur les systèmes de production d'ananas au Bénin et au Togo*, Rapport de mission Normes (Bénin & Togo, ananas)-2007, 83 p.

Les avis de l'ademe, (2012), *Les circuits courts alimentaires de proximité*, 4 p. Consulté en ligne le 06-06-2013, `www2.ademe.fr/servlet/getBin?name.`
`..tomcatlocal1335949899818.pdf?`

Montcho K. (2010), *Analyse des contraintes au développement de l'ananasdans la commune de Tori-Bossito (Sud-Bénin)*, Mémoire de Maîtrise ès Sciences de gestion, Université d'Abomey-Calavi, 117 p.

Observatoire européen leader (2000), *Commercialiser les produits locaux. Circuits courts et circuits longs*, " Innovation en milieu rural ", Cahier de l'innovation n° 7, Juillet 2000, 98 p

Okou N. (2009), *Enjeux de la promotion des productions vivrières en région de cultures industrielles : cas du manioc à Abrobakro dans la sous-préfecture de Bonoua*, Mémoire de D.E.A., IES, Université d'Abidjan Cocody, Abidjan, 84 p.

Oura K. (2010), *Agriculture et urbanisation : le cas de Bonoua*, Thèse Unique de doctorat, Université de Cocody (Côte d'Ivoire), Abidjan, 420 p.

Oura K. (2012), « Crise de l'ananas et reconversion à la culture du manioc dans la sous-préfecture de Bonoua », Les lignes de Bouaké-La-Neuve – 2013 – N°4, 24 p.

Atelier 7

Les temps du territoire

Géohistoire du lien réseau/territoire en France entre 1830 et 1930 : une approche géographiquement pondérée

Christophe Mimeur[1], **Thomas Thevenin**[1], **Robert M. Schwartz**[2]

[1]. Laboratoire ThéMA UMR 6049, Université de Bourgogne

[2]Department of History, Mont Holyoke College

Mots-clefs - espace, temps, SIG historique, pondération géographique

Contexte et objectifs

La question de l'établissement d'un lien entre le réseau et le territoire est une problématique d'aménagement éminemment d'actualité. Sujette à débat depuis des décennies, elle est un thème pluridisciplinaire. La littérature scientifique est abondante à propos des relations qu'entretiennent ces concepts élémentaires de la géographie théorique (Bunge, 1962) et démontre certainement la difficulté de mesurer leurs liens. Apparu dès la construction des chemins de fer au début du XIXème siècle, le rapport entre réseau et territoire a souvent été décrété de manière catégorique. Très tôt, Albert Gallatin, secrétaire américain du Trésor sous la présidence de Thomas Jefferson, affirme l'universalité des bienfaits de la construction d'infrastructures de transport. En France, le corps des Ponts et Chaussées, largement inspiré par le courant saint-simonien, justifie la construction des premières lignes de chemin de fer par leur capacité à lier les hommes et les activités.

Si, dans un article qui a fait date, Jean-Marc Offner démonte le concept d' « effet structurant » en pointant le « mythe politique » et la « mystification scientifique » (Offner, 1993), il affirme, à l'occasion des 20 ans de la parution de cet article, qu'il n'y a plus de « spécialistes des transports pour croire aux effets structurants des transports » (Offner, 2014). Il semble cependant réducteur de tirer un trait définitif sur une telle entreprise qui date désormais de deux siècles. D'ailleurs, les réponses apportées par différents spécialistes dans les Controverses de l'Espace Géographique en 2014 reprennent le même vocabulaire que celui qui s'enrichit depuis l'apparition des chemins de fer. Le lien entre réseau et territoire est donc à la fois un enjeu sociétal, disciplinaire, méthodologique et terminologique. De l'effet linéaire aux rôles des acteurs territoriaux, en passant par l'amplification, la polarisation, la complexité, la richesse du vocabulaire montre une diversité des approches.

Partant du constat que l'on ne peut balayer la notion d' « effet structurant » (Bretagnolle, 2014), il faut toutefois bien préciser à quelle échelle d'espace et de temps nous envisageons d'étudier les liens entre la mise en place d'un réseau de transport et son impact sur le territoire. Ce travail propose alors une nouvelle approche par la longue durée, en s'inscrivant dans le champ géohistorique, encore peu développé en France mais pourtant dynamique dans les sciences sociales du monde anglo-saxon. Si l'appréhension du réseau est envisagée par la construction et l'évolution du réseau ferroviaire depuis les premiers rails posés dans la décennie 1830, nous envisageons d'explorer la facette du « territoire » par une entrée démographique, considérée comme un prisme des dynamiques territoriales, constatant que la « taille démographique est un excellent (et le meilleur) résumé de très nombreuses propriétés fonctionnelles » (Pumain, 1997).

On pose alors l'hypothèse que le temps long fasse apparaître de nouvelles pistes d'explications du lien entre territoire et réseau. Si de nombreux travaux se sont penchés sur l'impact du réseau sur les villes et leur hié-

rarchie (Bretagnolle, 2009 ; Pumain, 1982), l'application de larges échelles spatiale et temporelle pourrait faire émerger des processus en cause dans l'exode rural ou la périurbanisation, caractéristiques des grandes mutations de la population française depuis le XIXème siècle.

Données et méthodes

Ce travail s'appuie notamment sur la valorisation d'un considérable corpus de données, qui se doit de faire cohabiter informations spatiale et temporelle. Si les systèmes d'informations géohistoriques connaissent un développement dans les sciences historiques dans le monde anglo-saxon (Gregory & Ell, 2007), on ne compte que de rares initiatives en France. Les principales divergences avec un SIG-classique consistent essentiellement à la diversification des sources nécessaires à la construction d'un SIG-H. La mise en forme attributaire des données doit permettre l'inventaire, la mise à jour, l'affichage et l'analyse (Langran, 1992). Aujourd'hui, les principaux logiciels de SIG ne permettent pas la prise en compte aisée de la dimension temporelle dans leurs propres outils pour de futures analyses. Dès lors, c'est un dérivé de l'approche composite, le data stamping (Vrana, 1989), qui est utilisé pour identifier une date de début de fin de chaque objet, permettant ainsi leur localisation spatiale et temporelle.

La construction du SIG-H requiert la construction d'une base de données démographiques d'une part, ferroviaires d'autre part (Figure 1). La première s'appuie sur les travaux d'historiens permettant de connaître la population des quelques 36 000 communes de France depuis la fin du Premier Empire. La base de données ferroviaires est la plus riche, puisqu'elle se compose à la fois de l'information sur les voies ferrées et celle sur les gares, seuls points d'entrée du réseau.

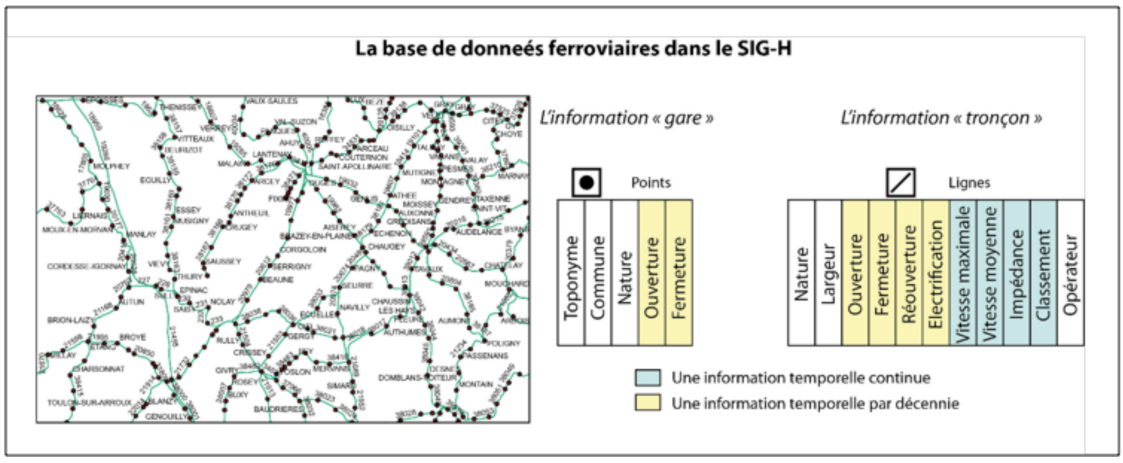


FIGURE 1 – La base de données ferroviaires dans le SIG-H

La question de l'évolution du réseau et de sa caractérisation est la plus sensible. Au-delà de la classique extension spatiale du réseau sur le temps long, le SIG-H se doit de prendre en compte les vitesses de déplacement le long du réseau, depuis la construction des premiers tronçons, constatant la « révolution de la vitesse » (Studeny, 1995), consécutive à l' « immense piétinement des Hommes » (Bavoux, Beaucire, Chapelon, & Zembri, 2005). Dès lors, c'est à partir d'une multitude de sources à la fois textuelles et statistiques qu'ont été renseignées les vitesses maximales et moyennes de chaque tronçon, étape indispensable au calcul des impédances. Ainsi, l'exploitation de cette base de données passe par la transformation du réseau en graphe bimodal. Chaque commune n'étant pas relié au réseau ferré sur notre période d'étude, il faut à la fois

définir des temps d'accès aux gares, point d'entrée sur le réseau ferré, en plus du temps de parcours classique sur ce réseau. La construction des indicateurs d'accessibilité passe donc par l'utilisation d'une infrastructure de calcul performante pour établir des matrices origine/destination dans l'ensemble des 36 000 communes françaises.

Cette communication vise à apporter un éclairage « spatial » sur les dynamiques qu'entretiennent réseau et démographie en France entre 1830 et 1930. Pour autant, les approches économétriques les plus classiques assument le fait que les paramètres estimés sont constants dans l'espace, alors même que l'on peut supposer que le lien entre les dynamiques démographiques et réticulaires n'aura pas le même impact dans l'espace. Depuis le début des années 90, de nouvelles méthodes économétriques tendent à prendre en compte la dimension spatiale. L'intérêt de ce type de modélisation réside également dans sa possibilité de cartographier les résultats (Fotheringham, Brunsdon, & Charlton, 2000). Constatant une forte hétérogénéité des données, couplée à une forte hétéroscédasticité, cette communication présentera les résultats d'une régression géographiquement pondérée (GWR), dont l'objectif est d'expliquer les variations de population par des indicateurs d'accessibilité.

Résultats attendus

Les résultats présentés témoignent des atouts d'un côté et des contraintes d'un autre du traitement de larges bases de données spatio-temporelles. De premières analyses globales montrent bien une relation entre dynamiques démographiques et dynamiques de réseau qui suit une loi de Pareto, comparable à la hiérarchie urbaine du territoire. Plus généralement, ces analyses montrent bien le caractère prépondérant de la capitale dans l'organisation du réseau et ses impacts sur le reste du territoire. De l'analyse univariée géographiquement pondérée à la régression géographiquement pondérée, les cartes montrent bien l'émergence d'agrégat autour du développement du réseau. La prise en compte de variables d'accessibilité d'une part, et d'une variable traduisant la place de l'entité spatiale dans la hiérarchie du réseau d'autre part, vient affiner les résultats. L'un des principaux enjeux de telles analyses est de faire apparaître des structures spatiales, non seulement à proximité des villes, mais aussi dans les campagnes, qui seront alors susceptibles d'apporter de futurs éclairages au phénomène d'exode rural.

Références

Bavoux, J.-J., Beaucire, F., Chapelon, L., & Zembri, P. (2005). *Géographie des transports*. Paris : A. Colin.

Bretagnolle, A. (2009). Villes et réseaux de transport : des interactions dans la longue durée (France, Europe, Etats-Unis).

Bretagnolle, A. (2014). Les effets structurants des transports, une question d'échelles ? ? *L'Espace géographique*, 43(1), pp. 51–67.

Bunge, W. (1962). *Theorical Geography*. Lund, Suède : Gleerup.

Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2000). *Quantitative Geography : Perspectives on Spatial Data Analysis*. SAGE.

Gregory, I. N., & Ell, P. S. (2007). *Historical GIS : technologies, methodologies, and scholarship*. Cambridge University Press.

Langran, G. (1992). *Time In Geographic Information Systems*. CRC Press.

Offner, J.-M. (1993). Les «effets structurants» du transport : mythe politique, mystification scientifique. *Espace géographique*, 22(3), pp. 233–242.

Offner, J.-M. (2014). Les “effets structu-

rants" du transport ? : vingt ans après. *L'Espace géographique*, 43(1), pp. 51–67.

Pumain, D. (1982). Chemin de fer et croissance urbaine en France au XIXe siècle. *Annales de Géographie*, 91(507), pp. 529–550.

Pumain, D. (1997). Pour une théorie évolutive des villes. *Espace géographique*, 26(2), pp. 119–134.

Studeny, C. (1995). *L'invention de la vitesse : France*, XVIIIe-XXe siècle. Paris : Gallimard.

Vrana, R. (1989). Historical data as an explicit component of land information systems. *International journal of geographical information systems*, 3(1), pp. 33–49.

Théoriser la notion de fonction urbaine pour modéliser la dynamique de la ville dans le temps long.

Lucie Nahassia,

UMR 8504, Géographie-cités
Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Mots-clefs - fonction, système intra-urbain, analyse spatio-temporelle, temps long

Contexte et objectifs

L'analyse systémique en géographie envisage le plus souvent la ville à deux échelles spatiales. C'est à la fois le territoire densément habité de la vie quotidienne, et celui des échanges plus rares de longue portée qui l'inscrivent dans un réseau urbain (Pumain et al., 2006).

Si cette inscription à deux échelles et dans deux systèmes, classique en géographie (Berry, 1964), correspond généralement à une approche contemporaine de la ville, elle peut également être utilisée pour une analyse dans le temps long. En effet la ville est ancrée dans des réseaux urbains anciens, durables et hiérarchisés (Fletcher, 1986), et sa matérialité hérite de son propre passé (Galinié, 2000). Ainsi la ville et sa forme actuelle ne peuvent se comprendre que comme le résultat d'une longue évolution (Pumain, 1997). L'échelle de temps choisie pour l'étude de cette fabrique sur la longue durée peut varier de quelques dizaines d'années à plusieurs millénaires, selon l'entrée thématique et les problématiques choisies. Pour nous, il s'agit de remonter jusqu'à la création de notre ville d'étude, Tours (cf. deuxième partie), ce qui fixe le cadre temporel à 2000ans.

Le lien entre l'échelle intra-urbaine et l'échelle inter-urbaine s'opère notamment par le biais des fonctions, que l'on peut définir comme des activités humaines en interactions les unes avec les autres et dans l'espace : fonction économique, religieuse, culturelle, etc. (cette définition ainsi que la typologie seront discutées dans la suite de la communication). En effet, on trouve en ville des fonctions banales, desservant un territoire local – la boulangerie, l'école maternelle – qui côtoient des fonctions à plus grande portée, lesquelles prennent leur sens à l'échelle du réseau et fondent la place de la ville dans la hiérarchie urbaine – la cour de justice, l'université. Quelle que soit l'échelle à laquelle elles font sens, les fonctions qui s'observent en ville (« fonctions urbaines ») coexistent dans l'espace urbain en s'inscrivant toutes très concrètement dans son bâti. Par ailleurs le lien entre la forme – entendue ici comme l'aspect matériel de la ville – et la fonction est indissociable, car toute structure matérielle est avant tout lieu de pratique, une construction sociale (Roncayolo, 2002).

C'est précisément ce lien entre la forme et la pratique (qu'elle ait ou non une visée locale), entre l'espace intra-urbain, matériel, construit et la fonction que la recherche présentée pour cette communication propose d'explorer.

Le rapport ville/fonction s'inscrit dans la longue durée : les fonctions ne sont statiques ni dans le temps, ni dans l'espace urbain. Que ce soit par leur disparition, leur épanouissement

soudain, ou simplement leur changement de localisation, elles façonnent une structure dynamique de l'espace. C'est par exemple le cas des lieux d'inhumation qui se situent successivement en périphérie des villes (nécropoles antiques), intriqués dans l'espace urbain (cimetières paroissiaux à partir du haut Moyen Âge), en marge (à partir du XVIIe siècle) et enfin, avec l'étalement de l'espace bâti, à nouveau inclus dans le tis-

sus urbain (Atelier de chrono-chorématique du CNAU, 2010).

Le prisme de la fonction permet de révéler une fabrique de la ville dans l'histoire par une interaction constante et complexe entre société, espace et temporalité (Galinié, 2000). A cet égard, au-delà des explications historiques et thématiques des transformations fonctionnelles observées (analyse religieuse, militaire, culturelle...), les motifs spatiaux et temporels de ces dernières font sens : l'étude de la répartition spatiale des fonctions urbaine sur le très long terme, de la fondation d'une ville jusqu'à aujourd'hui, peut apporter une connaissance nouvelle sur la structure et la dynamique de l'espace urbain.

Le travail de recherche présenté ici s'oriente ainsi autour de deux principaux objectifs :
- décrire et comprendre l'organisation actuelle des fonctions à l'échelle intra-urbaine, en retrouvant dans leur localisation l'imbrication de traces héritées de différentes époques
- identifier et modéliser les processus spatiaux qui ont abouti à cette organisation, les logiques de transformation qui peuvent être régulières dans le temps ou qui, au contraire, changent de nature et de rythme selon le contexte spatial et historique considéré

Ces questionnements, qui intègrent fondamentalement une dimension temporelle, articulent à l'entrée géographique une approche historique, en particulier archéologique. En effet, les vestiges sur lesquels l'archéologie travaille sont les traces d'un usage passé de l'espace dont les structurent actuelles héritent. Sur le sujet des fonctions urbaines, le rapprochement avec cette discipline est donc indispensable tant d'un point de vue méthodologique (sources) que théorique (réflexion conceptuelle sur le temps et les transformations des usages de l'espace).

Données et méthodologie générale

Pour explorer ces questions, ce travail s'appuie sur un cas d'étude spécifique, à partir de l'observation duquel il s'agira de dégager des règles généralisables à l'objet urbain : l'évolution de la ville de Tours. Ce choix a été motivé par la nécessité de disposer, pour un espace urbain, de connaissances géolocalisées sur le très long terme, un corpus disponible pour cette ville. En effet, l'équipe du laboratoire Archéologie et Territoire de l'université François Rabelais a construit une base de données dans laquelle toutes les connaissances archéologiques concernant cette ville sont renseignées et localisées, depuis sa fondation jusqu'à l'époque préindustrielle. Cette BDD, appelée «Topographie de Tours Pré- Industrielle » est en outre conçue de manière à pouvoir interroger les données selon une entrée temporelle, spatiale ou fonctionnelle, et toutes leurs combinaisons possibles (Rodier, Galinié, 2002 ; Rodier, Saligny, 2010). A partir de la révolution industrielle, la caractérisation fonctionnelle n'est plus renseignée dans la base, et les analyses s'y arrêtent pour le moment. Pour étudier la ville jusqu'à aujourd'hui, un travail de formalisation de données plus récentes est en cours. La BDD est de plus complétée par un corpus bibliographique géographique et historique divers (textes, images, cartes...) sur l'histoire de la ville de Tours.

L'étude adopte une démarche modélisatrice, qui se construit dans un dialogue constant entre le domaine des concepts, le domaine empirique et le domaine de la modélisation (Livet et al., 2010). Les concepts sur la ville, les fonctions, le temps et l'espace sont mobilisés et discutés pour construire un cadre théorique à l'étude empirique. L'étude empirique basée sur l'analyse de la BDD et de la bibliographie a pour objectif d'observer des régularités dans l'évolution de la ville de Tours. Les hypothèses issues de cet échange seront formalisées dans des modèles conceptuels, puis mises en œuvre et testées dans des modèles de simulation, particulièrement adaptés à l'étude des processus dynamiques.

Au cours de ce travail, certaines pistes de réflexion et d'analyse sont privilégiées, par exemple :

– Dans quelle mesure et selon quelles modalités spatiales et temporelles (distances, rythmes) certaines fonctions en attirent ou en repoussent–elles d'autres ?
– iPeut-on établir des règles de succession des fonctions pour un bâti ou un ensemble bâti donné ?
– Comment quelle est l'inertie des structures d'une période à l'autre ? Par exemple, dans quelle mesure les fonctions d'un noyau urbain préexistant changent-elles ou persistent-elle quand l'espace urbain s'agrandit, se rétracte, ou quand la polarité urbaine se déplace ?

L'objectif de cette communication est de présenter une partie des résultats de la première étape de travail. Nous proposons ainsi un cadre conceptuel pour définir la notion de fonction, en lien avec l'espace urbain, qui permette de répondre aux objectifs de recherche. Cette théorisation est tributaire des enjeux épistémologiques et thématiques sous-tendus par l'objet de recherche et la problématique abordée, ainsi que par les données mobilisées pour mener à bien cette étude.

Définir la fonction dans l'espace urbain

En premier lieu, c'est le sens même du terme de « fonction » qui doit être précisé. En effet l'analyse fonctionnelle est introduite dès le XVIIIe dans l'étude de l'urbain (Lepetit, 1979 ; Roncayolo, 2013) et elle permet de qualifier la ville tant à l'échelle intra-urbaine (quartier défini comme « tertiaire » ou « résidentiel ») qu'à l'échelle du réseau de ville (spécialité fonctionnelle), mais sa définition n'est pas pour autant stable.
Il s'agit en particulier d'examiner et de discuter la manière dont la notion de fonction est abordée dans la littérature à partir d'un corpus de dictionnaires et d'ouvrages géographiques et archéologiques.

Dans les ouvrages encyclopédiques, la fonction est intiment liée à la ville puisqu'elle est généralement définie comme une caractéristique de l'espace urbain : c'est le rôle de la ville, sa raison d'être dans ses relations avec l'extérieur (Johnston et al., 1981 ; Cabanne, 1984 ; Pumain et al., 2006). Elle est, en fait, beaucoup moins souvent définie et utilisée à l'échelle intra-urbaine (c'est le cas dans Brunet et al., 1992). De plus, il est intéressant de noter que les auteurs des dictionnaires les plus diffusés déconseillent son usage : elle est trop vague et véhicule une vision téléologique du monde (Brunet et al., 1992 ; Levy, Lussault, 2003).
Au regard des problématiques de recherche exposées, nous adoptons une définition systémique du terme, présente par exemple chez (Pumain et al., 2006). La notion de fonction est ainsi un mode de qualification d'une activité qui prend sens au regard des autres activités avec lesquelles elle forme un système. En effet, la relocalisation des fonctions dans le temps peut s'appréhender à travers leur position relative les unes par rapport aux autres : certaines fonctions s'attirent, d'autre se repoussent. Ces relations positives ou négatives peuvent être formalisées en termes d'interaction, considérée ici au sens restreint d'un échange immatériel entre des lieux (Pumain, Saint-Julien, 2010 ; Ullman, 1954). Elles ne sont pas quantifiables directement au sens où il s'agit d'influences réciproques, mais on peut en observer les effets dans l'espace.

Contrairement à la position de (Brunet et al., 1992 1992 ; Levy, Lussault, 2003), nous pensons qu'une vision systémique et fonctionnelle du monde n'est pas nécessairement finaliste. En effet, le système formé par les fonctions en ville peut être considéré comme complexe : les interactions locales des fonctions définissent au niveau macroscopique une structure urbaine spatialisée qui n'est pas le produit d'une pensée structurant intentionnelle et globale. Ce système peut ainsi être abordé dans le cadre théorique de l'auto-organisation, qui permet en outre de penser le changement de façon non homogène et discontinue.

Dans la mesure où cette recherche est au croisement de la géographie et de l'archéologie et que les données de la BDD ont

été caractérisées fonctionnellement par des archéologues, il est nécessaire d'interroger l'utilisation de la notion de fonction dans cette discipline. La notion a été introduite en archéologie par transfert depuis la géographie pour qualifier les différents objets archéologiques, notamment sous la forme de thésaurus (CNAU, 2004 ; Galinié et al., 2004). La partie fonctionnelle de la BDD présentée est construite sur ce modèle. Le passage d'une discipline à l'autre n'en a pas modifié le sens. En revanche, la fonction est utilisée par les archéologues à une échelle que le géographe, lui n'étudie presque jamais : l'échelle de la fouille, c'est à dire, en terme géographique, de la rue/du lot/du bâtiment/de la construction.

Adapter l'analyse à l'évolution du contexte sémantique et spatial

Une fois le travail de définition du couple activité/fonction abouti, et dans la mesure où la problématique de recherche est centrée sur les dynamiques dans la longue durée, il convient de s'interroger sur la pertinence de la classification fonctionnelle utilisée au cours du temps.

En effet, que l'on s'intéresse aux typologies traditionnellement utilisées en géographie ou aux thésaurus d'archivages archéologiques, il n'existe pas de définition univoque pour chaque type de fonction qui soit valide pour l'ensemble de la période étudiée. Les concepts ne sont pas transhistoriques et l'évolution de leur sens exige une historisation des catégories utilisées (Veyne, 1996). Par exemple, la distinction entre fonction religieuse et politique est peu opérante sous l'Empire romain, dans la mesure où le culte impérial, qui comporte une divinisation de l'empereur et de sa famille, est une forte source de légitimité politique et un puissant outil d'intégration des provinces conquises – alors qu'aujourd'hui en France la séparation est tout à fait justifiée.

Ainsi le travail de définition des types de fonctions constitue un enjeu important de cette recherche : il faut prendre en compte les fluctuations et l'ambivalence sémantique des concepts abordés selon les époques tout en autorisant une comparaison diachronique. Cette difficulté peut être dépassée en mobilisant des catégories plus abstraites que « la religion » ou « le militaire », issue par exemple de la géographie économique : « activité exportatrice », « activité banale », « fonction d'encadrement », etc. En outre, ce changement de catégorie a l'avantage de ne pas considérer « le religieux » ou « le militaire » comme des concepts homogènes même pour une époque donnée alors qu'ils recouvrent en fait des rôles divers vis- à-vis de l'organisation de la société (la religion peut par exemple avoir à la fois une dimension d'encadrement local et global) *(op. cit.)*.

Parallèlement au changement du référentiel sémantique, il faut également prendre en compte l'évolution du cadre spatial. L'espace urbain change au cours du temps : il s'étale, se rétracte ; il est monocentrique puis polycentrique, comme à Tours. Il est donc également nécessaire d'adapter l'analyse aux fluctuations du référentiel spatial sur le temps long, ce qui pourra être réalisé au cours de l'analyse spatiale.

Références

Atelier de chrono-chorématique du CNAU, (2010), « Une frise-modèle du temps long urbain », *Mappemonde*, 100(4).

Berry B.J., (1964), « Cities as systems within a system of cities », *Papers in Regional Science*, 13(1).

Brunet R., Ferras, R., Théry H., (1992), *Les mots de la géographie : dictionnaire critique*, Reclus.

Cabanne C., Michel C., (1984) , *Lexique de géographie humaine et économique*, Dalloz.

Centre national d'archéologie urbaine, (2004), *Informatisation des documents d'évaluation du patrimoine archéologique*

des villes de France : Système de gestion de base de données, France.

Fletcher R., (1986), « Settlement in Archaeology : World-Wide Comparisons », *World Archaeology*, 18(1).

Galinié H., (2000), *Ville, espace urbain et archéologie*, Tours : Maison des sciences de la ville, de l'urbanisme et des paysages, CNRS-UMS 1835, Université de Tours.

Galinié H., Rodier X., Saligny L., (2004), «Entités fonctionnelles, entités spatiales et dynamique urbaine dans la longue durée», *Histoire & Mesure*, vol. xix-3/4, Paris : CNRS.

Johnston R. J., Gregory D., Smith, D. M., Haggett, P., et Stoddart D.R., (1981), *The dictionary of human geography*, Blackwell Reference Oxford.

Lepetit B., (1979), « Évolution de la notion de ville d'après les tableaux des descriptions géographiques de la France (1650-1850) », *Urbi II*.

Lévy J., Lussault M., (2003), *Dictionnaire de la géographie [et de l'espace des sociétés]*, Vol. 7, Belin Paris.

Livet P., Muller J.-P., Phan D., Sanders L., (2010), « Ontology, a Mediator for Agent-Based Modeling in Social Science », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 13(1).

Pumain D., (1997), « Pour une théorie évolutive des villes », *l'Espace géographique*, 26(2).

Pumain D., Paquot T., Kleinschmager R., (2006), *Dictionnaire La ville et l'urbain*, Paris : Economica-Anthropos.

Pumain D., Saint-Julien T., (2010), *Analyse spatiale : Les interactions*, Paris : Armand Colin.

Rodier X., Galinié H., (2002), « TOTOPI Topographie de TOurs Pré-Industriel, un outil d'analyse urbaine », *Les petits cahiers d'Anatole*, 11.

Rodier X., Saligny L., (2010), « Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée », *Cybergeo : European Journal of Geographie*.

Roncayolo M., (2002), *Lectures de villes : formes et temps (Eupalinos.)*, Marseille : Éd. Parenthèses.

Roncayolo M., (2013), « VILLE - Mythe et représentation ». *Encyclopedia Universalis* [en ligne, `http://www.universalis.fr/encyclopedie/ville-mythe-et-representation/`.

Ullman E.L., (1954), « Geography as spatial interaction », dans *Interregional Linkages (Proceedings of the Western Committee on Regional Economic Analysis)*, Berkeley (chap. 1, Boyce ed., 1979).

Veyne P., (1996), *Comment on écrit l'histoire*, Paris : Seuil.

Des temps de la ville aux temps des habitants : apports de deux enquêtes biographiques sur les mobilités spatiales (1993, 2009) à l'étude multiscalaire des temporalités du changement urbain (Bogota, Colombie).

Guillaume Le Roux

UMR 7301 - Université de Poitiers-CNRS

guillaumeleroux14@gmail.com

Mots-clefs - dynamiques urbaines, temporalités urbaines, échelles spatiales, trajectoires résidentielles, mobilité résidentielle, approche biographique

Contexte et objectif

Cette proposition de communication repose sur des travaux réalisés dans le cadre de ma thèse en géographie sur les recompositions urbaines à Bogota, dont la soutenance est prévue au printemps 2015 [1]. Dans un contexte de transition urbaine rapide en Colombie et dans de nombreux pays latino-américains, Bogota a connu, à l'image de nombreuses autres grandes villes latino-américaines, des rythmes de croissance démographique sans précédents entre le début du XXème siècle et les années 1970, sa population passant de quelques centaines de milliers d'habitants dans les années 1930 à environ 8 millions d'habitants aujourd'hui. Cette croissance démographique s'est accompagnée d'une expansion spatiale très importante et de divisions sociales de l'espace fortement marquées, entre un nord riche et un sud pauvre. Depuis les années 1990, la croissance démographique est considérablement ralentie et moins alimentée par la migration. Cette nouvelle phase de peuplement, plus endogène, invite à étudier les recompositions intra-urbaines en cours sous un nouveau jour (Dureau et al, 2014- a).

Ma thèse a pour objectif d'étudier les changements de répartition des populations (expansion spatiale, redistribution des densités de population, évolution des divisions sociales de l'espace) au sein de l'aire métropolitaine de Bogota depuis le début des années 1990. Elle s'insère à la croisée de deux approches : l'une qui appréhende les évolutions des villes à l'échelle globale et l'autre qui analyse des changements urbains localisés à travers l'étude de cas centrée sur des quartiers particuliers. Une des ambitions de la thèse est d'articuler ces deux échelles, globale et locale, pour mieux comprendre les relations qui existent entre dynamiques métropolitaines et dynamiques locales, entre dynamiques de peuplement à l'échelle de la ville dans son ensemble et comportements individuels de mobilité. Sans toutefois nier la multiplicité des acteurs intervenant dans les recompositions urbaines, les dynamiques urbaines sont abordées sous l'angle des mobilités des individus et des ménages dans la lignée des travaux qui considèrent ces derniers prennent une part active, par leurs comportements et leurs pratiques de l'espace, dans la production et les transformations des espaces urbains (Brun, 1993 ; Dupont et Dureau, 1994 ; Lévy, 1998). Le corpus de données réuni fait de Bogota un cas d'étude particulièrement intéressant : la disponi-

1. Ma thèse « Reconfigurations métropolitaines : parcours d'habitants et changements urbains » est réalisée au sein du laboratoire Migrinter (CNRS - université de Poitiers) et co-dirigée par F. Dureau et C. Imbert.

bilité de deux collectes biographiques sur les mobilités réalisées à 16 ans d'intervalle et de données de recensement géolocalisées constitue une opportunité rare pour l'étude des évolutions des pratiques de mobilité et permet d'éclairer finement les dynamiques métropolitaines. Les parcours migratoires et résidentiels collectés au cours des deux enquêtes sont appréhendés de deux manières : d'une part, ils servent à caractériser la dynamique des lieux à partir de l'agrégation de comportements individuels ; et, d'autre part, ils sont envisagés comme une somme d'expériences guidant les choix résidentiels des individus et participant ainsi aux stabilités et aux évolutions des dynamiques urbaines (Authier et al (dir.), 2010).

L'objectif de cette communication est une étude des apports de ce matériau à disposition sur la thématique des temporalités urbaines (Lepetit et Pumain, 1993), pour laquelle les questions des échelles spatiales et temporelles du changement urbain sont centrales. Cette communication a comme objectifs : 1) de faire un point sur la manière dont les deux échantillons biographiques, collectés permettent de rendre compte d'évolutions ou de stabilités dans les comportements migratoires et résidentiels des habitants de Bogota à des échelles agrégées ; 2) de proposer des méthodes d'analyse mettant en évidence différentes temporalités du changement urbain ; et 3) de montrer que l'application empirique de ces méthodes permet d'étudier les dynamiques urbaines à des échelles globales et locales.

Données et méthodes

Deux sources différentes sont utilisées pour étudier conjointement les évolutions des parcours des habitants et les dynamiques urbaines : deux enquêtes biographiques Mobilités réalisées à 16 ans d'écart (1993 et 2009) sur douze zones d'étude illustrant des dynamiques particulières ; et des données de recensements, géoréférencées, à différentes dates (1973, 1985, 1993, 2005). Les deux derniers recensements, réalisés à des dates proches de celles des enquêtes, sont exploités à titre principal tandis que les recensements antérieurs servent, de manière secondaire, à remettre en perspective certaines dynamiques récentes avec des dynamiques antérieures ou à contextualiser les parcours collectés dans les deux enquêtes.

Les données de recensement permettent d'étudier, en 1993 et en 2005, les trois dynamiques sur lesquelles se centre l'analyse (l'expansion spatiale, la redistribution des densités et les évolutions des divisions sociales de l'espace) à partir des caractéristiques principales du parc de logements et de la population, et ce de l'échelle métropolitaine jusqu'à celle des îlots. En revanche, elles ne renseignent que superficiellement sur les migrations et la mobilité résidentielle.

Les données d'enquête, produites dans le cadre d'un projet CEDE-ORSTOM en 1993 [2] et du projet ANR METAL en 2009 [3] permettent quant à elles, sans être toutefois représentatives de l'ensemble de l'aire métropolitaine de Bogota, d'étudier de manière très fine les pratiques de mobilités des individus. Ces deux enquêtes reposent sur trois principes : une approche globale des mobilités, en considérant les pratiques de mobilité quelles que soient leur distance (des mouvements intra-urbains à la migration) et leur durée (des migrations aux déplacements quotidiens) ; une approche biographique, pour étudier comment les per-

2. Cette enquête a été réalisée dans le cadre du programme « La movilidad de las poblaciones y su impacto sobre la dinámica del área metropolitana de Bogotá », développé par le CEDE (Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico) et l'ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) entre 1992 et 1998 sous la direction de F. Dureau et C.E. Flórez (Dureau et al, 1994).

3. Le projet METAL (Métropoles d'Amérique latine dans la mondialisation : reconfigurations territoriales, mobilité spatiale, action publique, sous la direction de F. Dureau, financé dans le cadre Programme ANR/AIRD « Les Suds aujourd'hui ») portait sur Bogotá, Santiago du Chili et São Paulo. L'approche comparative s'appuie sur une méthodologie commune aux trois villes ; dans chacune d'elles, une analyse à l'échelle métropolitaine est articulée à des études de cas sur des quartiers illustratifs des mutations en cours (Dureau et al, 2011).

sonnes conjuguent leurs pratiques résidentielles tout au long de leur vie en regard des parcours familiaux, éducatifs et professionnels ; une approche replaçant l'individu dans sa famille et son réseau de relations sociales. Ces deux enquêtes ont suivi une méthodologie très largement commune et ont abouti pour chacune à la collecte de questionnaires auprès d'environ 1000 ménages, répartis dans les zones d'enquête (la plupart d'entre elles sont communes aux deux dates). A ce volet quantitatif, s'articule la collecte d'entretiens approfondis pour un sous-échantillon d'adultes, qui s'attachent à détailler les histoires de vie et certains thèmes particuliers, comme les choix résidentiels et les représentations de l'espace urbain.

Ces deux corpus s'articulent autour d'une méthodologie permettant d'étudier conjointement les changements observés à l'échelle de l'aire métropolitaine et les changements qui s'opèrent à une échelle plus fine sur une dizaine de quartiers illustrant des dynamiques particulières. Les zones d'enquête constituent le nœud de l'analyse. Celle-ci repose ainsi sur des allers-retours entre échelles et entre sources : l'appui de données de recensement permet de replacer précisément les dynamiques que connaissent ou dont témoignent les zones d'enquête au sein des dynamiques métropolitaines ; les données d'enquête permettent d'éclairer finement les processus en cours dans les zones d'enquête à partir des pratiques de mobilité individuelles ; les processus mis en lumière dans les zones d'enquête peuvent, grâce à la mise en contexte et à l'étude des dynamiques récentes de l'ensemble de l'aire métropolitaine, de mieux comprendre les changements en cours dans d'autres quartiers de l'agglomération. Par ailleurs, l'approche comparative du projet METAL permet de mettre en perspective les résultats obtenus avec des phénomènes qui affectent d'autres métropoles latino-américaines, Santiago et Sao Paulo (Dureau et al, 2014-b).

Résultats principaux

Dans cette communication, l'analyse sera centrée sur les apports et les limites que présentent les deux échantillons biographiques dans l'étude de l'évolution des dynamiques urbaines, appréhendées ici comme l'agrégation de trajectoires individuelles (Sanders, 2009). Les résultats sont présentés en trois parties : la première est méthodologique et les deux suivantes présentent des résultats empiriques en se positionnant à deux échelles spatiales différentes.

La première partie consiste en une analyse du recouvrement des échantillons biographiques afin de déterminer précisément en quoi ces deux échantillons peuvent témoigner, à travers la manière dont ils ont été constitués, d'inerties ou de phénomènes récents. Ce recouvrement est étudié du point de vue de la composition sociodémographique des échantillons, des différentes générations qui en font partie et en fonction du contexte dans lesquels se déroulent les évènements biographiques (migrations et mobilités résidentielles intra-métropolitaines). A l'issue de cette analyse, trois méthodes d'exploitation des données biographiques sont proposées pour mettre en évidence différents phénomènes contribuant aux évolutions des parcours des habitants de Bogota : les changements de composition de la population métropolitaine, les changements de comportement des populations liés aux évolutions entre générations successives, les changements « conjoncturels », en relation avec les évolutions des contextes politique, économique, social dans lequel se déroulent les parcours. La combinaison des trois méthodes d'analyse restitue différentes temporalités du changement. Toutes trois sont complémentaires et apportent un éclairage particulier sur l'évolution des parcours.

Dans la deuxième partie, ces méthodes sont appliquées à l'échelle de l'univers d'enquête et présente les principales évolutions des parcours migratoires et résidentiels intra-metropolitains entre 1993 et 2009. Elle

met en évidence la forte inertie observée lorsque l'on considère l'ensemble des parcours migratoires et résidentiels intra-métropolitains à chacune des dates, principalement du fait du faible renouvellement des générations entre les deux dates mais également de la reproduction de comportements entre générations successives. Malgré tout, une complexification des parcours migratoires ainsi qu'une intensification et un raccourcissement des distances des changements de logement au sein de l'aire métropolitaine entre générations successives ont pu être démontrés, tout comme l'effet de phénomènes conjoncturels comme la crise économique de la fin des années 1990. L'analyse met en évidence que les parcours résidentiels intra-métropolitains évoluent selon des temporalités plus courtes que les parcours migratoires : ces temporalités peuvent être en partie associées au fait que la mobilité résidentielle est également plus sensible aux phénomènes conjoncturels tels que les changements de politique publique et les interventions dans l'offre de logements et de transport, les ruptures dans les modes de financement du logement, la crise économique, les rythmes de production du logement, etc.

La troisième partie explore ainsi les effets du changement d'échelle d'analyse à partir de l'étude de deux quartiers voisins enquêtés dans le centre de Bogota, Perseverancia et La Macarena. Les résultats montrent que, même si dans la population enquêtée certaines évolutions des parcours migratoires ou résidentiels peuvent paraître insignifiantes au niveau global, elles peuvent relever de changements plus significatifs à l'échelle de certains groupes sociaux ou de certains espaces. Cet exemple permettra en outre de conclure sur le fait que, si l'analyse des parcours migratoires et résidentiels intra-urbains permet de mieux comprendre les mécanismes et les temporalités des dynamiques urbaines à différentes échelles spatiales, ces parcours sont également constitutifs de choix résidentiels et de manières d'habiter particuliers et sont à ce titre des éléments de différenciation socio-spatiale qui « s'additionnent » aux caractéristiques sociodémographiques des habitants des différents quartiers. Ainsi, les comportements individuels s'associent aux dynamiques urbaines selon une multiplicité d'échelles spatiales et temporelles interconnectées et l'échelle individuelle constitue une échelle d'analyse qui ne peut être négligée dans l'étude plus globale des changements urbains.

Références

Authier J.-Y., Bonvalet C., Lévy J.-P. (dir.) (2010), *Elire domicile. La construction sociale des choix résidentiels*, Presses Universitaires de Lyon, 433 p.

Brun J. (1993), « La mobilité résidentielle et les sciences sociales », *Les Annales de la recherche urbaine*, No. 59-60 : 2-13.

Dupont V., Dureau F. (1994), « Rôle des mobilités circulaires dans les dynamiques urbaines. Illustrations à partir de l'Equateur et de l'Inde », *Revue Tiers Monde*, t. XXXV, n°140 : 801- 829.

Dureau F. (coord.), Contreras Y., Flórez C.-E., Lulle T., Souchaud S., Salazar C. (2014-a), « Les trois contextes métropolitains », in Dureau F., Lulle T., Souchaud S., Contreras Y., *Mobilités et changement urbain : Bogotá, Santiago et São Paulo*, Rennes, PUR, Coll. Espaces et sociétés, en cours d'édition.

Dureau F. (coord.), Contreras Y., Le Roux G., Lulle T., Silva H. M. B., Souchaud S. (2014-b), « Habiter la métropole : mobilités et choix résidentiels », in Dureau F., Lulle T., Souchaud S., Contreras Y., *Mobilités et changement urbain : Bogotá, Santiago et São Paulo*, Rennes, PUR, Coll. Espaces et sociétés, en cours d'édition.

Dureau F., avec la collaboration de Córdoba H., Flórez C.E., Le Roux G., Lulle T. & Miret N. (2011), *Encuestas movilidad espacial Bogotá METAL 2009 : metodología de las encuestas*, Bogotá, Universidad de los Andes, Documento CEDE nro 23-2011, 62 p. + 391 p. annexes.

Dureau F., Flórez C.E., Barbary O., Garcia L., Hoyos M.C. (1994), *La movilidad de las poblaciones y su impacto sobre la dinamica del area metropolitana de Bogota*, Document de trabajo n°2, metologia de la encuesta cuantitativa, Bogotá, ORSTOM-CEDE, 2 vol., 98 p. + 295 p.

Lepetit B., Pumain D. (eds.) (1993), *Temporalités urbaines*, Paris, Anthropos, 471 p.

Lévy J.-P. (1998), « Dynamique du peuplement résidentiel », *Sociétés contemporaines* 29 (1) : 43-72.

Sanders L. (2009), « Du lieu au territoire, de l'événement à l'histoire : modèles et échelles », in Hervé et Laloë , *Modélisation de l'environnement : entre natures et sociétés*, Editions Quæ, Indisciplines : 113-129.

Atelier 8

Morphologies urbaines : simulations et analyses

Pour une approche normative de l'aménagement. Simulation de scénarios de développement résidentiel au Luxembourg

Maxime Frémond[1,2], Cécile Tannier[1], Philippe Gerber[2]

[1] ThéMA UMR 6049-CNRS, Université de Franche-Comté

[2] LISER - Luxembourg Institute of Socio-Economic Research

Mots-clefs - simulation spatiale, croissance résidentielle, aménagement normatif, scénarios, modèles de ville

Contexte et objectif

L'objectif de cette communication est de présenter les résultats obtenus dans le cadre d'un travail de thèse (projet COSMELUX, financé par le Fond National de la Recherche du Luxembourg, 2010-2014) dont l'objectif est de proposer et d'évaluer différents scénarios de croissance résidentielle sur le Grand-Duché du Luxembourg à l'horizon 2030. Les simulations de développement résidentiel ont été réalisées avec l'application MUP-City (Tannier et al., 2012). Les scénarios simulés ont d'abord été évalués au moyen de mesures d'accessibilité spatiale (distance minimale pour atteindre l'aménité la plus proche, nombre d'aménités à une distance donnée, indicateurs de diversité de l'offre en aménités) calculées avec MUP-City. Dans un deuxième temps, les scénarios ont e ?té évalués au moyen d'indicateurs de mobilité quotidienne (nombre moyen de kilomètres parcourus par les individus, nombre de trajets, parts modales) obtenus via la simulation des mobilités quotidiennes individuelles à l'aide de la plateforme de simulation MobiSim (Antoni et al., 2011).

Objectif

Pourtant, malgré ces injonctions institutionnelles dans le champ scolaire et ces avancées de la recherche dans le champ universitaire, les pratiques des enseignants de mise en dialogue entre géographie et arts restent marginales, et réservées à des pratiques innovantes. C'est pourquoi l'objectif de ma recherche est moins de faire l'état des lieux des pratiques scolaires, que de créer les conditions, à l'école, d'une mise en dialogue de l'art et de la géographie. L'hypothèse qui conduit la recherche est que l'approche artistique favorise une appréhension plus complexe de la géographie à l'école, loin du fonctionnement « normal » du cours d'histoire-géographie mis en évidence par les didacticiens de l'histoire et de la géographie, dans lequel le discours est réaliste, le savoir est présenté de manière consensuelle, comme disant la vérité sur le monde, gommant toute notion de point de vue ou de débat (Audigier, 1993, Tutiaux Guillon 2000).

Problématique

Au regard des conséquences néfastes de l'étalement urbain (artificialisation des sols, dépendance automobile, ségrégation socio-spatiale...), de nombreuses réflexions sont menées au sein de la communauté scientifique pour définir ce qu'est une ville durable (Camagni et al., 2002). Entre ville compacte, ville diffuse et ville polycentrique, les différents modèles de ville sont passés au crible de différents critères de durabilité. Dans ce contexte, le modèle de la ville fractale, étudié notamment par l'équipe de Pierre Frankhauser au laboratoire ThéMA de Besançon représente une alternative intéressante (Frankhauser, 1997).

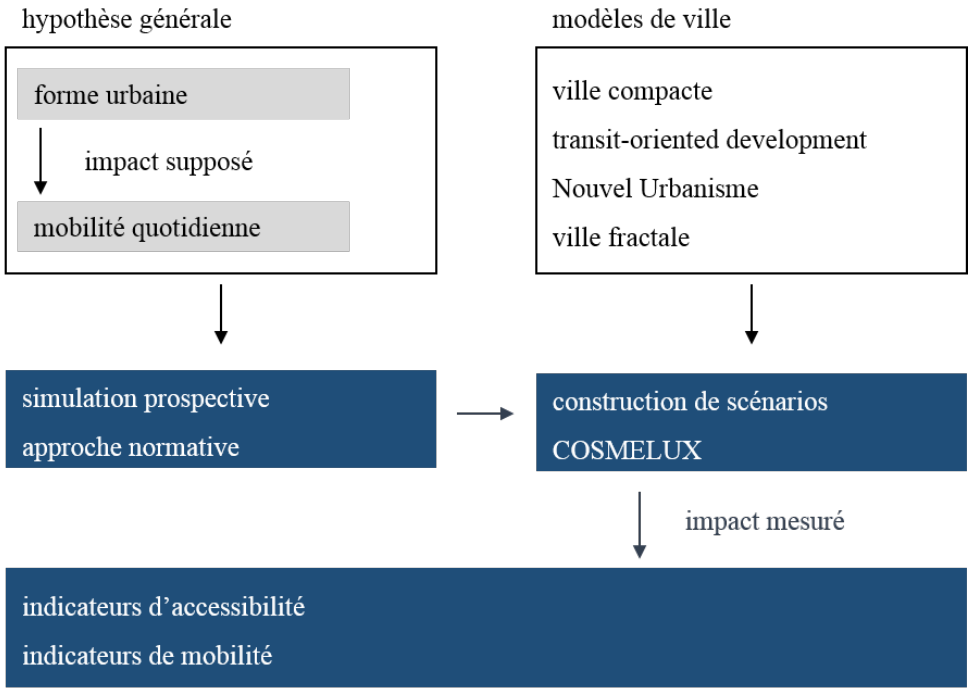


Figure : Démarche générale de la thèse

Sur le plan conceptuel, on peut considérer que le modèle fractal de croissance résidentielle fait partie des nouvelles utopies urbaines, au même titre que le mouvement du Nouvel Urbanisme, de la Smart Growth, ou encore du Transit Oriented Development. Nous en proposons ici une application partielle pour la simulation prospective de la croissance résidentielle, à l'horizon 2030, à l'échelle du Luxembourg Il s'agit d'appliquer, à l'échelle d'un pays, un modèle de croissance résidentielle qui permet de répondre à un triple objectif : localiser la croissance démographique, réduire la dépendance automobile et limiter la consommation foncière. Nous montrerons que l'approche adoptée peut être considérée comme un retour à une approche normative de l'aménagement (Naess, 1977 ; Klosterman, 1978 ; Watson, 2002).

Données et méthode

Huit scénarios de développement résidentiel ont été simulés à une résolution spatiale fine (l'espace est discrétisé en cellules carrées de 20 m. de côté). Le premier scénario est dit de référence et comparable à une politique de laissez-faire au Luxembourg. Le second scénario est appelé Fractal Oriented Development (FOD). Inspiré des travaux de Peter Calthorpe (1993), il vise à faciliter le report modal vers les infrastructures de transports en commun. En outre, la forme urbaine locale simulée est fractale dans l'objectif de faciliter l'accessibilité aux aménités locales (Frankhauser et al., 2010). Un autre scénario, dit de densification, vise à doubler la densité bâtie observée actuellement au Luxembourg, afin de réduire les conséquences spatiales des faibles densités de constructions en vigueur dans le pays. Un quatrième scénario, dit de disponibilité foncière, cantonne le développement résidentiel aux terrains déclarés comme disponibles dans les documents d'aménagement du Grand-Duché. Un cinquième scénario, des 116 communes, autorise le développement résidentiel dans l'ensemble des 116 communes luxembourgeoises (délimitations communales de 2010), ce qui a pour effet d'accentuer le processus d'étalement urbain, encore modéré au Luxembourg. À l'inverse, le sixième scénario est plus radical, la croissance résidentielle simulée étant

localisée dans seulement 23 des 116 communes luxembourgeoises afin de renforcer les centralités existantes, ce scénario est appelé « scénario des 23 communes ». Enfin, deux derniers scénarios sont basés sur des variations de projections démographiques (haute et basse), du scénario de référence, dont ils constituent deux variantes.

En l'absence de consensus théorique sur la construction de scénarios d'aménagement (Handy, 2005), la méthodologie proposée ici se veut claire et reproductible. Elle s'appuie sur des projections démographiques données, une densité bâtie donnée, une modélisation spatialement explicite du développement résidentiel, ainsi que la prise en compte de l'accessibilité aux différentes aménités (commerces et services, aménités vertes et de loisirs, transports en commun) et des restrictions de constructions. Les scénarios ainsi conçus ont vocation à être réalistes, c'est-à-dire qu'ils peuvent être vus comme des futurs plausibles, sinon possibles, de la croissance résidentielle au Luxembourg. A cet effet, la forme localement fractale du développement résidentiel permet de simuler des extensions du tissu urbain qui, morphologiquement, ressemblent au tissu bâti existant.

Les différents scénarios sont comparés au moyen d'indicateurs d'accessibilité spatiale aux différentes aménités et d'indicateurs de mobilité quotidienne

Principaux résultats obtenus

En ce qui concerne les mesures spatiales d'accessibilité, les résultats sont relativement contrastés entre les huit scénarios simulés. Selon les indicateurs d'accessibilité considérés, des variations peuvent être observées dans le classement des scénarios. De manière générale, on constate une amélioration de l'accessibilité entre la situation initiale et les scénarios, quel que soit l'indicateur considéré. En ce qui concerne la distance minimale pour accéder aux commerces et services de fréquentation quotidienne ou hebdomadaire, c'est le scénario de densification qui conduit à une meilleure accessibilité. La distance minimale pour accéder à une aménité verte ou de loisirs de fréquentation quotidienne à partir du domicile est plus faible dans le scénario de la disponibilité foncière. Pour l'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation hebdomadaire ce sont des scénarios moins concentrés spatialement qui génèrent les meilleurs résultats : scénario de référence (laisser-faire) et scénario des 116 communes. Concernant l'évaluation de la distance minimale pour accéder à une aménité verte ou de loisirs de fréquentation mensuelle ou plus rare, celle-ci augmente pour l'ensemble des scénarios par rapport à la situation initiale. Ce résultat intéressant s'explique par la localisation respective des extensions résidentielles simulées et des espaces forestiers luxembourgeois. La distance minimale à la gare ferroviaire la plus proche est nettement minimisée dans le cadre du scénario FOD, construit dans cet objectif, mais aussi dans le cas du scénario des 23 communes. L'accessibilité à un certain nombre de commerces et services de fréquentation quotidienne dans un voisinage de 1000 mètres est améliorée avec les scénarios FOD et de densification. Pour le même indicateur appliqué aux aménités de fréquentation hebdomadaire, ce sont les scénarios de densification et des 23 communes qui offrent les meilleurs résultats. C'est également le scénario des 23 communes qui permet en moyenne d'accéder à davantage d'arrêts de bus à une distance de 1000 mètres du domicile. Dernier exemple de résultats obtenus, l'évaluation de la distance minimale des cellules à chaque type de commerces ou services de fréquentation mensuelle est meilleure dans le cas des scénarios de densification et des 23 communes.

Les calculs des indicateurs de mobilité quotidienne sont encore en cours. Pour limiter les temps de calculs et la préparation des données, seuls les scénarios de référence, le scénario FOD et le scénario des 23 communes seront comparés. Les résultats seront obtenus très prochainement et devraient laisser apparaître des différences entre ces trois scénarios. Selon nos hypothèses, nous espérons constater une dimi-

nution du nombre de kilomètres parcourus et du nombre total de trajets avec les scénarios FOD et des 23 communes par rapport au scénario de référence. Nous attendons également un report modal en faveur des transports en commun pour les trois scénarios comparés à la situation initiale, où l'usage de l'automobile est largement répandu, quel que soit le motif de déplacement.

Références

ANTONI J-P., TANNIER C., VUIDEL G., HIRTZEL J. (2011). MobiSim, - Rapport final PREDIT, Groupe Opérationnel n°6, Recherche 09MTCV34. Rapport technique, Laboratoire ThéMA - CNRS - Université de Franche-Comté, Besançon

CALTHORPE P. (1993). *The next American metropolis : Ecology, community, and the American dream*. Princeton Architectural Press.

CAMAGNI R., GIBELLI M-C., RIGAMONTI P. (2002). Urban mobility and urban form : the social and environmental costs of different patterns of urban expansion, *Ecological Economics*, Volume 40, pp. 199-216.

FRANKHAUSER P. (1997). L'approche fractale. Un outil de réflexion dans l'analyse spatiale des agglomérations urbaines, *Population*, Volume 4, p. 1005-1040.

FRANKHAUSER P., TANNIER C., VUIDEL G., HOUOT H. (2010). Une approche multi-échelle pour le développement résidentiel des nouveaux espaces urbains, in J.-P. Antoni (Ed) *Modéliser la ville. Forme urbaine et politiques de transport*, Economica, Coll. Méthodes et approches, pp. 306-332.

HANDY S. (2005). Critical Assessment of the Literature on the Relationships Among Transportation, Land Use, and Physical Activity, In *TRB Special Report* 282, p. 102.

KLOSTERMAN R. E. (1978). Foundations for Normative Planning. *Journal of the American Institute of Planners*, Volume 44(1), 37–46. doi : 10.1080/01944367808976875

NAESS P. (1994). Normative planning theory and sustainable development. *Scandinavian Housing and Planning Research*, Volume 11, pp. 145–167.

TANNIER C., VUIDEL G., HOUOT H., FRANKHAUSER P. (2012). Spatial accessibility to amenities in fractal and non fractal urban patterns, *Environment and Planning B : Planning and Design*, Volume 39 (5), pp. 801-819.

WATSON V. (2002). The Usefulness of Normative Planning Theories in the Context of Sub-Saharan Africa. *Planning Theory*, Volume 1(1), pp. 27–52

Renouvellement urbain et ville compacte Modélisation et évaluation de la réhabilitation d' « ouvrages lourds » pour une urbanisation plus durable

Clémentine Thierry, Jean-Philippe Antoni

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 CNRS - Université de Franche-Comté

Mots-clefs - Renouvellement urbain, « Ouvrages lourds », Fortifications urbaines, Modèles LUTI, systèmes d'aide à la décision, ville durable.

Contexte

L'étalement urbain est un processus considéré comme un phénomène néfaste pour les agglomérations européennes. Les villes doivent néanmoins composer avec ce phénomène, qu'elles éprouvent au travers de ses conséquences économiques (Carruthers et Ulfarsson, 2003), sociales (Power, 2001 ; Redman et Jones, 2005) et environnementales (Johnson, 2001 ; Bart, 2010).

Plusieurs alternatives à l'étalement urbain émergent sous la forme de schémas de planification engagés (Milward, 2006) ou de projets urbanistiques innovants (éco-quartiers, *Transit oriented development*, etc.). Par ailleurs, l'étude menée par Newman et Kenworthy (1989) qui met en avant le lien entre consommation d'énergie et mobilités quotidiennes a engagé de nombreuses réflexions quant à un retour à une forme urbaine plus compacte et plus dense. Dans ce contexte, le renouvellement urbain (Dantzig et Saaty, 1973) apparaît comme une politique à même de répondre aux problèmes posés par l'étalement urbain d'un point de vue théorique. Le renouvellement urbain favorise, en effet, une meilleure accessibilité aux aménités urbaines et périurbaines (Boussauw et al., 2012). Il permet, par ailleurs, un meilleur usage des transports publics (aux dépens de l'utilisation de véhicules personnel) (Le Clercq et De Vries, 2000) et tend à réduire la ségrégation sociale (Burton, 2002 ; Dave, 2009 ; Ford, 2010). Mais malgré des effets bénéfiques clairement identifiés et mis en avant, le renouvellement urbain continue de faire débat (Banister, 1992 ; Breheny, 1992, 1997 ; Owens, 1992 ; Dempsey et al., 2012).

Au-delà de ces questionnements, le renouvellement urbain pousse à reconsidérer certains espaces urbains jusqu'alors laissés en marge des projets d'aménagement contemporains. C'est le cas, en France par exemple, des espaces industriels en déprise (communément qualifiés de « friches »), des grands ensembles bâtis après-guerre ou encore des fortifications urbaines. Ces lieux ont en commun leur emprise et leurs volumes importants, leur localisation au cœur des agglomérations, ainsi que les enjeux symboliques qui peuvent leur être attachés. Il est possible, d'ailleurs, de considérer ces ensembles de bâtiments comme des « ouvrages lourds » (Thierry et al., 2013) qui, au delà de leurs caractéristiques spatiales et de leurs anciennes fonctions, cristallisent de nouveaux enjeux qui poussent à initier une réflexion autour de leur devenir et de leur intégration aux nouveaux projets urbains (démilitarisation progressive des anciennes structures militaires, dangerosité des anciens sites industriels, inadéquation des grands ensembles locatifs aux demandes sociales actuelles, etc.). L'ensemble de ces constats permet d'envisager une mobilisation de ces espaces et de ces bâtiments dans le cadre de l'aménagement urbain contemporain, et particulièrement dans le cadre d'une démarche de renouvellement urbain (Newton, 2010).

La ville de Besançon abrite un nombre im-

portant d'éléments de fortifications et d'architecture militaire (enceinte bastionnée, casernes, citadelle, etc.). Certains de ces ouvrages ont peu à peu, au fil du temps et de l'évolution des enjeux militaires et défensifs, vu leur fonction initiale tomber en désuétude. Ils apparaissent, de ce fait, comme une opportunité à envisager de manière concrète dans le cadre d'une politique volontariste de renouvellement urbain.

Objectifs

A partir de l'exemple de Besançon, cette communication vise à évaluer les conséquences de la mise en place d'un scénario prospectif de renouvellement urbain à l'échelle de l'agglomération basé sur la réutilisation des anciennes fortifications à l'horizon 2030. Cette évaluation est construite via une comparaison à un scénario de type « Laisser-faire » initié aux mêmes échelles temporelles et spatiales. Dans un contexte où le renouvellement urbain fait débat, il s'agit d'évaluer et de quantifier la pertinence et l'intérêt d'une telle alternative pour une ville fortement marquée par la présence d' « ouvrages lourds ».

Les objectifs généraux de cette communication trouvent ainsi une déclinaison plus concrète : (i) évaluer le potentiel d'urbanisation des zones militaires de l'agglomération bisontine au travers de critères morphologiques et d'accessibilités aux différentes aménités urbaines ; (ii) mettre en place une modélisation prospective permettant d'évaluer les changements engendrés sur la forme urbaine et les pratiques de mobilités quotidiennes et résidentielles par l'ouverture à l'urbanisation de ces espaces (jusqu'alors en marge du développement urbain) ; (iii) analyser les résultats au travers du prisme fourni par les trois sphères du développement durable, afin de mieux comprendre les alternatives concrète permises par un renouvellement urbain dans les « ouvrages lourds ».

Méthodologie

La méthodologie mise en œuvre repose sur deux étapes dépendantes l'une de l'autre :

1. Evaluer le potentiel d'urbanisation des espaces militaires à l'aide du modèle MUP-City. MUP-City est un système d'aide à la décision basé sur l'accessibilité aux aménités locales et sur une approche multi-scalaire (Tannier et al., 2011). L'accessibilité aux aménités locales est calculée à partir de l'occupation du sol actuelle. Un intérêt est alors porté à la structure morphologique de la zone géographique considérée (l'agglomération bisontine dans notre cas), à la trame viaire existante, aux aménités urbaines et à la structuration du réseau de transports publics. L'approche multi-scalaire est mise en œuvre par décomposition fractale, ce qui permet de d'inclure les niveaux d'analyse les plus pertinents. Cette décomposition produit une grille finale dans laquelle chaque cellule (20m) est évaluée par rapport à son « potentiel » à être urbanisée, en particulier dans notre cas, au sein des « ouvrages lourds ».
2. Mettre en place un scénario prospectif de renouvellement urbain compact à l'aide du modèle MobiSim. MobiSim est un modèle multi-agents de type LUTI capable de simuler les mobilités quotidiennes des individus « synthétiques », ainsi que leurs mobilités résidentielles (Antoni et Vuidel, 2010). Dans le cadre du scénario de renouvellement urbain mis en place à Besançon à l'horizon 2030, le paramétrage du modèle prend en compte la nouvelle stratégie d'urbanisation à mettre en place, via la mise en place de contraintes du développement résidentiel spécifiques. Le développement urbain au sein de zones bénéficiant d'une desserte en transport public importante (de type « bus à haut niveau de service ») est ainsi favorisé. Par ailleurs, ce scénario n'autorise le développement résidentiel qu'au sein

d'une tache urbaine très compacte. Au sein de cette zone, les « ouvrages lourds » sont envisagés comme des espaces à favoriser en termes de densification.

Résultats et discussion

L'évaluation MUP-City révèle une bonne évaluation des zones d' « ouvrages lourds » identifiées à l'échelle de l'agglomération bisontine. Ceci signifie que du point de vue de leur accessibilité aux aménités urbaines, les zones militaires qu'abrite la ville sont fortes d'un potentiel important (que laissait envisager leur localisation très centrale au sein de la zone d'étude). Ceci encourage à l'urbanisation de ces zones à même de trouver un intérêt dans le cadre d'un aménagement urbain plus compact sur le plan morphologique, mais également plus « durable ».

Les résultats de la modélisation MobiSim sont, quant à eux, analysés au travers de la mise en place d'indicateurs qui permettent une comparaison à un scénario de type « laisser-faire ». Dans les zones « d'ouvrages lourds » considérées, la distance des mobilités quotidiennes se trouve réduite, de même que la durée des trajets qu'elle engendre. L'usage, par les agents résidant dans ces zones, de transports collectifs ou de types « modes doux » aux dépens de l'automobile individuelle est également un constat important.

L'ensemble de ces observations tend à montrer l'intérêt d'un scénario de renouvellement urbain à Besançon, malgré une continuation de la périurbanisation au nord de la Communauté d'agglomération (CAGB). Ceci tend à prouver les limites du scénario mis en place, très restrictif du point de vue des espaces alloués à l'urbanisation, et pose la question de son acceptabilité sociale.

Références

Antoni J.P., Le Néchet F., Flety Y., C. Thierry, 2013, Compact City : agent-based simulation and sustainability assessment, The example of Besançon in 2030, 18th *European colloquium on theoretical and quantitative geography*, 5-9 september, Dourdan, France.

Antoni J.P., Vuidel G., 2010, MobiSim : un modèle multi-agents et multi-scalaire pour simuler les mobilités urbaines, In : Antoni J.P. (Dir.), *Modéliser la ville. Forme urbaine et politiques de transport*, Economica, Méthodes et approches, pp 50-77.

Banister D., 1992, Energy use, transportation and settlement patterns, In : Breheny M.J., (Dir.), *Sustainable development and urban form*, European Research in Regional Science, 2.

Boussauw K., Neutens T., Wiltox F., 2012, relationship between spatial proximity and travel to work distance : the effect of the Compact City, *Regional Studies*, Vol-46/6, pp-687-706.

Breheny M., 1997, Urban compaction : feasible and acceptable ?, *Cities*, Vol-14, pp 209-217.

Dantzig G., Saaty T., 1973, *Compact City : a Plan for a Livable Urban Environment*, Freeman, San-Francisco.

Dempsey N., Brown C., Bramley G., The key to sustainable urban development in UK cities ?, The influence of density on social sustainability, *Progress in Planning*, Vol-77/3, pp 89-141.

Dave S., 2009, Neighbourhood density and social sustainability in cities of developing countries, *Sustainable development*, Vol-19/3, pp 189-205.

Le Clercq F., De Vries J.P., 2007, Public transport and the compact city, Transportation Research Record, *Journal of the Transportation Record*, Vol-1735/2000, pp 3-9.

Milward H., 2006, Urban containment strategies : A case-study appraisal of plans and policies in Japanese, British, and Canadian

cities, *Land Use Policy*, Vol-23/4, pp 473-485.

Newman P., Kenworthy J., 1989, *Cities and Automobile dependence, An International Sourcebook*, Aldershot, 388 pages.

Newton P., 2010, Beyond Greenfield and Brownfiled : The Challenge of regenerating Australia's Greyfield Suburbs, *Built Environment*, Vol-36/1, pp 81-104.

Tannier C., Thomas I., Vuidel G., Frankhauser P., 2011, A Fractal approach to identifying urban boundaries, *Geographical Analysis*, Vol-43/2, pp 211-237.

Thierry C., 2013, Military historic buildings in cities : an exploration of past and current functions. The example of French fortifications, *18th European colloquium on theoretical and quantitative geography*, 5-9 september, Dourdan, France.

Comparaison des morphologies urbaines et périphériques

François Sémécurbe

Mots-clefs - Consommation, géographie, production de l'espace, consommation de l'espace, centre historique

Introduction

A la différence des objets e ?tudiés par les physiciens (corps célestes, astres), les objets des sciences sociales ont rarement des frontières nettes et indiscutables. La ville appartient à cette catégorie d'objets dont les frontières ne vont pas de soi. La difficulté à circonscrire «la» limite d'une ville provient à la fois de la pluralité des points de vue des observateurs mais également de la complexité de l'objet lui même.

Tout d'abord, les frontières de la ville sont tributaires du regard de l'observateur. En fonction des motivations de l'observateur, les frontières de la ville seront plus ou moins larges. Rien qu'en France, on dénombre pour une même métropole, plusieurs contours correspondant à autant de façons de voir le monde. Pour l'aménagement du territoire, on privilégiera un découpage SCoT, alors que pour une coopération inter-communale de gestion de l'eau par exemple seront utilisés les contours des communautés d'agglomération. Dans l'optique d'une approche fonctionnelle, l'Insee propose un découpage en aires urbaines reposant au préalable sur un découpage morphologique des pôles urbains. Cette difficulté à délimiter les contours de la ville ne réside pas uniquement dans la pluralité des approches mais également dans l'objet lui-même. Si l'on se restreint à une analyse purement morphologique, les frontières des villes restent encore difficiles à définir de façon univoque. Dans (Tannier et al. [2011]), les auteurs proposent une méthode de construction des frontières urbaines adaptative. Dans leur approche, la frontière est une limite permettant d'isoler deux formes de tissus urbains. A l'intérieur de la frontière, le tissu urbain est dense et s'oppose à celui de l'extérieur beaucoup plus relâche. Cette méthode implique que pour qu'il y ait frontière, il faut qu'il existe une différence perceptible entre la périphérie et le centre. Selon ces auteurs, la frontière est en soi un objet de connaissance de la morphologie de la ville. Par ailleurs, il est important de noter que l'algorithme utilisé pour déterminer les frontières de la ville est sensible à la zone d'étude. Cette sensibilité reflète le fait que toutes ressemblances ou dissemblances n'existent dans l'absolu, mais sont structurées par l'étendue de la zone d'étude qui est le support de la comparaison spatiale.

Dans (Thomas et al. [2012]), les chercheurs mettent en évidence la pluralité des formes urbaines au sein d'une ville qui ne saurait être considérée comme une entité homogène même pour ses quartiers centraux. Les quartiers, en fonction de leur histoire sociale et physique héritent de formes spécifiques qui les distinguent les uns des autres. A tel point que les auteurs estiment qu'il y a parfois plus de ressemblances entre quartiers de villes distinctes qu'entre des quartiers d'une même ville ou d'un même pays.

Par ailleurs, dans (Semecurbe and Tannier [2015]) , les auteurs en questionnant l'impact de la péri-urbanité sur les formes de peuplement constatent leur inertie. En particulier, ils remarquent qu'en dépit de toutes les limites sémantiques les termes «openfield» et «bocage» restent encore opérants pour comprendre les formes de peuplement des villes. En particulier, les villes des ter- ritoires traditionnels de «bocages» ont des populations plus dispersées que celles des villes des territoires traditionnels «d'openfields».

Introduction

L'objectif de notre étude est de comparer sur une échantillon de villes, les résultats obtenus grâce à l'application MorphoLim avec une analyse en texture d'orthophotographies. MorphoLim (Tannier et al. [2011]) est un outil développé par le laboratoire ThéMA. A partir d'une analyse du bâti, MorphoLim propose une délimitation de la ville. Son algorithme repose sur la recherche d'un seuil permettant de distinguer deux types de comportements morphologiques associés à l'intérieur et l'extérieur de la ville. Les résultats de morphoLim seront mis en relation avec une analyse multifractale des textures paysagères d'orthophotographies.

L'enjeu de notre recherche est double :

- Dans un premier temps nous souhaitons comparer deux sources d'information décrivant l'organisation spatiale des territoires urbains et périphériques.
- Dans un second temps, nous espérons mieux comprendre les relations existant entre les formes urbaines et les formes agraires des territoires périphériques.

Notre échantillon de villes contiendra des villes suffisamment grandes pour que l'étalement urbain soient aisément repérable. Par ailleurs, afin d'observer l'impact des formes agraires «traditionnelles» sur les formes urbaines, nous nous proposons de choisir des villes appartenant aussi bien aux espaces «traditionnels» de l'openfield qu'a ceux du bocage.

D'un point de vue méthodologique, notre analyse en texture multifractale des orthophotographies reposera sur la méthode Wavelet Multifractal Leader Formalism, WMLF, dont les fondements théoriques sont récents (Lashermes et al. [2005]) et qui à notre connaissance n'a jamais été utilisée de façon systématique en géographie. A cette occasion, nous proposerons un package R permettant de mettre en œuvre simplement cette méthode.

De la géométrie fractale à la géométrie multifractale

En géographie urbaine, la géométrie fractale est un outil efficace pour penser, décrire et classer les formes et les textures urbaines (De Keersmaecker et al. [2004]). Dans le paradigme fractal, les dimensions fractales occupent une place centrale pour comparer des formes urbaines entre elles. Elles ont permis de mettre en évidence une différenciation des formes urbaines entre les centres urbains et leur périphérie dans les villes européennes. Les centres ont en général une dimension fractale plus importante que leur périphérie ce qui reflète une occupation de l'espace plus importante au centre du tissu bâti qu'en périphérie.

La qualité heuristique des dimensions fractales des tissus bâtis est incontestable, néanmoins leur utilisation n'épuise pas toutes les propriétés de l'espace urbain. Par construction, les dimensions fractales sont indifférentes à la nature et aux formes des objets qui composent les lacunarités des espaces bâtis. Or un certain nombre de faits nous laissent penser que la ville est contrainte par son environnement (Semecurbe and Tannier [2015]). Dans notre approche, l'environnement contient à la fois les éléments de la géographie naturelle tels que les massifs forestiers, massifs montagneux mais également les utilisations agricoles de l'espace.

Afin de comprendre le rôle de la périphérie dans la construction des formes urbaines, nous souhaitons appliquer des méthodes comparables aux dimensions fractales aux objets de l'environnement pour obtenir des indicateurs de formes des textures non urbaines. L'analyse multifractale répond à notre besoin. La géométrie multifractale permet d'étendre l'étude multi-résolution de la géométrie fractale à des sources d'informations ayant des attributs spatiaux aux valeurs continues et occupant l'intégralité de l'espace. Des objets ayant ces propriétés sont par exemple des photographies aériennes ou des données carroyées. Dans les deux cas, l'espace est décomposé en

une partition de cellules (pixels) qui le recouvrent entièrement et dont les attributs ont des valeurs continues. Par exemple, pour une donnée de population carroyée la valeur pour une cellule peut aller de 0 à plusieurs milliers de personnes.

Grâce à l'emploi de la géométrie multifractale on peut étudier la régularité et l'occupation de l'espace d'objets plus complexes que des couches de bâti. La contrepartie de cette démarche réside dans le fait que l'on ne maitrise pas intégralement la nature des objets que l'on étudie. Par exemple, deux cellules carroyées peuvent avoir la même densité de population alors que l'une est composée d'une forte concentration de maisons individuelles et l'autre d'un unique immeuble de population. Dans notre esprit, cette méthode n'est pas supe ?rieure aux précédentes mais complémentaire. La comparaison entre la forme fractale du bâti et l'analyse multifractale de l'environnement est d'ailleurs un des objectifs de cette étude.

Les études géographiques utilisant l'analyse multifractale ont recours principalement à la mé- thode dite de «Box-counting» (Appleby [1996]). Cette méthode consiste à recouvrir le territoire que l'on souhaite étudier par des grilles de carreaux de dimension δ. Chaque carreau de la grille synthétise l'information contenue dans son périmètre. En agrégeant l'information de chaque carreau pour une résolution δ, on obtient une fonction d'échelle de résolution δ. L'étude des variations de cette fonction d'échelle pour une plage d'échelle permet de déduire les indicateurs multifractals associés aux territoires.

En pratique, l'utilisation des «box-counting» souffre de plusieurs défauts qui ne permettent pas d'obtenir l'ensemble des indicateurs multifractals d'une répartition géographique. En traitement de l'image, on préfère utiliser des ondelettes pour estimer les indicateurs multifractals. Une analyse en ondelettes est une extension de l'analyse par boite. Comme pour l'analyse par boite, les ondelettes décomposent la répartition spatiale en fonction de l'échelle et de la position. Mais alors que la méthode des boites produit une décomposition fortement redondante entre les échelles d'observation une décomposition en ondelettes associe pour une résolution donnée une information distincte de celle apportée par les autres échelles. En théorie, la contrepartie de cette amélioration du positionnement scalaire de l'information se situe dans le fait qu'une décomposition en ondelettes n'est pas unique et est tributaire du choix de l'ondelette. Néanmoins, en pratique les mathématiciens ont démontré que dans le cadre de l'analyse multifractale à partir du moment ou l'on utilise des ondelettes avec de bonnes propriétés le choix de l'ondelette n'est pas crucial (Wendt et al. [2008]).

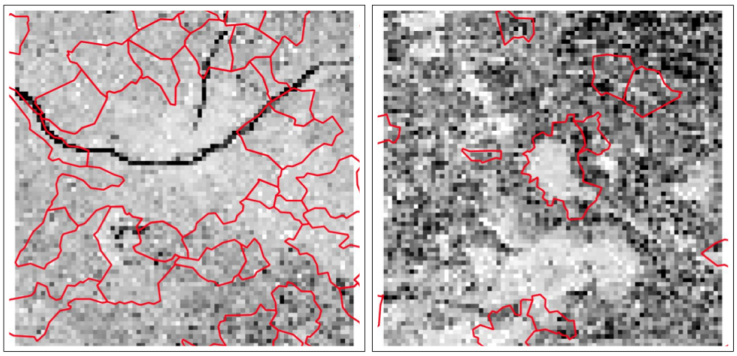
Résultats attendus

Nous présentons dans cette partie, un exemple de premier résultat. Nous avons décomposé les régions nantaise et rénoise en unités carrées de 640m de côté. Pour chaque unité, nous effectuons une analyse multifractale de l'image d'ortophotographie contenue dans l'unité. Cette analyse synthétise les caractéristiques multifractales sous la forme de deux indicateurs, le c_1 et le c_2 que nous représentons sur les figures 1 et 2 centrées sur les centres urbains des deux agglomérations (chaque image représente un territoire de 50km de côté).

Le c1 caractérise l'irrégularité globale d'une image, il est par construction toujours supérieur à 0. Plus le c1 est proche 0 est plus l'image est irrégulière. D'une façon imagée, on peut se présenter ce coefficient comme un indicateur de la rugosité de l'image. Sur la figure 1, les valeurs des c1 sont représentées par un dégradé de gris. Un pixel foncé est associé à un c1 proche de 0 et réve ?le une forte irrégularité. Au contraire, les valeurs élevées de c_1 sont symbolisées par des nuances claires.

Les centres urbains sont associés à des petites valeurs de c_1 et se distinguent de leurs périphéries qui ont des valeurs de c_1 plus élevées. Pour l'image correspondant au territoire de Reims, en dessous de la «tache

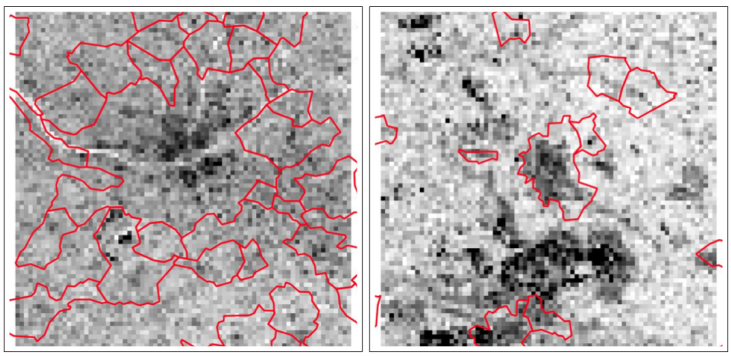
foncée» contenue dans l'unité urbaine de Reims, on distingue une vaste zone très sombre. Cette zone ne reflète pas un territoire urbain mais une forêt dont l'analyse multifractale produit des caractéristiques comparables à ceux de territoires bâtis. La comparaison entre l'image nantaise et rénoise révèle une différence d'intensité des c_1 très forte entre les deux territoires. Le territoire nantais se caractérise par une agriculture de type «bocage» qui induit des c_1 très faibles. Au contraire, l'agriculture «openfield» du territoire rénois engendre des textures plus régulières qui induisent des c_1 plus élevés.



(a) Nantes (b) Reims

FIGURE 1 – Représentation des c_1 (BD ORTHO 5m - IGN), en rouge le contour des unités urbaines

Le c_2 représenté sur la figure 2 caractérise le caractère multifractal d'une image. Par construc- tion, le c_2 est toujours négatif. Plus sa valeur est petite et plus le caractère multifractal est prononcé. Au contraire, un c_2 nul indique un comportement monofractal. Sur la figure 2, les pixels associés à des valeurs de c_2 petites sont figurés par des pixels foncés. Les pixels monofractals sont représentés par des nuances claires. Les centres urbains ont un comportement multifractal moins accentué que celui de leur périphérie. On retrouve pour le territoire rénois, l'artefact associé à la forêt. La distinction entre l'agriculture d'«openfield» et de «bocage» est très nette entre les deux images, les structures d'«openfield» se traduisent par des caractéristiques multifractales prononcées que l'on ne retrouve pas pour les structures «bocagères».



(a) Nantes (b) Reims

FIGURE 2 – Représentation des c_2 (BD ORTHO 5m - IGN), en rouge le contour des unités urbaines

Références

Appleby, S. (1996). Multifractal characterization of the distribution pattern of the human population. *Geographical Analysis*, 28(2) :147–160.

De Keersmaecker, M.-L., Frankhauser, P., and Thomas, I. (2004). Dimensions fractales et réalités périurbaines. l'exemple du sud de Bruxelles. *L'Espace géographique*, (3) :219–240.

Lashermes, B., Jaffard, S., and Abry, P. (2005). Wavelet leader based multifractal analysis. In *Acoustics, Speech, and Signal Processing* 2005. Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference on, volume 4, pages iv/161–iv/164 Vol. 4.

Semecurbe, F. and Tannier, C. (2015). A multifractal analysis of the spatial distribution of human population in France : exploring the balance between long-term rural inheritance and recent urban changes. Submitted to *Geographical Analysis* 2015-01-12.

Tannier, C., Thomas, I., Vuidel, G., and Frankhauser, P. (2011). A fractal approach to identifying urban boundaries. *Geographical Analysis*, 43(2) :211–227.

Thomas, I., Frankhauser, P., and Badariotti, D. (2012). Comparing the fractality of european urban neighbourhoods : do national contexts matter ? *Journal of geographical systems*, 14(2) :189–208.

Wendt, H., Roux, S. G., Jaffard, S., and Abry, P. (2008). Contributions of wavelet leaders and bootstrap to multifractal analysis : Images, estimation performance, dependence structure and vanishing moments. confidence intervals and hypothesis tests., ph. d. thesis, ecole normale supérieure de.

Atelier 9

Observation, acquisition et gestion de la donnée

Rendre visible l'état du patrimoine institutionnel de données géographiques. Prototypage d'un observatoire des 65 Infrastructures de Données Géographiques (IDG) françaises.

Matthieu Noucher

UMR 5185 ADESS

matthieu.noucher@cnrs.fr

Mots-clefs - gouvernance informationnelle ; infrastructure de données géographiques ; métadonnées ; observatoire.

les Infrastructures de Données Géographiques comme nouvel objet de recherche

Le besoin exprimé au niveau international de faciliter l'accès, l'utilisation et le partage des données géographiques a conduit depuis les années 1990, au développement d'Infrastructures de Données Géographiques (IDG) (Crompvoets et al., 2004). Ces plateformes rassemblent les données, les réseaux informatiques, les normes et standards, les accords organisationnels et les ressources humaines nécessaires pour faciliter et coordonner le partage, l'accès et la gestion des données géographiques (Rajabifard et al., 2002). Elles sont mises en œuvre à différents niveaux organisationnels (Masser, 2010) et la coopération entre l'ensemble des producteurs et des utilisateurs de données est indispensable (Masser, 2005 ; Nedovic-Budic et al., 2011 ; V andenbroucke, 2011) pour atteindre leurs objectifs de développement économique, de stabilité sociale, de bonne gouvernance et de gestion durable de l'environnement (Williamson et al., 2003 ; Rodriguez-Pabon, 2005 ; Masser, 2010). En Europe, la directive 2007/2/CE INSPIRE [1] vise explicitement à appuyer la politique environnementale par une Infrastructure européenne de Données Géographiques qui repose sur les IDG des Etats membres. En France, l'Infrastructure Nationale de Données Géographiques (INDG) représentée par le géoportail/géocatalogue [2] est complétée par des infrastructures régionales, comme PIGMA [3] en Aquitaine, qui constituent des maillons essentiels dans la production et la diffusion d'informations publiques. D'un point de vue technique, les IDG peuvent être assimilées à des systèmes d'information bâtis autour d'une architecture orientée services dont la composante Web est essentielle. Leur mise en réseau, du fait de l'interopérabilité et de la normalisation des données, facilite la circulation de contenus grâce, par exemple, au moissonnage [4] de catalogues émanant de producteurs indépendants.

vers un prototype d'observatoire des Infrastructures de Données Géographiques

L'objectif du projet de recherche « GEOBS : *les Infrastructures de Données Géographiques dans la gouvernance informationnelle de l'environnement* » (2015-2017) est alors d'analyser le contenu de ces plateformes pour comprendre les logiques actuelles de formalisation et de diffusion des savoirs géographiques institutionnels. Notre hypothèse est que les IDG ne doivent pas uniquement être considérées comme un support à la recherche d'in-

1. `http://inspire.jrc.ec.europa.eu/`
2. `http://www.geoportail.gouv.fr/` et `http://www.geocatalogue.fr/`
3. `http://www.pigma.org`
4. `http://www.geosource.fr/docs/admin/io/harvesting/index.html`.

formation (i.e. un simple moteur de recherche) mais comme un véritable objet de recherche, afin de mieux appréhender la façon dont s'opère aujourd'hui la gouvernance informationnelle des territoires (Feyt et Noucher, 2014). Il s'agit alors de dresser un panorama des ressources institutionnelles qui sont disponibles et diffusées.

Pour mener à bien ces objectifs de recherche, le projet GEOBS vise à concevoir et implémenter un prototype d'observatoire des flux d'information géographique qui transitent par les 65 Infrastructures de Données Géographiques françaises (selon le recensement établi par l'AFIGEO en juin 2014). Fondé sur l'explicitation de plusieurs indicateurs de contenus et d'usages, ce prototype d'observatoire propose sous la forme d'une application web des géovisualisations dynamiques d'indicateurs dont l'objectif est de rendre visible l'état actuel du patrimoine institutionnel français de données géographiques.

Corpus de données, chaîne de traitements et résultats intermédiaires

Une chaîne de traitement pour l'extraction automatisée des métadonnées et leur restructuration dans une base de données a été développée afin de permettre l'analyse spatio- temporelle des infrastructures de données géographiques (Noucher et Gautreau, 2014). L'extraction des fichiers XML de métadonnées est opérée à partir de scripts en Python. On remarque d'emblée une très forte disparité dans le volume des catalogues : à titre d'exemples, le géocatalogue national propose 48809 fiches de métadonnées, PIGMA diffuse plus de 3100 métadonnées sur la région Aquitaine, la plateforme IGEOCOM40 compte 41 fiches de métadonnées sur les Landes (inventaire établi en décembre 2014) [5].

Il est cependant nécessaire de rester prudent sur les conclusions de tels écarts : d'une part, ces plateformes sont récentes et encore très largement en phase de montée en charge ; d'autre part, le volume de métadonnées dépend à la fois de la distribution de la donnée et de la granularité de la documentation. Ainsi, la base de données topographiques de l'IGN en France (BD TOPO®) fait l'objet de plus de 180 fiches de métadonnées suivant des logiques de découpages à la fois administratif et thématique encore approximatives (le jeu de données est parfois documenté via une fiche de métadonnées, parfois documenté thème par thème soit huit fiches de métadonnées).

L'analyse des métadonnées ne peut donc se contenter d'un comptage des fiches pour essayer de comprendre les logiques informationnelles des territoires. Les contenus des champs de métadonnées apportent alors plus des précisions. Leur interrogation (par des requêtes xQuery sur les balises XML) permet de traiter en particulier de la couverture temporelle (quand ?), thématique (quoi ?), organisationnelle (qui ?) et géographique (où ?) des données. A titre d'exemple, l'analyse de l'emprise géographique des données s'opère par l'extraction des 4 coordonnées des rectangles d'emprise (un même jeu de données peut posséder plusieurs emprises si la couverture est discontinue) réalisée à partir de la récupération des balises XML correspondantes aux emprises (<EX-GeographicBoundingBox>) en format CSV pour générer ensuite des données en format GeoJSON. Un traitement dans PostGIS/QGIS, permet enfin, de produire une carte des densités de données géographiques et de faire apparaître des dynamiques spatiales dans la constitution du patrimoine institutionnel national et local de données géographiques.

Conclusion

L'analyse des résultats, en particulier les limites de la comparaison des IDG entre elles permettent de mettre en exergue les interprétations différenciées des normes. Ainsi, même si toutes les IDG se réfèrent à la directive INSPIRE et à la norme ISO19915

5. Une analyse du géocatalogue hélvétique (`www.geocat.ch`) pourrait également permettre d'apporter quelques éléments de comparaison avec le pays hôte de cette 12 édition de ThéoQuant.

(métadonnées), les géocatalogues sont encore en voie de rationalisation et d'harmonisation et leur analyse comparée soulève d'intéressants enjeux méthodologiques.

Le prototype d'observatoire qui sera présenté permet de rendre visible un patrimoine institutionnel de données géographiques jusque là morcelés et constitue ainsi un support privilégié pour approcher les questions de gouvernance informationnelle des territoires. Cette *géographie de l'information géographique* s'inscrit dans le courant de la cartographie et des SIG critiques (critical GIScience studies) (Schuurman, 2009) en cherchant à déconstruire ces infrastructures institutionnelles pour les analyser comme des dispositifs socio-techniques de mise en ordre du monde (Noucher, 2013). Elle révèle des répartitions hétérogènes de l'information et des discontinuités spatiales qui ne sont pas le seul fait de disparité démographique. In fine, travailler ainsi la visibilisation (et par extension l'invisibilisation) des représentations cartographiques institutionnelles à travers les IDG c'est tenter de comprendre comment les bases de données géographiques institutionnelles ordonnent le rapport des sociétés à l'espace et aux territoires.

Références

Chignard S. (2012). *Open data. Comprendre l'ouverture des données publiques*, Edition FYP.

Crompvoets J., Bregt A., Rajabifard A., Williamson I. (2004). Assessing the world wide developments of national spatial data clearinghouses. *IJGIS*, 18, 665-689.

Feyt G. et Noucher M. (2014). La gouvernance informationnelle, outil et enjeu stratégiques des recompositions territoriales : vers l'émergence de nouveaux référentiels géographiques ? 2ème colloque du GIS CIST *"Fronts et frontières des sciences du territoire"*, Mars 2014, Paris, France. pp.191-196

Nedovic-Budic Z., Crompvoets J., Georgiadou Y. (2011). *Spatial Data Infrastructures in Context : North and South*, CRC Press, Boca Raton.

Noucher M. et Gautreau P. (2014). Faire autorité sur le web. Analyse des stratégies de mise en visibilité et de contrôle de l'information géographique par les institutions publiques en Amérique Latine. SAGEO'14, Grenoble.

Noucher M. (2013). Infrastructure de données géographiques et flux d'information environnementale : de l'outil à l'objet de recherche. *Netcom – Networks and communication studies*, 27 (1-2), 120-147.

Masser I. (2005). *GIS worlds : creating spatial data infrastructures*, ESRI press, Redlands. ? ? Masser I. (2010). *Building European spatial data infrastructures*, ESRI Press, Redlands.

Rajabifard A., Feeney M.-E.F., Williamson I.P. et Masser I. (2003). Chapter 6, National SDI Initiatives, in Williamson I, Rajabifard A., Feeney M.-E.F. (eds). *Development of Spatial Data Infrastructures : from Concept to Reality*, London : Taylor & Francis, pp. 95-109.

Rodriguez-Pabon O. (2005). Cadre théorique pour l'évaluation des infrastructures d'information géospatiale, Thèse de doctorat de l'Université Laval, Québec.

Schuurman N. (2009). Critical GIScience in Canada in the new millennium. *The Canadian Geographer*, 53/2, 139–144.

Vandenbroucke D. (2011). *INSPIRE & NSDI State of Play : D3.2 - Detailed survey on use and usability of INSPIRE & NSDI*, `http://inspire.jrc.ec.europa.eu/reports/stateofplay2011/INSPIRENSDISoP-D32-ResultDetailedSurveyYear2-v3.1.pdf`

Williamson I. P., Rajabifard A., Feeney, M-E. (2003). *Developing spatial data infrastructures : from concept to reality*, CRC Press, Boca Raton.

Le territoire pris au mot : l'observation territoriale au filtre de la presse

Silvia Flaminio[1], **Yves-François Le Lay**[1], **Hervé Piégay**[2]

[1] UMR 5600 (Environnement, Ville, Société), Université de Lyon, ENS de Lyon

[2] UMR 5600 (Environnement, Ville, Société), Université de Lyon, ENS de Lyon, CNRS

Mots-clefs - Analyse des données textuelles, observation sociale, presse quotidienne régionale, rivière d'Ain

Contexte et objectifs de l'étude. Construire un observatoire social de la rivière d'Ain

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche interdisciplinaire porté par la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR). Cette dernière, créée en 2001, fédère 21 établissements de recherche autour de la question de l'interaction entre les milieux fluviaux et les sociétés et vise à apporter des éléments d'aide à la décision publique et à la gestion du fleuve Rhône et de ses affluents. Il s'agit d'un « dispositif scientifique d'observation tourné vers les acteurs du territoire » et qui propose en particulier une « observation sociale des territoires » (site de la ZABR, 2014). Depuis 2008, en partenariat avec EDF et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, la ZABR a organisé une réflexion sur la rivière d'Ain, affluent de rive droite du Rhône. C'est en son sein que s'est développé, à partir de 2012, un programme de recherche qui vise à mieux comprendre les dynamiques – tant hydromorphologiques que sociales – de la rivière d'Ain à l'échelle du corridor fluvial. Le volet social, intitulé « Habiter la rivière d'Ain », a pour objectif de favoriser une gouvernance de l'eau en évaluant les variations spatiales mais aussi temporelles des enjeux sociaux et environnementaux liés à la rivière d'Ain, et en cernant la pluralité des acteurs de la rivière d'Ain à laquelle répond une pluralité d'usages et de représentations de la rivière.

Mettre en place une gouvernance de l'eau le long de la rivière d'Ain ne se fait pas sans peine. Longue de 195 km, cette rivière traverse les plateaux karstiques du Jura, puis serpente dans la plaine alluviale de la basse vallée de l'Ain, avant de se jeter dans le Rhône à Anthon. Administrativement, son territoire est divisé entre deux régions (Rhône-Alpes et Franche-Comté) et trois départements (l'Ain et le Jura et dans une moindre mesure l'Isère au confluent Rhône-Ain). Sa gestion est donc partagée entre deux Directions régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), deux Directions départementales des territoires (DDT) et deux Conseils généraux. De plus, depuis 2003, les communes de la basse vallée de l'Ain se sont regroupées au sein d'un syndicat de rivière et se sont dotées d'un Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE). De surcroît, la rivière d'Ain est caractérisée par une pluralité d'usages. Surnommée « la belle rivière » dès la fin du XIXe siècle, elle est encore aujourd'hui très prisée par les pêcheurs sportifs et accueille une multiplicité d'activités récréatives. Elle est aussi marquée par des usages productifs (agriculture et hydroélectricité). Cinq grands barrages hydroélectriques, édifiés entre 1930 et 1970 et concédés à EDF, ponctuent le cours de la rivière et cristallisent régulièrement des tensions entre acteurs de l'amont et de l'aval.

Matériel et méthode. De la presse à l'analyse des données textuelles : bâtir un corpus pour observer un territoire

La presse est un matériau singulier qui présente un certain nombre de biais (Comby et al., 2012), mais elle permet de reconstruire des événements qui touchent un territoire (Gregory et Williams, 1981). Elle rassemble des informations, expose des discours, concentre des représentations. Ainsi, telle une agora (Le Lay et Honegger, 2009), elle lie les différents acteurs du territoire et leur donne voix, remplissant le rôle d'une instance démocratique. La presse contribue aussi à véhiculer et à diffuser des représentations, valeurs ou même idéologies, et prend parfois parti en définissant un ordre du jour pour les pouvoirs publics (Comby et al., 2014). Toutefois, elle établit une hiérarchie dans l'information digne d'être médiatisée (Waitt, 1995) et contribue ainsi à créer des représentations, à produire des idéologies (Burgess, 1990). Ainsi, afin de contribuer à l'observation sociale de la rivière d'Ain, d'explorer la pluralité des « territoires de l'eau » (Ghiotti, 2007), les variations temporelles dans les usages et les représentations de la rivière d'Ain, et d'étudier le jeu d'acteurs, un corpus d'articles de presses a été constitué.

Le choix du journal s'est porté sur un quotidien régional, le Progrès de Lyon. Il s'agit en effet du journal le plus diffusé et le plus lu le long de la rivière d'Ain. Il compte plus de 120 000 lecteurs dans le département de l'Ain et plus de 88 000 dans celui du Jura. Le recueil des articles s'est appuyé sur la base de données Europresse. Des requêtes par mots-clefs permettent de retrouver des articles portant sur des thèmes précis. La requête « rivière » et « Ain » a donné lieu à 12 214 résultats pour une période allant de 1997 – date du début des pourparlers sur le SAGE Basse Vallée de l'Ain – à 2013. Suite à un premier survol des titres des articles, environ 4 000 articles ont été exportés depuis la base de données au format « *.html ». Puis tous les articles ont été lus afin d'exclure du corpus ceux dont la thématique était hors sujet et de renseigner quelques métadonnées (notamment le secteur de la rivière d'Ain évoqué dans l'article).

Le corpus de fichiers « *.html » a été importé dans la plateforme textométrique TXM (Heiden et al., 2010). Lors de l'import des fichiers, quelques doublons ont été supprimés, si bien que le corpus a été réduit à 3843 articles au total (soit 1 348 741 mots). Par la suite, le corpus a été importé dans le logiciel libre Iramuteq (Ratinaud, 2009).

TXM et Iramuteq sont deux logiciels open-source qui proposent des outils d'analyses des données textuelles (Lebart, et al., 1998) dans une perspective « textométrique ». La textométrie s'est développée en France à partir des années 1980 afin d'analyser des corpus de grande taille. Si elle facilite l'analyse quantitative d'un corpus – par le biais de calculs tels que les spécificités (Lafon, 1980) ou de cooccurrences –, elle propose aussi « des moyens de parcours et d'interprétation qualitatifs » (Pincemin, 2011, p. 260). Les deux logiciels proposent certaines fonctionnalités proches : l'analyse factorielle des correspondances du corpus à partir d'une métadonnée ou la confrontation du vocabulaire de différentes parties du corpus par le biais d'un calcul de spécificités. Mais ils présentent aussi de nombreuses différences. Alors que TXM permet de rechercher dans un corpus des termes précis (ou un ensemble de termes), de les remettre en contexte ou encore d'observer leur évolution dans le corpus, Iramuteq propose notamment des arborescences de cooccurrences (graphiques de similitude) et une classification descendante hiérarchique du corpus selon la méthode dite Reinert (Reinert, 1993). Cette dernière consiste à diviser le corpus en « unité[s] de contexte élémentaire » (u.c.e.) qui correspondent à peu près à une clause ou à une phrase, puis les regroupe en un petit nombre de « mondes lexicaux » ou classes. Il est ensuite possible de voir quels sont les mots ou expressions les plus fréquents au sein de chaque classe. La méthode Reinert limite les interventions de l'utilisateur ; les résultats ne sont donc pas liés à ses choix. Ces fonctionnalités ont

été explorées afin de distinguer les différents discours relayés par la presse et leurs évolutions spatio-temporelles. Des requêtes ont aussi été réalisées pour identifier les jeux d'acteurs et les conflits d'usages médiatisés par le *Progrès de Lyon*.

Quelques résultats

Identifier les principaux discours sur la rivière d'Ain

La classification réalisée avec Iramuteq distingue différents discours ou « mondes lexicaux » (Reinert, 1993) au sein du corpus d'articles du *Progrès de Lyon*. Cette méthode a permis de regrouper les segments de texte en cinq classes et en deux grands registres lexicaux (Figure 1). Le lexique de la classe 2 (la plus importante : 26,4% des u.c.e.) rappelle les problèmes qui peuvent toucher la rivière d'Ain : la presse fait état de son « niveau », des « risques » qu'elle représente (« crue ») et auxquels elle est soumise (« sécheresse », « pollution »). La classe 1 (19,1%) se rapporte à l'aménagement et à la gestion de la rivière. Beaucoup d'acteurs du territoire et d'institutions sont mentionnés : « conseil », « commission », « maire ». La classe 5 (15,8%) porte davantage sur la richesse piscicole de la rivière – des espèces de poisson et leurs carctéristiques font partie du lexique de cette classe – et sur la pêche sportive. Le registre lexical de ces trois classes évoque avant tout la vie de la rivière – son état actuel ou projeté par les acteurs du territoire, un monde de l'eau en quelque sorte. Le lexique de la classe 4 (21,5%) correspond aux diverses festivités et animations qui prennent place autour de la rivière ou des lacs de retenue. Enfin, la classe 3 (17,2%) laisse entrevoir les loisirs, liés à l'eau en général mais avant tout aux lacs de retenue : la toponymie se rapporte en effet aux plans d'eau de Vouglans – « Bellecin », « Vouglans », « Surchauffant », « Pyle », « Meix » – et d'Allement – « Chambod », « Merpuis ». Ces deux classes reflètent ainsi la médiatisation des activités liées à la valorisation touristique, récréative, voire patrimoniale, de la rivière d'Ain et des lacs de retenue.

Contrastes spatiaux dans la médiatisation de la rivière d'Ain

Iramuteq comme TXM permettent de réaliser des analyses factorielles des correspondances (AFC) en fonction des variables et des modalités spécifiées par l'utilisateur. Toutefois, pour les corpus de grande taille, il est impossible, pour des questions de lisibilité, de projeter tous les mots dans le repère orthonormé. Dans Iramuteq, l'AFC est couplée avec un calcul de spécificités (Lafon, 1980). Ce dernier est basé sur un modèle statistique qui détermine si un terme est surreprésenté dans une partie du corpus. Les spécificités offrent des éléments d'interprétation pour expliquer les contrastes mis en exergue par l'AFC. Dans TXM, des modules complémentaires sont en cours de développement afin de projeter sur les cartes factorielles une sélection des mots les plus spécifiques à chaque partie du corpus (Figure 2). La Figure 2 souligne des contrastes discursifs entre l'amont et l'aval de la rivière mais aussi entre les articles centrés sur les eaux stagnantes du lac de Vouglans et ceux portant sur les eaux courantes (l'aval et l'amont de la rivière).

La textométrie pour explorer le jeu d'acteurs ?

Le logiciel TXM permet, par le biais de requêtes – telles que des concordances et des cooccurrences – d'explorer le lexique associé à des acteurs du territoire. Ainsi, les cooccurrents les plus fréquents d'EDF sont « barrage », « hydraulique », « production », « partenariat », « exploitation », « convention ». Le discours médiatique tenu sur EDF est double : la facette entrepreneuriale d'EDF est présentée mais la presse montre aussi comment le géant de l'électricité cherche à s'inscrire dans une gouvernance locale de l'eau. Par ailleurs, les graphiques dits de progression révèlent l'évolution des emplois d'un ou de plusieurs

termes du corpus : le lexique associé à acteur peut être exploré au fil du temps. Ainsi, la figure 3 montre non seulement qu'une place de plus en plus importante est accordée à EDF, dans les journaux, à partir de 2003 et plus particulièrement à partir de 2007, mais aussi qu'après 2006 EDF est moins présentée comme une entreprise hydroélectrique et davantage comme un « partenaire ».

Conclusion

Le recours à la presse quotidienne régionale contribue à l'étude des représentations d'un territoire et, dans ce cas, à l'identification des ruptures spatiales entre l'amont et l'aval de la rivière d'Ain mais aussi entre la rivière et le lac de Vouglans. Ainsi, elle s'inscrit dans une démarche d'observation sociale des territoires. L'analyse textométrique permet d'explorer, mais aussi de donner à voir un corpus de très grande taille dont il est difficile de rendre compte et pour lequel une analyse de contenu est délicate à mettre en place

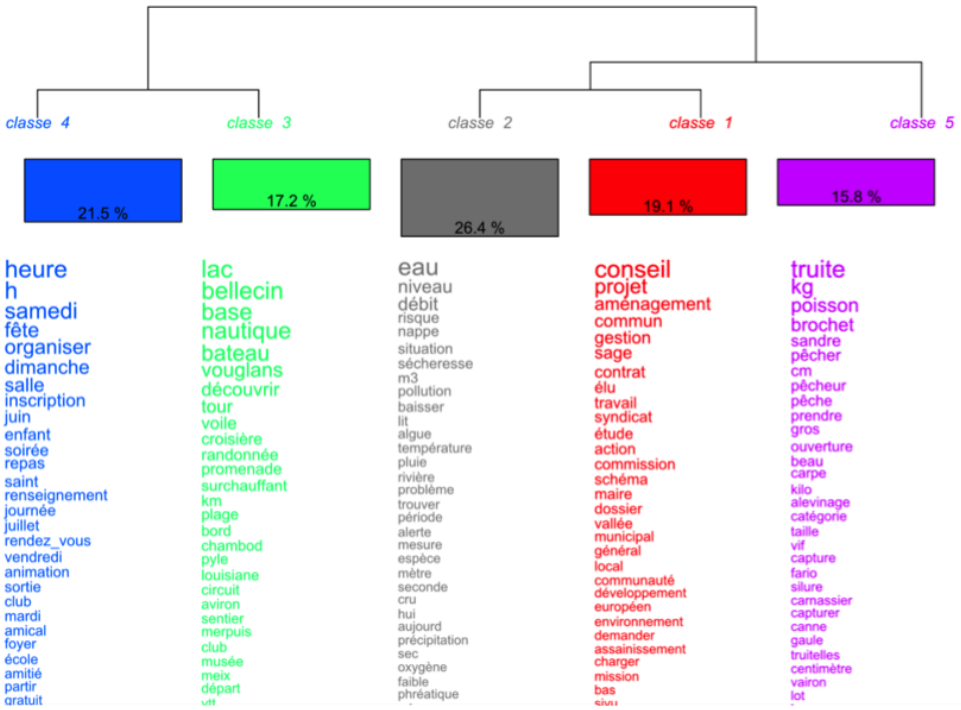


FIGURE 1 – Dendrogramme issu de la classification descendante hiérarchique (méthode dite Reinert) réalisée sur le corpus textuel

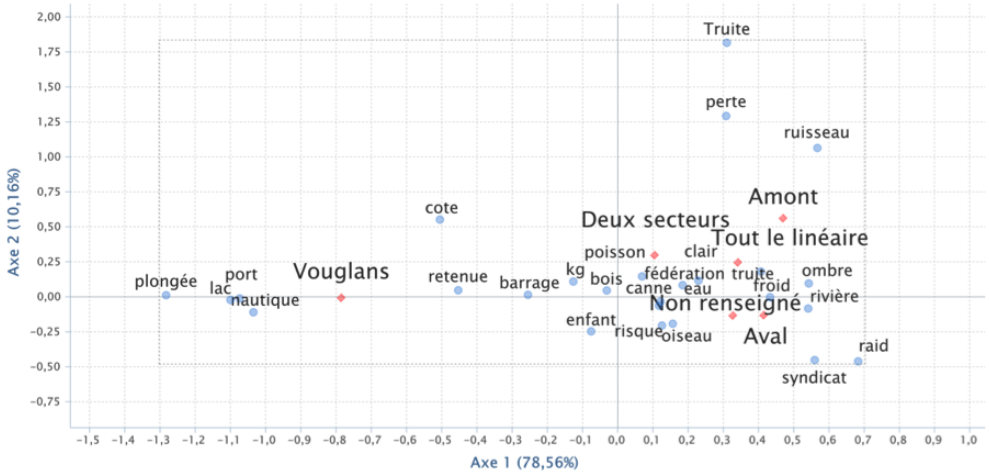


FIGURE 2 – La composante spatiale des contrastes discursifs (AFC réalisée sur les mots les plus spécifiques)

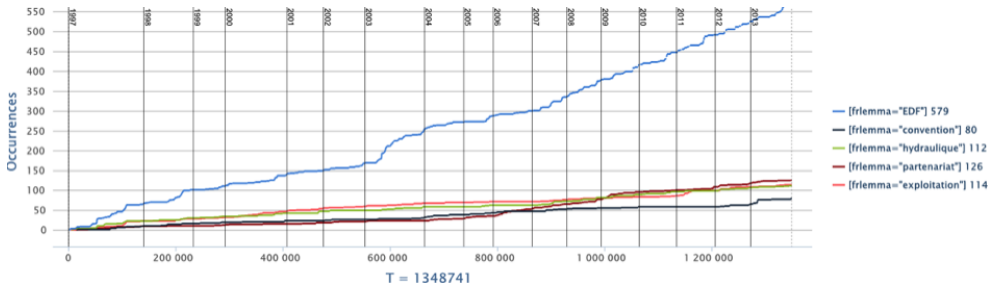


FIGURE 3 – Evolution des emplois du terme EDF et de quelques cooccurrents

Références

Burgess, J. (1990). The production and consumption of environmental meanings in the mass media : a research agenda for the 1990s. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 139-161.

Comby, E., Le Lay, Y. F., & Piégay, H. (2014). The Achievement of a Decentralized Water Management Through Stakeholder Participation : An Example from the Drôme River Catchment Area in France (1981–2008). *Environmental management*, 54(5), 1074-1089.

Comby, E., Le Lay, Y. F., & Piégay, H. (2012). La presse, une source pour l'étude spatiale et temporelle des attitudes. Potentialités et outils d'analyses des discours sur les crues. *Actes des Dixièmes Rencontres de Théo Quant.*

Ghiotti, S. (2007). *Les territoires de l'eau : gestion et développement en France*. CNRS éditions.

Gregory, K. J., & Williams, R. F. (1981). Physical geography from the newspaper. *Geography*, 42-52.

Heiden, S., Magué, J. P., & Pincemin, B. (2010, June). TXM : Une plateforme logicielle open-source pour la textométrie-conception et développement. In *Statistical Analysis of Textual Data-Proceedings of 10th International Conference Journées d'Analyse statistique des Données Textuelles* (Vol. 2, No. 3, pp. 1021-1032).

Lafon, P. (1980). Sur la variabilité de la fréquence des formes dans un corpus. In : *Mots*, N°1, pp. 127-165

Lebart, L., Salem, A., & Berry, L. (1998). *Exploring textual data*. Springer.

Le Lay, Y. F. & Rivière-Honegger, A. (2010). Expliquer l'inondation : la presse quotidienne régionale dans les Alpes et leur piedmont (1882-2005). *Géocarrefour*, 84(4), 259-270.

Pincemin, B. (2011). Sémantique interprétative et textométrie–Version abrégée. *Corpus*, (10), 259-269.

Ratinaud, P. (2009). IRaMuTeQ : Interface de R pour les analyses multidimensionnelles de textes et de questionnaires.

Reinert, M. (1993). Les "mondes lexicaux" et leur 'logique" à travers l'analyse statistique d'un corpus de récits de cauchemars. In : *Langage et société*, n°66, 1993. pp. 5-39.

Waitt, G. (1995). Media representation of forestry and soil issues in the Australian urban press, 1990–1991. *Australian Geographical Studies*, 33(2), 299-307.

Le projet BioSentiers : application mobile de réalité augmentée avec la participation collective de ses utilisateurs

Sarah Composto, Jens Ingensand

Laboratoire de SIG, Département EC+G, Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud

sarah.composto@heig-vd.ch, jens.ingensand@heig-vd.ch

Mots-clefs - Réalité augmentée, biodiversité urbaine, participation collective, communauté d'utilisateurs.

Introduction

Biodiversité urbaine

Depuis toujours, la nature a un effet positif direct et indirect sur l'être humain grâce à la faculté qu'elle a notamment de réguler le microclimat ou d'améliorer la qualité de l'air. (Cardinale, 2012) Ainsi, elle influence sur la condition de vie de chacun et notamment sur sa santé psychique, physique et sociale. Ce fait a été démontré par une étude de l'Institut de médecine sociale et préventive de l'Université de Berne à travers le projet « Paysage à votre santé » (Fondation suisse pour la protection et l'aménagement du paysage, 2007).

Toutefois, la population dans les villes augmente avec, en parallèle, une forte réduction du nombre de personnes par habitation. C'est pourquoi, la consommation des espaces verts s'est fortement accélérée depuis quelques décennies. Le graphique ci-après contient le nombre d'habitants et la part de surfaces bâties à Besançon entre 1962 et 2002 (Antoni et Youssoufi, 2007).

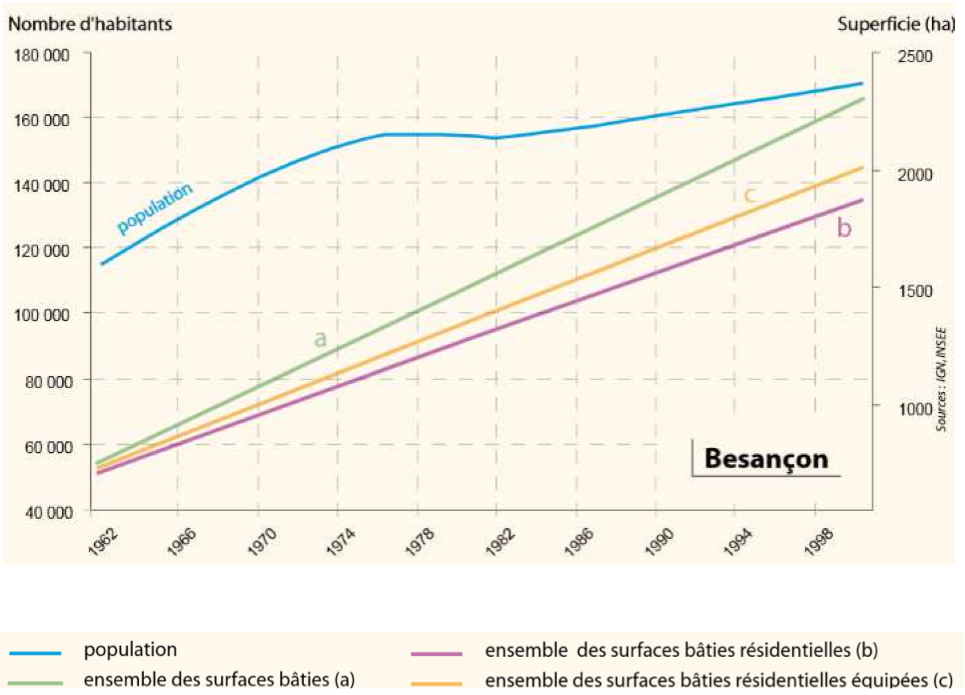


FIGURE 1 – Evolution dans le temps de la population et de la superficie des espaces bâtis

Ainsi, afin de préserver la biodiversité, il est important d'entreprendre des mesures en faveur de celle-ci. Ces actions peuvent être prises non seulement par des structures administratives, mais également par chaque citoyen.

Participation collective (à travers des nouvelles technologies)

Depuis ces dernières années, les technologies se sont rapidement développées. En effet, ordinateurs, tablettes et smartphones sont en constante amélioration et utilisés de plus en plus couramment par chacun. Ainsi, avec les technologies, est également apparu, à l'attention de tous, un meilleur moyen de s'auto-instruire. Qui plus est, les technologies ont également permis d'augmenter fortement la demande en données, en particulier celles avec une composante géographique. En effet, c'est sur la base de ce type de données qu'actuellement 60 à 80 % des décisions politiques, économiques ou privées sont prises, peu importe le domaine considéré (Office fédéral de topographie, 2015). Ainsi, grâce à un accès facilité vers l'auto-instruction et une demande en données toujours plus croissante, est née une nouvelle science, à savoir la « citizen science » (Hacklay, 2013). Cette science consiste à utiliser les connaissances et le travail effectué gratuitement par chacun comme des données professionnelles. Des études ont d'ailleurs permis de mettre en avant que, malgré le fait que cette activité soit effectuée de manière lucrative, elle reste tout de même sérieuse, et donc fiable (Cardinale et al, 2012). Ainsi, « OpenStreetMap » (Contributeurs d'OpenStreetMap, 2015) est un exemple d'application dont les données sont digitalisées par une communauté d'utilisateurs non professionnels. Plusieurs autres projets avec une participation collaborative ont également vu le jour dont « Signalez-nous » (Yverdon-les-Bains, 2015) (un utilisateur peut, par exemple, signaler à travers une application web un lampadaire défectueux à Yverdon-les-Bains), « Urbangene » (Joost, 2014) (plus de détails ultérieurement), etc.

URBANGENE

Urbangene (Joost, 2014) est un projet issu d'une collaboration entre l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et la HEIG en 2014. Son principe fondamental est d'acquérir des indicateurs de biodiversité dans la région de Genève, permettant ainsi l'évaluation de la biodiversité urbaine. Urbangene est ainsi composé d'une application web, comme visible ci-après, dans laquelle chacun peut saisir l'emplacement géographique d'une mare. L'interface web se compose également d'un formulaire dans lequel sont saisies des informations sur les espèces présentes dans chacune des mares.

Lors du lancement de l'application web en mars 2014, une grande campagne médiatique a été effectuée. Publications dans les journaux, à la radio et dans des sites web, différents moyens ont été mis en œuvre pour informer la population de la nouvelle application. Toutefois, malgré les efforts entrepris pour encourager les citoyens à saisir des mares, Urbangene n'a pas eu le succès escompté. Seulement 34 utilisateurs ont collecté des données pour un total d'uniquement 57 mares saisies. De plus, la plupart des utilisateurs n'ont utilisé l'application qu'une seule fois.

En outre, après vérification avec d'autres sources de données telles qu'une base de données qui comporte des mares identifiées dans le cadre d'un projet de la Haute Ecole du Paysage, d'Ingénierie et d'Architecture (HEPIA), OpenStreetMap et Google Maps, environ un tiers des mares saisies ont été déclarées incorrectes.

Sur la base de ce projet, plusieurs éléments peuvent être relevés. Un des points forts d'Urbangene est son interface web. Cette dernière a pour particularité d'être épurée et donc simple et intuitive à l'utilisation. Toutefois, un des points faibles de l'application est certainement sa limitation. En effet, Urbangene ne s'intéresse qu'à la saisie

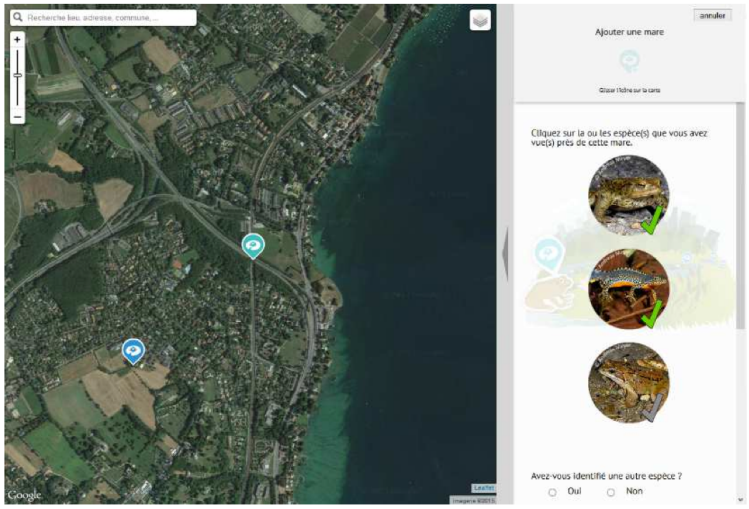


FIGURE 2 – Interface de l'application web d'Urbangene

de mares et de leurs espèces et l'utilisateur ne reçoit aucun retour de la part de l'application en dehors des mares digitalisées.

Réalité augmentée

La réalité augmentée, un concept récent, représente l'ajout automatique d'informations textuelles ou graphiques à l'environnement que l'utilisateur voit en temps réel. Cet ajout s'effectue au travers d'une application mobile. Ainsi, la réalité augmentée a pour but de superposer les informations de la caméra de l'appareil mobile avec celles d'une base de données externe à l'appareil et liée à l'application. De manière concrète, l'application se base sur la position en temps réel de l'appareil mobile, c'est-à-dire sa localisation GPS, son orientation et son inclinaison (par l'accéléromètre, le magnétomètre, le gyroscope).

Grâce à cet ajout automatique d'informations, la réalité augmentée permet donc de renseigner, de manière simple, l'environnement dans lequel se situe l'utilisateur. De plus, cette option étant intégrée dans l'application elle-même, il n'est pas nécessaire à l'utilisateur d'avoir des connaissances techniques. Au contraire, l'utilisation d'une telle application est facile, ludique et instruisante, car elle permet de manière visuelle de découvrir et, par la même occasion, d'apprendre.

VaudGEO, un exemple d'application mobile dans le domaine de la géomatique, permet de rechercher des points fixes de la mensuration officielle dans le but d'effectuer, par exemple, des relevés de bâtiments. A cet effet, cette application intègre la réalité augmentée, car c'est grâce à cette dernière que les points sont retrouvés (Canton de Vaud, 2015). MTIS (Mobile Tourist Information System) est un autre exemple d'application mobile qui a pour but de proposer différentes visites touristiques au sujet du patrimoine de l'Arc jurassien. Une des visites présentées se situe à Porrentruy et permet, grâce à la réalité augmentée, de s'immerger dans le monde des dinosaures (Jurassica, 2015).

BIOSENTIERS

Contexte

Actuellement en cours, BioSentiers est un projet développé par la HEIG depuis fin 2014. Il a pour principal but de sensibiliser la population à la biodiversité urbaine et d'encourager les citoyens à entreprendre des actions en faveur de celle-ci. Cette sensibilisation s'effectuera le long d'un nouvel itinéraire pédagogique. De plus, afin de pouvoir se déplacer et s'orienter directement sur place, il a été décidé de concevoir une application mobile. De manière plus précise, la plateforme, dont un aperçu est

visible ci-dessus, sera élaborée, dans un premier temps, sur le système d'exploitation Android.

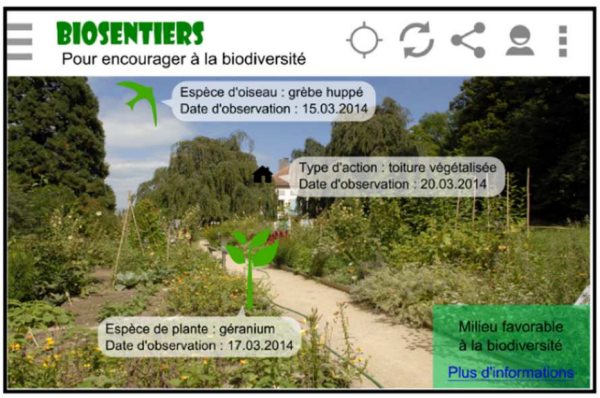


FIGURE 2 – Aperçu de l'application mobile

Dans le cadre de BioSentiers, plusieurs étapes ont déjà été prévues dont certaines ont déjà été réalisées :

1. Détermination des besoins des utilisateurs
2. Acquisition de données géographiques sur la faune, la flore, le milieu telles que les plantes, les oiseaux, les sites de protection, les corridors de faune, etc.
3. Traitement des données géographiques
4. Choix d'un nouvel itinéraire
5. Réalisation du prototype de l'application
6. Validation du prototype par les différents partenaires
7. Elaboration de l'application sur Android

Concept

Plusieurs choix de conception ont déjà été faits. De plus, il est dès lors possible de relever divers aspects favorables pour le bon fonctionnement de BioSentiers :

- Utilisation de technologies actuelles et courantes (smartphones, tablettes)
- Intégration de la réalité augmentée pour une utilisation facile, ludique et instruisante de l'environnement sans connaissances techniques de l'utilisateur
- Interface de l'application simplifiée pour une utilisation intuitive
- Création du nouvel itinéraire entre la gare d'Yverdon-les-Bains (lieu fréquenté) et le centre Champ-Pittet (où sied le plus grand marais lacustre de Suisse avec le centre Pro Natura qui accueille environ 25'000 visiteurs par année) permettant ainsi de prolonger les sentiers existants de Pro Natura
- Collaboration de différents partenaires tels que la ville d' Y verdon-les-Bains, le centre Pro Natura, Infoflora, la Station Ornithologique de Suisse, l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV), etc.
- Focus sur un public surtout jeune (écoliers d'environ 12-15 ans) pour une sensibilisation à la biodiversité dès l'adolescence et ainsi la formation d'une nouvelle génération compétente pour l'avènement éventuel de changements
- Vulgarisation des informations par une simplification des notions scientifiques pour une meilleure compréhension du public
- Participation collective pour une meilleure intégration de l'utilisateur au sein de l'application par la création d'une communauté d'utilisateurs
- Présence d'un retour vers l'utilisateur par la transmission de différentes informations
- Mise en place d'une classification entre

les différents utilisateurs selon le nombre de points de chacun pour une motivation renforcée
- Obtention ou suppression d'un certain nombre de points pour encourager les utilisateurs à entrer des informations justes et pertinentes

Coclusion

Selon les étapes précédemment énumérées, un premier prototype de l'application a déjà été effectué. Il est actuellement en cours de validation par les différents partenaires dans le but de garantir une solide accréditation et par conséquent une meilleure acceptation de l'application mobile. Une fois cette étape validée, il sera alors possible de concrètement réaliser l'application qui sera régulièrement testée sur différents utilisateurs pour assurer sa bonne utilisation.

Références

ANTONI, Jean-Philippe, YOUSSOUFI, Samy, 2008. Etalement urbain et consommation d'espace : Etude comparée de Besançon, Belfort et Montbéliard. *Images de Franche-Comté*. Juin 2008. N° 37, pp. 6-9.

CANTON DE VAUD, 2015. *Vaud Géo* [en ligne]. Disponible à l'adresse : `http://m.vd.ch/autres-prestations-mobiles/vaud-geo/`

CARDINALE, Bradley J. et al, 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*. 7 juin 2012. N° 486, pp. 59-67.

CONTRIBUTEURS D'OPENSTREETMAP, 2015. OpenStreetMap [en ligne]. Disponible à l'adresse : `http://www.openstreetmap.org`

FONDATION SUISSE POUR LA PROTECTION ET L'AMENAGEMENT DU PAYSAGE, 2007. Les bienfaits de la nature et du paysage sur la santé. [Consulté le 12.01.15]. Disponible à l'adresse : `http://www.swissinfo.ch/fre/les-bienfaits-de-la-nature-et-du-paysage-sur-la-sant%C3%A9/5907190`

HACKLAY, M., 2013. Citizen science and volunteered geographic information overview and typology of participation. In Sui, D.Z., E. S. and Goodchildm, M., editors, Crowdsourcing Geographic Knowledge : Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice, pp. 105–122. Springer

JOOST, Stéphane et al, 2014. A participatory WebGIS platform to support biodiversity inventory in the Geneva cross-border area. Disponible à l'adresse : `http://www.researchgate.net/publication/265300544_A_participatory_WebGIS_platform_to_support_biodiversity_inventory_in_the_Geneva_cross-border_area`

JURASSICA, 2015. Visite écologique interactive de Porrentruy. *Jurassica* [en ligne]. [Consulté le 12.01.15]. Disponible à l'adresse : `http://www.jurassica.ch/visite-geologique-interactive-de-porrentruy/`

OFFICE FEDERAL DE TOPOGRAPHIE SWISSTOPO, 2015. Géoinformation. *Office fédéral de topographie swisstopo* [en ligne]. [Consulté le 12.01.15]. Disponible à l'adresse : `http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/topics/geoinformation.html`

YVERDON-LES-BAINS, 2015. *Signalez-nous* [en ligne]. Disponible à l'adresse : `http://signalez.yverdon-les-bains.ch/interface/`

Atelier 10

Géographie de la santé

Analyse spatiale des déterminants environnementaux des comportements de santé

Application au transport actif dans la région parisienne

Thierry FEUILLET[1], Hélène CHARREIRE[1,2], Paul SALZE[3], Mehdi MENAI[1], Chantal SIMON[4], Serge HERCBERG[1], Christophe ENAUX[5], Christiane WEBER[3], Jean-Michel OPPERT[1,6]

[1] Université Paris 13, Equipe de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle (EREN), UMR U1153 Inserm/U1125, Centre de Recherche en Epidémiologie et Biostatistiques Sorbonne Paris Cité, Bobigny
[2] Université Paris Est, Lab'Urba, Institut d'Urbanisme de Paris, UPEC, Créteil
[3] LIVE, UMR 7362, Strasbourg
[4] CARMEN, Inserm U1060 / Université de Lyon 1/INRA U1235, Centre Hospitalier Lyon Sud, Lyon ; 5Université de Strasbourg, LIVE, UMR 7362, Strasbourg, France
[6] UREN Inserm U557, Inra U1125, Cnam, Université Paris 13 Paris-cité-Sorbonne, CRNH Ile-de-France – Université Paris 6, France et Service de Nutrition GH Pitié-Salpêtrière (AP-HP), Université Pierre et Marie Curie, Institut Cardiométabolisme et Nutrition (ICAN), Paris

thier.feuillet@gmail.com

Mots-clefs - hétérogénéité spatiale, contexte local, transport actif, santé publique

Contexte et objectifs

Le manque de pratique d'activité physique est un facteur de risque important des pathologies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, certains cancers, le diabète et l'obésité (Oppert et al., 2006 ; Aquatias, 2008). Dans le cadre du modèle socio-écologique des comportements de santé, on admet que les déterminants de ces pratiques sont multiples, combinant des influences individuelles et environnementales (Booth 2001, Pikora 2003). Les caractéristiques (physiques et sociales) de l'environnement de vie peuvent en effet favoriser ou au contraire limiter les pratiques d'activité physique et plus particulièrement les pratiques de transport actif (la marche et le vélo). Cependant, la très grande majorité des études épidémiologiques considère que l'influence de l'environnement sur la pratique des transports actifs est spatialement homogène. Or, on constate très souvent une hétérogénéité spatiale - c'est-à-dire une variabilité locale - des relations entre caractéristiques de l'environnement de vie et transport actif. Quand on étudie la structure spatiale de cette hétérogénéité, on dessine automatiquement les limites de contextes locaux au sein desquels les relations entre environnement et transport actif tendent à s'homogénéiser.

Cette hypothèse de variabilité spatiale des relations environnement-comportements de santé est illustrée de façon théorique dans la figure 1 dans laquelle la variation d'un attribut environnemental (ex : aménagement de nouvelles pistes cyclables) est introduit. Cet aménagement n'aura pas les mêmes conséquences sur la pratique du vélo selon les lieux : dans certains lieux il va favoriser la pratique du vélo (incitatif) ; dans d'autres lieux, il n'y aura pas d'impact sur les comportements. On pose alors l'hypothèse que l'influence de l'aménagement sur la pratique va être modulée par les spécificités de chaque lieu. Ces spécificités sont à la fois physiques (état des routes, niveau général de « marchabilité » du quartier, position

et distance entre les lieux structurants, etc.) et sociales (interactions sociales entre voisins, normes et représentations locales des modes de transport, etc.).

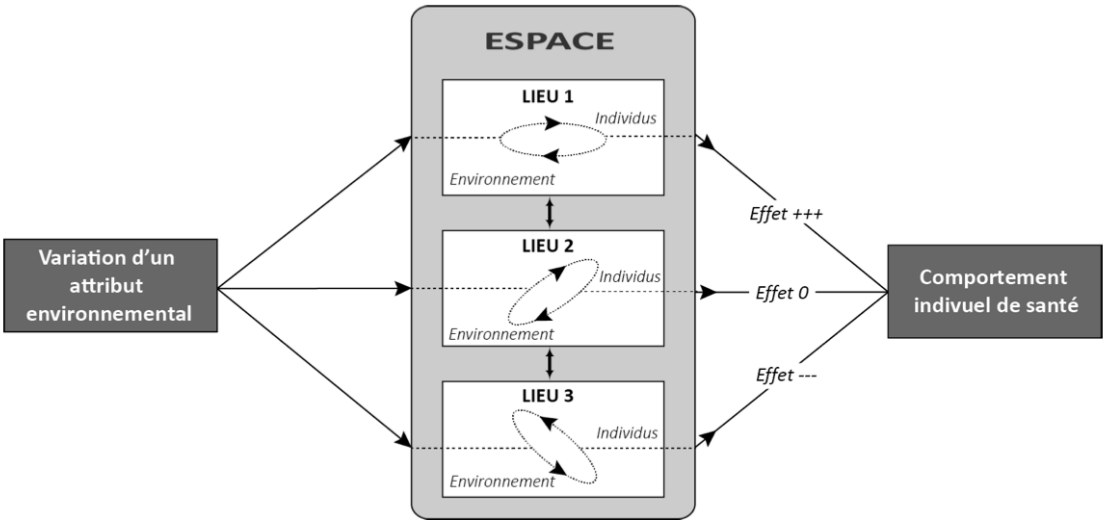


FIGURE 1 – Représentation conceptuelle des relations entre X et Y en fonction des spécificités des contextes locaux de résidence.

Cette communication a pour objectif de présenter la validation empirique de cette hypothèse dans le cas des pratiques de transport actif en re ?gion parisienne. Nous avons cherché à délimiter les contextes locaux au sein desquels les effets de la densité de l'environnement bâti et du niveau socio-économique du quartier de résidence tendent à converger et à se distinguer des contextes voisins.

Données et méthodes

Les données sociodémographiques et de pratique de la marche et du vélo ont été obtenues en 2013 par questionnaire auprès des participants volontaires de l'étude Nutrinet-Santé (Hercberg et al., 2010) dans le cadre du projet de recherche multidisciplinaire ACTI-Cités (Misslin et al., 2015). L'étude porte sur 4164 adultes résidant dans la région de Paris et de sa petite couronne (Hauts-de-Seine, Val-de-Marne, Seine-Saint-Denis).

Les données caractérisant l'environnement physique (occupation du sol, transport, etc.) et social (taux de chômage, revenus, etc.) des lieux de résidence des individus ont été obtenues à partir de bases de données spatialisées. Ces données ont été combinées dans un SIG, puis ventilées dans des mailles de 200*200 m pour homogénéiser les échelles d'agrégation. Afin de tenir compte de la multicolinéarité entre ces variables environnementales, nous avons procédé au calcul d'indices synthétiques via une analyse en composantes principales (ACP). La première composante caractérise la densité de l'environnement bâti ; la seconde composante caractérise l'environnement socio-économique. Les valeurs de ces deux composantes ont été attribuées à chaque individu (valeurs moyennes au sein d'une zone tampon de 500 m autour du lieu de domicile).

L'analyse spatiale des liens entre ces deux composantes et les comportements liés au transport actif des individus a été réalisée en deux étapes.

1. Nous avons tout d'abord appliqué une régression géographiquement pondérée (GWR, Brunsdon et al., 2006). Dans ce type de régression locale, les coefficients sont aléatoires

et varient selon chaque individu, en fonction des caractéristiques de ses plus proches voisins et non de l'échantillon entier, comme c'est le cas dans les régressions dites « globales ». L'objectif de cette première étape est de mettre en évidence une éventuelle structuration spatiale des relations environnement- comportement.

2. Dans un second temps, nous avons réalisé une classification spatiale (algorithme des k-moyennes avec contrainte de contiguïté spatiale) basée sur les coefficients estimés par la GWR. L'objectif de cette seconde étape était d'aboutir a ? une régionalisation des relations, autrement dit de dessiner les contours des contextes locaux correspondant à la structuration spatiale des relations.

Principaux résultats

Après ajustement sur les caractéristiques individuelles (âge, sexe, niveau d'étude, possession de voitures, de vélos ou d'un abonnement de transport en commun), nos résultats indiquent que les associations entre l'environnement de résidence et les pratiques de transport actif varient selon la localisation géographique. Par exemple, pour les habitants du Val-de-Marne, la densité de l'environnement bâti autour du lieu de résidence est fortement associée à la pratique de modes de transport actif, contrairement à ceux de Paris intra-muros (cf. figure 2). L'environnement socio-économique parait en général faiblement associé au transport actif, sauf en certains lieux précis (par exemple au sud-est de Paris ou dans certains quartiers des Hauts-de-Seine).

Par ailleurs, la classification spatiale basée sur les coefficients de la GWR a permis d'identifier huit zones, qui correspondent à autant de contextes locaux où les comportements de transport actif des individus tendent à s'homogénéiser et à se différencier des contextes voisins.

Conclusion

Nos résultats ont des implications théoriques et pratiques. D'un point de vue théorique, nous concluons que la mise en évidence de non-stationnarité spatiale implique de considérer le modèle socio-écologique de façon géographiquement nuancée : la part relative des déterminants environnementaux du transport actif varie selon les lieux. Quand dans une majorité d'études ce contexte est considéré à des échelles fixes basées sur des limites administratives, notre approche « laisse les données » fixer ces limites. D'un point de vue appliqué, nos résultats indiquent que les interventions publiques (en santé publique comme en aménagement) pourraient gagner en efficacité si elles prenaient en compte les spécificités locales du territoire.

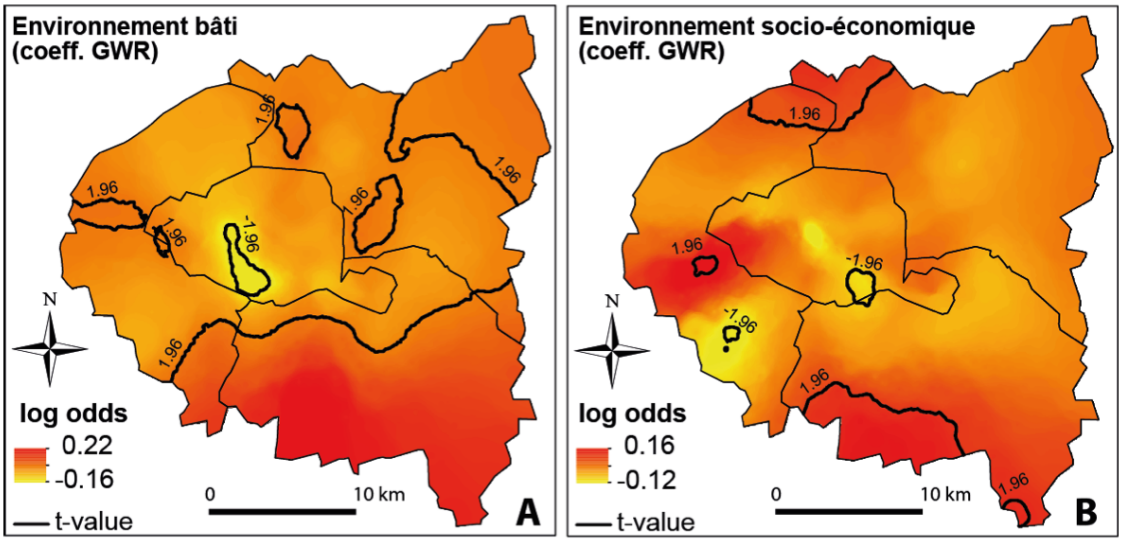


FIGURE 1 – Résultats cartographique de la régression géographiquement pondérée (GWR) mettant en relation les caractérisiques physiques et socio-économiques du quartier de résidence (aire de 500 m autour du domicile) avec les pratiques de transport actif des indvidus.

Références

Aquatias A. J. (2008). *Activité Physique : contexte et effets sur la santé*. Expertise collective INSERM. Les éditions INSERM, Paris.

Booth SL., Sallis JF et al. (2001). Environmental and societal factors affect food choice and physical activity : rationale, influences, and leverage points. *Nutr Rev* 59 (3) : S21-39.

Brunsdon C., Fotheringham A. S., & Charlton, M. E. (1996). Geographically weighted regression : a method for exploring spatial nonstationarity. *Geographical analysis*, 28(4), 281-298.

Hercberg S., Castetbon K., Czernichow S., Malon A., Mejean C., Kesse E., Touvier M., & Galan P. (2010). The Nutrinet-Santé Study : a web-based prospective study on the relationship between nutrition and health and determinants of dietary patterns and nutritional status. *BMC public health*, 10(1), 242.

Misslin R, Charreire H, Weber C, Enaux C, Bastian T, Simon C, Oppert JM. Mobilités actives et santé : apports et limites d'un protocole de mesure de la marche et du vélo combinant des capteurs de mouvements (GPS et accéléromètres), Cybergéo (sous presse).

Oppert JM, Simon C, Riviere D, Guezennec, CY. (2006). *Activité physique et santé : arguments scientifiques, pistes pratiques*. Ministère de la Santé et des Solidarités, Paris, 2006. Collection Les synthèses du PNNS. ? Pikora TB., Giles-Corti B., Bull, F., Jamrozik K., Donovan R. (2003). Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. *Social Sci Med* 56 : 1693 – 1703.

CONTRIBUTION À LA CONNAISSANCE DES PRATIQUES SPATIALES DE RECOURS AUX SOINS HOSPITALIERS

Charlène LE NEINDRE[1], **Véronique LUCAS-GABRIELLI**[2]

[1] Chargée de recherche IRDES et chercheure associée UMR 8504 Géographie-cités
[2] Sirectrice de recherche IRDES

leneindre@irdes.fr, lucas@irdes.fr

Mots-clefs - distance, enquête, modélisation, pratiques spatiales, recours aux soins

Contexte et objectifs

L'accessibilité spatiale aux soins est un enjeu des politiques de santé des pays développés (Bärnighausen et Bloom, 2011), tant en matière de niveau adéquat (selon les besoins des populations) que de diversité de l'offre de soins (entre médecins généralistes et spécialistes ; entre médecine de ville et hospitalière). Malgré une offre globale de soins actuellement relativement abondante en France, d'une part, la prévision pour les années à venir est à la baisse (Attal-Toubert et Vanderschelden, 2009) et, d'autre part, d'importantes disparités existent entre régions (notamment entre le Nord et le Sud du pays), mais aussi entre types d'espaces (Coldefy et al., 2011 ; Barlet et al., 2012a, b et c). L'accessibilité spatiale aux soins peut être envisagée de manière potentielle, par exemple, en étudiant la distance à l'offre la plus proche, mais aussi de façon effective en examinant la distance réellement parcourue par les patients. Cette dernière approche, adoptée par le présent projet, interroge les pratiques spatiales des individus face aux soins. La distance effective se confond-elle avec la distance potentielle ou, au contraire, cette comparaison révèle-t-elle une distance supplémentaire ? Quels facteurs individuels et/ou contextuels interviennent dans l'accès effectif aux soins ? Les résultats sont-ils identiques selon que l'on s'intéresse au recours aux médecins généralistes ou spécialistes ? À la médecine de ville ou hospitalière ? Ces questions restent, à notre connaissance, insuffisamment explorées, notamment quant aux dimensions individuelles en jeu, et ce projet contribue en ce sens.

Dans le cadre de cette communication, nous focalisons sur le volet hospitalier du projet, le volet sur les soins ambulatoires n'est donc pas abordé. Tonnellier et Lucas (1995) montraient, à partir de données d'enquêtes, que la distance effective est supérieure à la distance potentielle pour une hospitalisation programmée de court séjour et que l'intensité de ce phénomène varie entre les spécialités hospitalières. Ces résultats ont plus récemment été confirmés à partir de données exhaustives (Solard et Evain, 2012). Concernant les caractéristiques individuelles, Barlet et al. (2012a) indiquaient que les personnes âgées recourent plus souvent à l'établissement hospitalier le plus proche que les autres adultes, Moschetti (2005) que les hommes ont une plus forte probabilité de parcourir une distance supplémentaire et Tonnelier et Lucas (1995) que cette dernière est impactée selon que le niveau de diplôme atteint ou non le baccalauréat, indépendamment du niveau d'urbanisation de la zone de résidence. Relativement aux caractéristiques contextuelles, Moschetti (2005) avait démontré une relation inverse entre densité d'établissements de santé et parcours d'une distance supplémentaire pour y recourir. Parmi les critères de choix invoqués en matière de recours aux soins, le critère de la proximité est certes notable, mais à relativiser (Pilkington et al., 2012). Arrivent ensuite les critères relatifs aux modes d'organisation des soins,

puis à la réputation ou à la spécialisation de l'établissement de santé. À la différence de la majorité des études, la distance supplémentaire parcourue pour recourir aux soins hospitaliers constitue la variable à expliquer de ce projet au lieu d'une variable potentiellement explicative.

Deux principaux objectifs sous-tendent ce projet. Le premier consiste à comparer la distance à l'établissement de santé le plus proche à la distance effectivement parcourue afin de mesurer, s'il y a lieu, la distance supplémentaire et de décrire l'accessibilité spatiale aux soins pour diverses spécialités hospitalières (chirurgie orthopédique, neurologie...). Le principe est d'apprécier la tendance des individus à se déplacer au prisme de différentes caractéristiques. Le second objectif réside en l'examen des facteurs, aussi bien individuels (état de santé, caractéristiques socioéconomiques, critères de choix des patients...) que contextuels (offre de soins, type d'espaces de vie des patients...), susceptibles d'expliquer, au sens statistique, les pratiques spatiales d'accessibilité aux soins hospitaliers. L'idée est alors de saisir la multidimensionnalité du concept d'accessibilité spatiale aux soins hospitaliers.

Données et méthodes

La distance est mesurée en temps d'accès par la route, dans un premier temps, entre communes et, dans un second temps, entre adresses. Afin de calculer les distances, au plus proche et effective, à chacune des spécialités hospitalières considérées par ce projet, le distancier routier intercommunal utilisé est Odomatrix développé par l'Institut national de la recherche agronomique (INRA). Quant au distancier par la route à l'adresse, nous l'avons élaboré grâce à l'extension Network analyst du système d'information géographique ArcGIS en mobilisant notamment la base de données ROUTE 500® diffusée par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et en nous inspirant de la méthodologie employée par le logiciel précité mise au point par Hilal (2010).

Le calcul de la distance à l'offre de soins hospitaliers la plus proche n'est possible qu'à la suite de la localisation des spécialités hospitalières au sein des établissements de santé, cette information n'étant pas disponible dans les bases de données nationales du champ sanitaire. Ce travail, basé sur le repérage d'une activité significative nécessitant l'intervention de praticiens titulaires des spécialités médicales visées, s'appuie sur une méthodologie conçue en 2011 par l'Irdes (Coldefy et al., 2011) à partir des données du Programme de médicalisation des systèmes d'information en médecine, chirurgie, obstétrique et odontologie (PMSI MCO) appariées avec les données de la Statistique annuelle des établissements de santé (SAE). Cette méthode de repérage et de localisation est actualisée et prolongée dans le cadre de ce projet.

Afin de mesurer la distance effective pour recourir aux soins hospitaliers sont mobilisées les données de l'Enquête santé et protection sociale (ESPS) appariées avec, d'une part, les données de remboursement des soins effectués en cabinet de ville ou en clinique privée du Système national d'information inter-régimes de l'Assurance maladie (SNIIRAM) et, d'autre part, les données de remboursement des soins réalisés en consultation externe ou lors d'une hospitalisation du PMSI MCO. À partir de ces données d'enquête, un travail d'identification de la spécialité du service au sein duquel a eu lieu chaque séjour hospitalier des enquêtés est nécessaire. Ce travail repose sur le groupe homogène de malades (GHM) dont relève le séjour hospitalier et sur le diagnostic principal pour lequel le patient est pris en charge, deux informations issues du PMSI MCO.

Les millésimes de l'ESPS utilisés dans ce projet sont ceux de 2010 et 2012. Le champ géographique de l'enquête est la France métropolitaine et l'échantillon s'avère représentatif des types d'espaces appréciés par le zonage en aires urbaines (ZAU) ou la taille des communes. Les analyses menées à partir des données de l'ESPS 2010 sont réalisées au niveau de la commune ou de l'arrondissement municipal, d'un côté, de

résidence du patient et, d'un autre côté, d'implantation de l'établissement de santé (ces données ne permettant pas d'approcher un niveau plus fin), tandis que les analyses effectuées avec les données de l'ESPS 2012 sont opérées au niveau de l'adresse (cette information étant connue). Une revue de la littérature a permis de déterminer des questions relatives aux pratiques spatiales d'accès aux soins dont les réponses servent à améliorer la compréhension de ce phénomène. Par exemple, les enquêtés sont interrogés sur leurs déplacements courants (moyens de transport utilisés, fréquence, temps accordé aux déplacements...) et sur leur dernier accès aux soins hospitaliers au cours des douze mois précédents (lieu de provenance, lieu et service d'hospitalisation, critère de choix de l'établissement de santé...). Ces questions ont été spécifiquement introduites dans le questionnaire de l'ESPS 2012 en complément des traditionnelles questions sur l'état de santé, les caractéristiques démo-socioéconomiques et l'assurance complémentaire des individus et sont exploitées dans ce projet de manière à élaborer des variables permettant d'apprécier les dimensions individuelles.

Pour construire des variables permettant de décrire le contexte d'offre de soins et de résidence des patients sont respectivement exploitées les données de la SAE et le ZAU. Le niveau d'offre de soins, en matière aussi bien de disponibilité que d'accessibilité, est apprécié par la distance moyenne des communes du territoire de santé (niveau géographique d'organisation de l'offre hospitalière) au service adéquat le plus proche pondérée par l'effectif de population résidante. L'approche est descriptive. D'abord, les distances au plus proche, effective et supplémentaire sont étudiées au prisme de différentes dimensions afin de mieux cerner les caractéristiques de l'accessibilité aux soins hospitaliers. Ensuite, trois modèles statistiques sont élaborés par régression linéaire multiple tenant compte de l'autocorrélation individuelle (car un individu a pu effectuer plusieurs séjours hospitaliers en 2010) de manière à mieux comprendre les pratiques spatiales des individus face aux soins hospitaliers : dans le premier, on cherche à « expliquer » la distance supplémentaire relativement au plus proche (en considérant tous les séjours), dans le second le fait de recourir ou non au plus proche et dans le dernier la distance supplémentaire relativement au plus proche lorsque le recours n'a pas été effectué au plus proche (en excluant les séjours dont la distance supplémentaire est nulle). Dans cette communication, nous présentons le premier modèle.

Principaux résultats

Les données de l'ESPS 2010 – les premières à être appariées avec les données du PMSI MCO – sont exploitées suivant une démarche exploratoire afin de préciser les possibilités, mais aussi les limites qu'elles présentent pour explorer les pratiques spatiales de recours aux soins hospitaliers. L'analyse des distances d'accès aux soins hospitaliers avec l'ESPS 2010 appariée, après identification et localisation de la spécialité du service au sein duquel le patient a séjourné et localisation des enquêtés à leur lieu de résidence, porte sur 1 345 séjours relatifs à l'une des diverses spécialités de MCO retenues, en hospitalisation complète ou partielle, en établissement de santé public ou privé (échantillon initial : 2 827 séjours). Ces séjours concernent 1 059 patients hospitalisés, lesquels ont pu effectuer un ou plusieurs séjours hospitaliers dans l'année (échantillon initial : 1 898 patients). Ainsi, l'unité statistique est le séjour et non le patient. L'échantillon analysé reste représentatif de la répartition de la population française par type d'espaces.

Le domicile constitue le mode d'entrée déclaré pour l'ensemble des séjours. Pour 16% d'entre eux, la provenance est le service des urgences. Ainsi, les 84% des séjours restants sont considérés comme des hospitalisations programmées. 48% des séjours se déroulent dans un établissement de santé public ou privé d'intérêt collectif. La durée moyenne des séjours est de 3 jours, valeur qui masque des disparités inhérentes au niveau de sévérité de la prise en charge.

L'enquête étant opérée auprès de personnes vivant en ménage ordinaire, elle intervient après le retour au domicile en sortie d'hospitalisation et donc aucun séjour étudié ne se termine par un décès à l'hôpital. 58% des séjours sont féminins. Par catégorie d'âges, les écarts les plus importants entre sexe correspondent, pour les femmes, aux séjours des 16-44 ans (76% des séjours) et, pour les hommes, aux séjours des 70-79 ans (65% des séjours). Relativement à l'occupation principale, 49% des séjours concernent des actifs occupés. Viennent ensuite avec 42% les séjours de retraités. Les ouvriers, avec 36% des séjours, apparaissent comme la catégorie socioprofessionnelle la plus fréquemment hospitalisée. Toutes spécialités confondues, le service adéquat d'hospitalisation le plus proche se trouve en moyenne à 14 minutes de la commune de résidence du patient. La distance effectivement parcourue par les patients est en moyenne de 31 minutes, plus du double de la distance au plus proche. 40% des séjours n'ont pas lieu au plus proche. Aussi, lorsqu'une distance supplémentaire est parcourue, elle est en moyenne de 34 minutes depuis le domicile des patients. La mise en perspective des distances moyennes au plus proche, effective et supplémentaire par spécialité hospitalière envisagée montre des différences entre spécialités indiquant, d'une part, une certaine hiérarchie de l'accessibilité des spécialités (par exemple, la distance moyenne au plus proche pour l'urologie est 1,5 fois supérieure à la distance médiane alors que cela ne change rien pour la chirurgie digestive) et, d'autre part, un contournement d'intensité variable (par exemple, 61% des séjours d'obstétrique ont lieu dans le service le plus proche et seulement 32% des séjours d'ophtalmologie).

Comparant les séjours dont le niveau de gravité est moindre à ceux dont le niveau est sévère, la distance moyenne au service adéquat le plus proche est sensiblement la même, alors que, si la distance effectivement parcourue augmente dans les deux cas, la progression pour les séjours les moins sévères dépasse celle pour les séjours les plus graves. En outre, les distances supplémentaires peuvent être relativement importantes. Quand le séjour se déroule dans un établissement de santé public ou privé d'intérêt collectif hors centres hospitaliers régionaux (CHR), le taux de recours au service le plus proche est massif (entre 70 et 80% des séjours), qu'importe la taille de l'établissement. Ces établissements sont nombreux et bien répartis sur le territoire national. Selon le statut et la taille de l'établissement, la distance moyenne effective la plus importante, mais aussi supplémentaire s'observent en direction des CHR (respectivement de 37 et 45 min.). Ces établissements sont moins nombreux et offrent une diversité de spécialités, notamment les plus rares. Logiquement, il ressort des analyses que les distances moyennes au plus proche, effective et supplémentaire croissent quand la distance moyenne au sein du territoire de santé s'élève. Le taux de recours au service le plus proche est des plus élevés lorsque le séjour a lieu dans une commune appartenant au pôle d'une grande aire urbaine (60 %), au pôle d'une moyenne ou petite aire urbaine (60 %) ou à la couronne d'un pôle d'une moyenne ou petite aire urbaine (63 %). Pour recourir aux soins hospitaliers, les hommes parcourent des distances moyennes effective (33 min.) et supplémentaire (54 min.) légèrement plus grandes que les femmes (respectivement 29 et 51 min.). Parmi les classes d'âges, le taux de recours au service le plus proche est le plus fort pour les moins de 16 ans. Par ailleurs, celui-ci décroît à mesure que le niveau de revenu augmente. Enfin, il est moindre pour les patients déclarant un état de santé dégradé que pour les autres patients.

Dans la modélisation de la distance supplémentaire parcourue pour recourir aux soins hospitaliers relativement au plus proche, celles au-delà de 4 heures sont exclues (soit 8 séjours) de manière à éviter que ces parcours exceptionnels perturbent les résultats. Les variables de contrôle (potentiellement explicatives) introduites dans le modèle sont, pour les dimensions individuelles, le sexe, l'âge, la catégorie socioprofessionnelle, le revenu, le passage par les urgences et la durée de l'hospitalisation et, pour les

dimensions contextuelles, le type d'espaces de vie des patients, le statut de l'établissement, le temps moyen d'accès au service adapté le plus proche dans le territoire de santé, le temps d'accès à la commune équipée la plus proche, ainsi que le recours ou non à l'établissement pour la spécialité d'orthopédie, d'obstétrique, d'ophtalmologie et pour un examen endoscopique. Le modèle de régression linéaire multiple tenant compte de l'autocorrélation individuelle (car un individu a pu effectuer plusieurs séjours hospitaliers en 2010) montre, toutes choses égales par ailleurs, que :

- les agriculteurs parcourent les distances supplémentaires les plus faibles par rapport aux ouvriers (8 min. en moins)
- les individus aux revenus les plus importants parcourent les distances supplémentaires les plus grandes comparativement aux individus aux revenus les plus modestes (7 min. en plus)
- la distance supplémentaire est plus courte à l'occasion d'une hospitalisation comprenant une seule nuit relativement aux séjours d'au moins deux nuits (6 min. de moins)
- le type d'espaces a systématiquement un effet sur la distance supplémentaire : en comparaison des résidents d'un pôle d'une grande aire urbaine, ceux de sa couronne ont un parcours plus long de 5 minutes, ceux d'un pôle d'une moyenne ou petite aire urbaine allongé de 12 minutes, comme ceux d'une commune isolée, et ceux de la couronne d'un pôle d'une moyenne ou petite aire urbaine étendu de 15 minutes
- la distance supplémentaire est raccourcie quand le temps moyen d'accès au service adapté le plus proche dans le territoire de santé est supérieur à la valeur nationale en regard de la situation où le temps moyen y est inférieur (7 min. en moins)
- la distance supplémentaire est réduite lorsque la commune équipée la plus proche se situe à entre 15 et 24 minutes par rapport au cas où la commune est équipée (5 min. en moins)
- pour accéder à un service hospitalier d'ophtalmologie, la distance supplémentaire est augmentée (11 min. en plus), alors que pour recourir à un service hospitalier d'obstétrique, elle est diminuée (7 min. en moins) relativement aux autres spécialités

Ainsi, dimensions individuelles et contextuelles jouent toutes deux un rôle dans l'explication, au sens statistique, de la distance supplémentaire parcourue pour recourir aux soins hospitaliers. Une première limite de ce travail à partir de l'ESPS 2010 concerne la réduction de l'échantillon analysé par rapport à l'échantillon initial, notamment en raison de l'exclusion des séjours ne nécessitant pas l'intervention de praticiens titulaires des spécialités médicales visées. Une seconde limite touche au fait que la faiblesse des effectifs de séjours par spécialité n'autorise pas d'exploration par spécialité. Une troisième limite réside en la complexité des parcours de soins avec séjour(s) hospitalier(s) (effets d'adressage des patients, situation du séjour hospitalier dans la prise en charge).

Les données de l'ESPS 2012 – spécifiquement enrichies d'informations relatives aux pratiques spatiales des individus, notamment en matière d'accès aux soins hospitaliers – sont en cours d'exploitation. Ces analyses nouvelles ambitionnent de dépasser les première et troisième limites évoquées en enrichissant les spécialités considérées par les spécialités de médecine générale et de chirurgie générale et en allant plus loin dans l'interpre ?tation grâce à la disponibilité d'informations complémentaires. Les résultats communiqués tiendront compte des dernières analyses.

Références

Attal-Toubert K. et Vanderschelden M., 2009, « La démographie médicale à l'horizon 2030 : de nouvelles projections nationales et régionales détaillées », Drees : *Dossiers solidarité et santé*, n° 12, 66 p.

Barlet M., Collin C., Bigard M. et Lévy D., 2012a, « Offre de soins de premier recours : proximité ne rime pas avec toujours avec accessibilité », Drees : *Etudes et résultats*, n° 817, 4 p.

Barlet M., Coldefy M., Collin C. et Lucas-Gabrielli V., 2012b, « L'accessibilité potentielle localisée (APL) une nouvelle mesure de l'accessibilité aux médecins généralistes libéraux », Irdes : *Questions d'économie de la santé*, n° 174, 8 p.

Barlet M., Coldefy M., Collin C. et Lucas-Gabrielli V., 2012c, « L'accessibilité potentielle localisée (APL) une nouvelle mesure de l'accessibilité aux soins appliquée aux médecins généralistes libéraux en France », Irdes : Document de travail, n° 51, 51 p.

Bärnighausen T. et Bloom D.E., 2011, "The global Health workforce" in : Glied S. et Smith P., *The oxford handbook of health economics*, New York : Oxford University press, pp. 486-519

Coldefy M., Com-Ruelle L., Lucas-Gabrielli V. et Marcoux L., 2011, *Distances et temps d'accès aux soins en France métropolitaine*, Irdes : Rapport, n° 550 + annexes n° 551, 121 p. + 135 p.

Hilal M., 2010, « ODOMATRIX. Calcul de distances routières intercommunales », *Cahier des Techniques de l'INRA*, Numéro spécial : Méthodes et outils de traitement des données en sciences sociales. Retours d'expériences, pp. 41-63

Moschetti K., 2005, *Quelle place pour les préférences des patients dans la régulation du système hospitalier ?*, Université de la Méditerranée : Thèse, 302 p.

Pilkington H., Blondel B., Drewniak N. et Zeitlin J., 2012, "Choice in maternity care : associations with unit supply, geographic accessibility and user characteristics", *International Journal of Health Geographics*, vol. 11, n° 35, 13 p.

Solard J. et Evain F., 2012, « Les disparités territoriales d'accès aux soins hospitaliers : comparaison de 2 spécialités », Drees : *Etudes et Résultats*, n° 794, 6 p.

Tonnellier F. et Lucas V., 1995, « Distances réelles d'accès et attraction », CREDES : *Actes du IVe colloque géographie et socio-économie de la santé*. Hôpitaux et géographie des soins, pp. 51-60

Etude descriptive de l'état de santé des riverains des aéroports de Paris-Charles-de Gaulle et Paris-Orly en lien avec la pollution atmosphérique liée à l'activité aéroportuaire et au trafic aérien

Etienne Cassagne, Mathieu Daniel, Marie-Thérèse Guillam, Marine Le Guélennec, Sylvie Martin et Claire Ségala

SEPIA-Santé, 56150 Baud, France

ecassagne_sepia@orange.fr

Mots-clefs - Aéroports, Pollution, Exposition, Indicateurs sanitaires

Contexte

La Région Ile-de-France a inscrit le concept de santé-environnement au cœur de sa politique de santé depuis maintenant de nombreuses années. La qualité de l'air constitue à cet égard un enjeu majeur de santé publique. La participation en Ile-de-France des deux aéroports internationaux, Paris Charles-de-Gaulle et Paris-Orly, dans la dégradation de la qualité de l'air pose question. Bien que des études sur l'impact sanitaire des pollutions atmosphériques existent, de nombreuses questions subsistent quant à leurs conséquences. Aussi, à travers le programme HP 41-006 « Etudes épidémiologiques sur l'incidence des plateformes aéroportuaires sur la santé publique », la Région a initié la réalisation d'une étude relative à l'état de santé des riverains des aéroports franciliens.

Objectifs

L'objectif général de cette étude est de mieux connaître l'état de santé des habitants proches des aéroports de Roissy et d'Orly, et de générer des hypothèses sur un lien éventuel entre cet état de santé et la proximité géographique, potentiellement synonyme d'une plus forte exposition à la pollution atmosphérique liée aux activités aéroportuaires. Les objectifs spécifiques ont ainsi été :

- D'actualiser et de synthétiser l'état des connaissances sur le sujet
- De collecter les données existantes sur l'état de santé des populations riveraines des aéroports franciliens (mortalité et hospitalisations), la pollution atmosphérique, le bruit et la composante socioéconomique
- De construire un indice de défaveur socioéconomique et des indicateurs de santé standardisés
- De déterminer statistiquement si des différences en termes de santé publique pouvaient être mises en exergue par rapport aux moyennes régionales
- De réaliser des cartes, centrées sur les aéroports, représentant les différents indicateurs sanitaires d'intérêt

Données

Les données socioéconomiques et de pollution atmosphérique sont disponibles pour la totalité des communes de l'Ile-de-France, celles de bruit ne le sont que pour l'agglomération parisienne tandis que les données sanitaires concernent deux domaines d'étude englobant les aéroports : 113 communes (plus deux arrondissement parisiens) pour le domaine de Roissy, 83 pour celui d'Orly.

Indicateurs socioéconomiques L'ensemble des données socioéconomiques (is-

sues du recensement Insee de 2010) préalablement sélectionnées permettent de caractériser les dimensions matérielle et sociale de la défaveur socioéconomique (niveau de diplôme, taux de chômage, revenus, conditions d'occupation des logements...).

Indicateurs de pollution atmosphérique et de bruit

Le dioxyde d'azote (NO2) et les particules (PM10) sont des polluants dont les impacts sur la santé sont reconnus, et pour lesquels il est fréquent d'enregistrer des dépassements des valeurs limites en milieu urbain. Les indicateurs retenus sont, pour chaque commune et pour la période 2007-2011, le pourcentage d'habitants concernés par un dépassement de la valeur limite annuelle en NO2 (40 μg/m3), ou par un dépassement de la valeur limite journalière en PM10 (50 μg/m3 pendant plus de 35 jours par an). Enfin, afin de tenir compte des effets du bruit, les indicateurs utilisés sont la part de population exposée, par commune, au dépassement de la valeur limite pour le bruit routier (68 dB(A)) et le bruit aérien (55 dB(A)).

Indicateurs sanitaires

Les données de mortalité proviennent du Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDC), et sont agrégées par commune. Les indicateurs retenus (période 2007-2011) sont les décès toutes causes (hors causes accidentelles), pour causes respiratoires, pour causes cardiovasculaires (population de 15 ans ou plus), par tumeurs malignes et par tumeurs malignes au niveau du larynx, de la trachée, des bronches ou des poumons (15 ans ou plus). Pour cette dernière cause il s'agit, en grande majorité, de tumeurs du poumon.

Les données d'admissions hospitalières pour les soins de courte durée en médecine, chirurgie, obstétrique et odontologie (base MCO) ont été recueillies auprès de l'Agence Technique de l'Information sur l'Hospitalisation (ATIH), avec information sur le code postal du lieu de résidence (période 2007-2011). Les indicateurs sont les hospitalisations pour causes respiratoires, asthme, broncho-pneumopathie chronique obstructive ou BPCO (population de 15 ans ou plus), bronchiolite (0-4 ans), bronchite aiguë, causes cardio-vasculaires et cardiopathie ischémique (15 ans ou plus pour les deux dernières causes).

Méthodes

Construction d'un indice de défaveur socioéconomique

Au vu de la diversité des territoires d'Ile-de-France, un indice de défaveur socioéconomique a été créé spécifiquement pour l'étude en s'appuyant sur une Analyse en Composantes Principales (ACP). Suite à plusieurs étapes de sélection (dont une se basant sur les résultats d'une ACP), plusieurs indicateurs sont retenus. Ils ont été ensuite intégrés dans une nouvelle ACP dont les points-observations (ou scores) de la 1ère composante principale correspondent les valeurs de l'indice de défaveur (plus elles sont élevées, plus le niveau de défaveur est important).

Construction d'indicateurs sanitaires standardisés

Les ratios standardisés de mortalité ou SMR (ratio du nombre observé de décès sur le nombre attendu) ont été calculés pour chacune des communes des domaines d'étude de Roissy et d'Orly, avec la mortalité de la population d'Ile-de-France en référence. Afin de pallier aux risques d'erreur d'interprétation liés aux communes à faible population ou liés à des pathologies rares, les SMR bruts ont été lissés par une technique tenant compte des SMR des communes voisines : la méthode de Marshall. La présence d'une éventuelle autocorrélation spatiale des SMR entre communes voisines a été étudiée via l'indice de Moran. Les ratios standardisés d'admissions hospitalières ou SIR ont été calculés de manière similaire.

Analyse statistique

Pour l'étude des relations entre les deux séries d'indicateurs sanitaires (mortalité et

admissions hospitalières) et la proximité aux aéroports, plusieurs méthodologies ont été employées. Pour cela, les SMR et les SIR ont été calculés pour quatre zones, incluses dans chaque domaine d'étude et correspondant à différents niveaux de proximité aux aéroports, en prenant pour référence la mortalité francilienne. Ensuite, au sein de chaque domaine, des comparaisons ont été effectuées entre les trois zones les plus proches des aéroports et celle la plus éloignée par l'intermédiaire de deux méthodes :

- Le calcul du ratio des SMR et SIR de chacune des trois zones avec celui de la zone la plus excentrée
- Des modèles de régression de Poisson qui permettent de tenir compte d'autres facteurs pouvant influer sur la mortalité comme la défaveur socioéconomique et la part de population concernée par les dépassements des valeurs limites de NO2, PM10 et de bruit

Résultats

Revue bibliographique

Les études portant sur les effets sanitaires de la pollution atmosphérique liée aux plateformes aéroportuaires sont peu nombreuses. A côté d'un certain nombre de travaux réalisés chez les riverains de l'aéroport de Schiphol, aux Pays Bas, seules sept autres études ont été identifiées (toutes aux Etats-Unis, sauf une en Italie). Plusieurs d'entre elles se présentent sous la forme d'études descriptives de type écologique géographique, dont deux mettant en avant une relation significative entre divers indicateurs sanitaires et la proximité aux aéroports.

Défaveur socioéconomique et pollution atmosphérique : caractéristiques de la région et des domaines

Les communes au sud-ouest (Seine-Saint-Denis principalement) de l'aéroport de Roissy et au nord-est (Val-de-Marne) de l'aéroport d'Orly apparaissent comme étant les plus défavorisées. Au contraire, des communes au nord-ouest et à l'est de Roissy, et à l'ouest d'Orly, semblent plus aisées. Dans le cas de Roissy, les communes se caractérisant par un environnement essentiellement rural apparaissent moins défavorisées que les autres.

Concernant la pollution, la majorité des communes de la région n'est pas concernée par des dépassements de seuils en NO2 ou en PM10, y compris celles autour des aéroports. Les populations les plus exposées résident à Paris et dans les communes de la petite couronne, ce qui correspond au sud-ouest du domaine d'étude de Roissy et au nord de celui d'Orly. Ces dépassements apparaissent clairement liés au trafic routier et ne peuvent donc servir à étudier les liens entre effets sanitaires et aéroports. Par conséquent, cela confirme que seule la proximité peut être utilisée ici pour évaluer l'exposition de la population aux activités aéroportuaires.

Récapitulatif des observations en lien avec à la mortalité

Les communes à proximité de l'aéroport de Roissy sont impactées significativement par des excès de risque de décès (toutes causes, respiratoires, tumeurs malignes et tumeurs du poumon) par rapport à l'Ile-de-France et à la zone la plus excentrée du domaine d'étude. Le lien entre ces excès de risque et la zone géographique perdure lors de la prise en compte de la défaveur socioéconomique et du trafic routier. Toujours autour de l'aéroport de Roissy, plus la part de population communale exposée au dépassement du seuil (55 dB(A))de bruit aérien est élevée, plus le risque de décès par causes cardiovasculaires augmente. A Orly, des excès de risque de décès (causes respiratoires et cardiovasculaires) sont également mis en avant pour les zones les plus proches de l'aéroport par rapport à la zone la plus excentrée du domaine d'étude. Ces risques perdurent après la prise en compte de la défaveur et du trafic routier.

Récapitulatif des observations en lien avec les admissions hospitalières

Pour Roissy, à l'exception des admissions pour causes cardiovasculaires et cardiopathie ischémique, les cartes montrent des risques plus élevés qu'en Ile-de-France pour de très nombreuses communes du domaine d'étude. Ces observations sont retrouvées dans l'étude des risques dans les zones à proximité de l'aéroport par rapport à la région. Par contre, par rapport à la zone la plus excentrée du domaine d'étude, seuls les risques d'admission pour asthme et bronchiolite sont plus élevés dans les zones les plus proches des aéroports. De plus ces risques diminuent lors de la prise en compte de la défaveur socioéconomique et du trafic routier. Pour Orly, les risques d'admissions pour toutes causes respiratoires, pour la bronchite aiguë, la BPCO, la cardiopathie ischémique et pour toutes causes cardiovasculaires apparaissent plus élevés à proximité de l'aéroport qu'en Ile-de-France et que dans la zone la plus excentrée du domaine d'étude. La prise en compte des facteurs de confusion maintient le risque associé à la zone pour les admissions pour toutes causes respiratoires et cardiovasculaires. Ce n'est pas le cas pour les autres indicateurs qui enregistrent une plus ou moins grande diminution des risques avec la prise en compte de la défaveur et du trafic routier.

Conclusion

Des excès de risque dans les zones à proximité des plateformes sont donc mis en évidence, ces résultats se rapprochant de ceux de deux études américaines (aéroports de l'Etat de New York et de Warwick). Un certain nombre d'entre eux (mortalité toutes causes et hospitalisations pour asthme autour de Roissy ; mortalités cardiovasculaires et respiratoires, hospitalisations pour bronchite, bronchiolite, BPCO et causes cardiovasculaires autour d'Orly) ne sont pas significatifs dans les modèles prenant en compte la défaveur socioéconomique et le trafic routier, mais les valeurs des niveaux de risque sont peu modifiées. Néanmoins, tous les résultats obtenus sont à prendre avec précaution du fait des différences enregistrées entre les deux domaines d'étude. Les zones les plus proches des aéroports sont souvent les plus impactées, mais aucun gradient net, en lien avec cette proximité, n'apparaît. Par contre, un certain nombre de communes cumulent divers excès de risques de décès et/ou d'hospitalisations.

Références

Franssen EAM, Lebret E, Staatsen BAM, 1999. Health Impact Assessment Schiphol airport, overview of results until October 1999. RIVM.

Groupe Chadule, 1997. Initiation aux pratiques statistiques en géographie (4ème édition). Ed. Armand Colin, Paris, 203 p.

Havard S., Deguen S., Bodin J., Louis K., Laurent O., Bard D., 2008. A small-area index of socioeconomic deprivation to capture health inequalities in France. Social Science and Medicine, 67(12), 2007-16.

Lalloué B., Monnez JM., Padilla C., Kihal W., Le Meur N., Zmirou-Navier D., Deguen S., 2013. A statistical procedure to create a neighborhood socioeconomic index for health inequalities analysis. International Journal for Equity in Health, 12 :21.

Lin S, Munise JP, Herd-Losvio, et al.,2008. Residential proximity to large airports and potential health impacts in New York state. Int Arch Occup environ Health, 81, 797-804.

Marshall RJ, 1991. Mapping disease and mortality rates using empirical bayes estimators. J R Stat Soc Ser C Appl Stat, 40(2), 283-94.

Staatsen BAM, Doornbos G, Franssen EAM, Heisterkamp SH, Ameling CB, Lebret E., 1998. Spatial patterns in cardiovascular and respiratory disease rates around Schiphol airport. RIVM - Bilthoven - the Netherlands.

Staatsen B, Franssen E, Lebret E. Health impact assesment Schiphol Airport (rapport en anglais). Report number 441520003.

Vanderslice R, Fulton J. Neighborhood health differentials in Warwick, 2012. RI : An analysis of risk factors. Med Health RI, 95, 331-333.

Visser O, van Wijnen JH, van Leeuwen,Flora E., 2005. Incidence of cancer in the area around Amsterdam Airport Schiphol in 1988-2003 : a population-based ecological study. BMC Public Health, 5 : 127.

Atelier 11

Statistiques pour l'analyse des territoires

Recomposer une représentativité socio-spatiale à partir d'enquêtes probabilistes sans échantillonnage préférentiel : le cas d'enquêtes ménage déplacement sur le littoral Marseillais

Frédéric Audard, Samuel Carpentier

Aix-Marseille Université, CNRS, ESPACE UMR 7300

frédéric.audard@univ-amu.fr, samuel.carpentier@univ-amu.fr

Mots-clefs - échantillonnage spatial, enquête ménage, littoral Marseillais

Résumé

Les sciences sociales sont depuis longtemps liées à la construction de données ou à l'accès à des données existantes. Aujourd'hui, l'émergence des big data amène aujourd'hui le monde scientifique à s'interroger sur les protocoles de construction, d'acquisition et d'analyse de ces données. En effet, les évolutions récentes liées à la la construction automatique de données et à leur diffusion font évoluer les comportements, les attentes et les aspirations des chercheurs. Les sciences sociales doivent, en conséquence, transformer les approches méthodologiques qu'elles mettent en œuvre. À cet égard, la géographie, discipline largement impliquée dans la construction et l'analyse de données, n'échappe pas à ce mouvement. La généralisation des outils de géolocalisation (par GPS, GSM, WiFi ou encore adresse IP) aboutit à une explosion de la disponibilité des données à référence spatiale (Audard, Carpentier, Oliveau, 2014).

Si un consensus émerge quant aux perspectives majeures que fournit cette abondance de données (Marx, 2013), de nombreuses réserves sont formulées quant à l'utilisation de ces bases. Ces données, pour leur immense majorité n'ont pas, entre autres, vocation à améliorer la connaissance sociale (Pumain, 2014) et posent par conséquent un problème de cohérence vis-à-vis de leur utilisation en recherche (Terrier, 2011).

Elles posent également le problème fondamental, en sciences sociales mais plus particulièrement en géographie, de leur représentativité sociale, démographique, économique et surtout spatiale. En effet, bien que l'échantillon qu'elles représentent soit souvent très important (parfois jusqu'à prétendre à l'exhaustivité), il ne peut que rarement représenter l'ensemble de la population statistique que les chercheurs souhaitent étudier. Pour autant, la taille importante de l'échantillon fournit un intervalle de confiance satisfaisant, qui amène souvent le chercheur à négliger ce problème de représentativité.

Si l'on admet que l'intervalle de confiance lié à un échantillonnage est défini par l'équation suivante (1), cet intervalle de confiance se trouve modifié si on examine la représentativité de notre échantillon à travers plusieurs variables de contrôle. On tente ainsi de garantir une représentativité fondée sur des variables démographiques, sociales ou économiques. L'intervalle de confiance s'en trouve augmenté assez rapidement (2). Toutefois, sur des échantillons de taille importante, l'intervalle de confiance reste souvent acceptable.

$$Z_{\alpha/2} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$Z_{\alpha/2}$ est l'intervalle de confiance, avec α = niveau de confiance, σ = écart-type et n = taille de l'échantillon

$$Z_{\alpha/2} \times p \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Avec p = nombre de variables d'intérêt

Le problème se pose lorsqu'on souhaite garantir une représentativité socio-spatiale de nos données. L'étude d'un phénomène spatialement défini et s'inscrivant dans des entités spatiales identifiées implique de prendre en considération les différenciations socio-spatiales qui lui sont liées. Par exemple, les comportements de mobilités sont définis comme dépendant des caractéristiques de genres, de catégories socio-professionnelles, ou de revenus. Chaque entité spatiale dispose de ses propres caractéristiques concernant ces variables. Il est donc nécessaire de garantir des représentativités différentes dans chaque entité si on considère ces variables comme des variables d'intérêt nécessaires à la bonne qualité de notre échantillon. Ainsi, si la représentativité socio-spatiale n'a pas été envisagée a priori dans la construction même de la base de données, notre intervalle de confiance est modifié (3) et peut rapidement devenir problématique.

$$Z_{\alpha/2} \times p \times i \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (3)$$

Avec i = nombre d'entités spatiales de l'aire d'étude

Pour faire face à ce problème qui se pose particulièrement lorsque l'on exploite des données créées à d'autres fins que l'analyse spatiale, nous proposons une méthode de reéchantillonnage a posteriori. Cette méthode repose sur le principe d'échantillonnage par stratification appliquée a posteriori à chaque entité spatiale. Ainsi, nos variables d'intérêt définissent des sous groupes au sein de notre population mère déterminant les proportions à conserver dans notre population enquêtée. Par exemple, dans le cas de deux variables d'intérêt (genre et CSP) avec deux modalités possibles pour le genre et cinq pour la CSP, on obtient 10 sous-groupes de population (tableau 1). La méthode proposée consiste à identifier le sous-groupe le plus sous-estimé dans chaque entité spatiale au regard des proportions définies par la stratification effectuée sur la population mère.

Variable d'intérêt 1	Variable d'intérêt 2	Sous-groupes
Genre 1	CSP1	Sous-groupes 1
Genre 1	CSP2	Sous-groupes 2
Genre 1	CSP3	Sous-groupes 3
Genre 1	CSP4	Sous-groupes 4
Genre 1	CSP5	Sous-groupes 5
Genre 2	CSP1	Sous-groupes 6
Genre 2	CSP2	Sous-groupes 7
Genre 2	CSP3	Sous-groupes 8
Genre 2	CSP4	Sous-groupes 9
Genre 2	CSP5	Sous-groupes 10

Tableau 1

Ainsi, pour chaque coupe de variable d'intérêt q et r, on peut calculer un effectif redressé du sous groupe de l'échantillon concerné par la variable d'intérêt q au sein de l'entité spatiale k, noté n'_{qk}, avec :

$$n'_{q.k} = \begin{cases} n_{q.k} & \text{si pour tout r, on a : } \frac{\widetilde{n_{q.k}}}{N} - \frac{n_{q.k}}{N} > \frac{\widetilde{n_{r.k}}}{N} - \frac{n_{r.k}}{N} \\ \frac{n_{q.k}\left(\widetilde{n_{r.k}}/N\right)}{\widetilde{n_{q.k}}/N} & \text{sinon} \end{cases}$$

Avec : $\widetilde{n_{qk}}$ Effectif théorique du sous-groupe de l'échantillon concerné par la variable de contrôle q au sein de l'entité spatiale k
n_{qk} : Effectif observé du sous-groupe de l'échantillon concerné par la variable de contrôle q au sein de l'entité spatiale k

Par ailleurs, nous développons un indice visant à assurer l'amélioration de l'intervalle de confiance appliquée à notre population enquêtée. Il s'agit en réalité d'un contrôle afin que le renforcement de la représentativité de notre échantillon, par un meilleur respect de la stratification établie, ne soit pas annulé par une réduction excessive de notre échantillon. Un trop grand apurement de nos données aurait pour conséquence inéluctable d'augmenter notre intervalle de confiance. Ainsi, un contrôle systématique est réalisé, indépendamment pour chaque unité spatiale k, de la manière suivante :

$$Z_{\alpha/2} \times p \times \frac{\sigma}{\sqrt{n_{qk}}} < Z_{\alpha/2} \times p \times \frac{\sigma}{\sqrt{n'_{qk}}} \quad (4)$$

Nous proposons ici, d'appliquer cette méthode à l'étude des mobilités de loisir sur le littoral marseillais. Pour ce faire, nous exploiterons les données de l'Enquête Ménage Déplacement et Grand Territoire des Bouches-du-Rhône de 2009 (N=13 600 ménages). Nous pourrons ainsi reconstituer une représentativité socio-spatiale de nos données en prenant en compte trois variables d'intérêt : l'âge, le genre et la catégorie socioprofessionnelle [1].

Références

Audard, F, Carpentier, S., and S. Oliveau (2014), "Les big data sont-elles l'avenir de la géographie [théorique et quantitative] ?" Proceeding of the conference Géopoint. http://www.groupe-dupont.org/ColloqueGeopoint/Geopoint14/Documents/GP14_PropositionsDebat_Web/GP14-A2-1-Audard-Carpentier-Oliveau.pdf

Marx, V. (2013). Biology : The big challenges of big data. Nature, 498(7453), 255–260.

Pumain, D., (2014), "Editorial : Observation, observation, observation", *Cybergeo-European Journal of Geography*, http://cybergeo.revues.org/26248

Silberman R., (1999). *« Les sciences sociales et leurs données »*, Rapport pour le Ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie, 180 p.

Terrier, C., (2011), "La valeur des données géographiques", *L'espace Géographique*, 40(2) :103-108.

1. Les auteurs remercient l'OHM Littoral méditerranéen , LABEX DRIIM

Qu'est-ce qui fait discontinuité dans les villes intermédiaires américaines ? Le cas de Raleigh, capitale de Caroline-du-Nord.

DUROUDIER Sylvestre

UMR 8504 – Géographie-cités /Université Paris 7 – Denis Diderot

sylvestre.duroudier@gmail.com

Mots-clefs - séparation socio-spatiale, ségrégation, dissimilarité, analyses multivariées.

Approche et objectif

L'idée que les villes moyennes ou intermédiaires constituent le niveau idéal de la hiérarchie dans un monde urbain est largement répandue dans la société (Llop, 1999). Pourtant, en l'absence de démonstration empirique, rien ne montre que la situation de la ségrégation socio-spatiale y soit meilleure, en particulier aux Etats-Unis (Wong et al., 1999) où ces villes commencent à devenir une catégorie d'analyse (Bell et Jayne, 2009). Celles-ci ont longtemps été laissées dans l'ombre d'un discours dominant sur les grandes métropoles (Scott, 2011), pourtant quelques géographes ont suggéré que les configurations spatiales de la division sociale de l'espace puissent y être différentes (Berry et Kasarda, 1977 ; White, 1983). En effet, il est légitime de faire l'hypothèse que les configurations spatiales de la ségrégation varient suivant la taille des villes : « la moindre taille offre davantage de possibilités que des extrêmes voisinent » et soient à l'origine de discontinuités dans l'organisation spatiale socio-résidentielle (Duroudier, 2013). Or les approches et les outils classiques d'analyse ne permettent pas de prendre en compte ces configurations (Massey et Denton, 1988). Il est en effet nécessaire de changer les termes de compréhension de la division sociale de l'espace en utilisant le concept de discontinuité, c'est-à-dire l'association entre la proximité spatiale et la dissemblance sociale (François, 2002). A partir du concept de discontinuité, cette recherche vise donc à apprécier les configurations spatiales de la ségrégation et de la division sociale de l'espace dans les villes intermédiaires des Etats-Unis.

Dans cette perspective, l'objectif de cette communication est double. D'un point de vue méthodologique, on présente une procédure de mesure et d'analyse qui permette d'identifier, de quantifier et de qualifier les discontinuités dans les villes intermédiaires des Etats-Unis. Il s'agit particulièrement de répondre aux questions : qu'est-ce qui fait discontinuité, dans quelle mesure, et où ? D'un point de vue thématique, les premiers résultats de ces analyses appliquées au cas de Raleigh discutent les schémas classiques de la ségrégation urbaine et ouvrent des perspectives de compréhension de l'organisation et des dynamiques socio-spatiales. Cette présentation est structurée en trois temps. D'abord, le contexte d'étude et les données utilisées sont précisés, notamment par une brève analyse factorielle sur les unités spatiales. Ensuite, nous expliquons la procédure méthodologique suivie, d'une part pour mesurer les discontinuités, ce qui n'est pas sans poser quelques questions sur les méthodes et les seuils, et d'autre part pour analyser les différences obtenues. Enfin, ces analyses fournissent des résultats qui engagent un débat autour des logiques à l'origine de l'organisation des discontinuités socio-spatiales.

Contexte d'étude et données

Pour cette communication, les discontinuités sont approchées par quatre aspects distincts, mais souvent liés, de la division

sociale de l'espace aux Etats-Unis : l'appartenance ethno-raciale, l'âge, les niveaux d'éducation et de revenu. Les 19 variables considérées correspondent à des catégories agrégées dans l'ensemble de la population résidente. Elles sont issues du recensement général de 2010 et du recensement partiel (*American Community Survey*) de 2008-2012, tous deux réalisés par l'*US Bureau of Census*.

Les données étudiées sont à l'échelle du *block group* : maille la plus fine pour laquelle sont disponibles les recensements nationaux partiels. En moyenne de 800 habitants, cette maille d'analyse est la plus appropriée pour capturer les logiques de la séparation socio-spatiale à l'échelle locale du voisinage sans faire intervenir des biais liés aux variables dans les délimitations comme c'est le cas à d'autres niveaux.

L'étude porte sur l'aire urbaine de Raleigh, capitale de Caroline-du-Nord sur la côte Centre-Est des Etats-Unis. Les trois comtés qui forment l'aire métropolitaine de Raleigh (*Metropolitan statistical area*, selon la définition de 2013 de l'*Office of Management and Budget*) totalisent 1,13 millions d'habitants en 2010, ce qui en fait la plus petite des villes intermédiaires américaines au 48e rang de la hiérarchie nationale. Portée par le *Research Triangle*, cette ville connaît une croissance insolente avec un doublement de la population en deux décennies.

Cet essor met précisément en jeu les logiques des divisions socio-spatiales en articulant les héritages des colonies confédérées, les schémas classiques de la ségrégation, et les dynamiques de la métropolisation contemporaine. En tant qu'élément de contexte, l'analyse de données (analyse factorielle, classification) montre que les configurations de la division sociale de l'espace répondent à la fois aux schémas classiques (des quartiers plutôt Noirs et Hispaniques défavorisés d'un côté, des Blancs plus aisés de l'autre), tout en suggérant des logiques spécifiques qui justifient l'approche par les discontinuités : les nombreuses enclaves, les proximités entre différentes spécialisations résidentielles.

Mesure et analyses des discontinuités

La première étape de la méthodologie est la mesure des discontinuités : il s'agit d'obtenir une valeur indiquant l'ampleur de la séparation socio-spatiale sur chacune des variables, pour les 1521 segments constitués par les contiguïtés des 569 block groups. Parmi les différentes mesures de dissemblance possibles, on retient ici une mesure simple calculant la valeur absolue de la différence entre les valeurs en pourcentages de deux unités spatiales contigües (François, 1998 ; Grasland et Hamez, 2005). Cette mesure présente plusieurs avantages, en particulier ceux d'être bornée, d'avoir une signification, et d'être sommable. Toutefois, elle ne résout pas la question du seuil à partir duquel une dissemblance devient discontinuité : on considère ici pour des raisons théoriques et empiriques que les discontinuités sont au-delà de 20 % de différence (François, 1998 ; Grasland et Hamez, 2005).

La seconde étape méthodologique vise à faire ressortir ce qui fait ou non discontinuité à Raleigh et les logiques spatiales de la séparation. En ceci, trois analyses complémentaires sont menées sur la base de données croisant les segments (les lignes de contiguïté entre les unités spatiales) et les indices de dissemblance :

- Les principaux indicateurs univariés permettent de comparer la participation des variables à la création de discontinuités : plus ceux-ci sont élevés, plus les discontinuités sont nombreuses et fortes.
- L'organisation générale de la séparation socio-spatiale peut être appréhendée par la géographie de deux indicateurs en particulier : la valeur moyenne des dissemblances sur chaque segment permet d'identifier les discontinuités structurelles, tandis que la dissemblance maximale sur chaque segment montre toutes choses égales par ailleurs quant à la variable où se situent les plus fortes discontinuités.
- De la même manière que pour des unités spatiales, il est intéressant d'appliquer une analyse factorielle et une classifica-

tion aux indices de dissimilarité et pour l'ensemble des segments segments (Grasland et Hamez, 2005). Il s'agit d'identifier les combinaisons et les effets de cumuls entre les discontinuités et ce faisant de faire émerger les formes des séparations socio-spatiales.

Résultats et discussion

De manière générale, les premiers résultats de cette recherche en cours permettent de voir que le continu est la norme à Raleigh, c'est-à-dire qu'il y a davantage de situations de ressemblance sociale dans l'espace du voisinage que de séparations. Toutefois, plus en détail, il apparaît que les situations de discontinuités sont nombreuses : les deux tiers des segments se caractérisent par au moins une variable dont la dissemblance est significative. La division sociale des espaces urbains ne sauraient donc être réduite à des lignes de ségrégation, en particulier raciales dans le contexte américain. En outre, certaines variables participent davantage aux discontinuités, notamment les groupes les plus favorisés (pour le revenu et l'éducation) et les populations blanches. Ce résultat laisse supposer que la division sociale de l'espace relève moins de la concentration par auto-agrégation que des logiques d'évitement dans les choix résidentiels, et ainsi engage le débat sur le poids respectif des facteurs à l'origine de la division socio-spatiale.

D'un point de vue spatial, les premiers résultats remettent en perspective les approches plus classiques de la ségrégation. En effet, les schémas usuels, fondés sur l'étude des grandes métropoles et qui identifient de vastes zones socialement homogènes et spatialement opposées, sont remis en cause par le fait que les discontinuités ne sont pas tant sur les contours de zones mais bien au sein même de ces zones. Les critères qui font l'homogénéité d'une zone au moyen des méthodes classiques sont précisément ceux qui contribuent le plus à fragmenter et diviser cette zone dans une approche par les discontinuités. Aussi, ni les enclaves ethniques ni les banlieues pavillonnaires ne sont véritablement homogènes, et les seules discontinuités véritablement structurelles (cumulant différentes variables) isolent les quartiers centraux universitaires.

La procédure d'analyse, consistant à examiner les participations des variables aux discontinuités, leurs géographies, et les combinaisons qui se nouent entre elles, offre donc de nombreuses perspectives : mise en place dans l'ensemble des villes intermédiaires, elle devrait nous permettre d'identifier l'éventuelle unité des configurations spatiales de la ségrégation selon la taille des villes.

Références

Bell D., Jayne M. (dir.), 2006, *Small Cities. Urban Experience Beyond the Metropolis*, New York, Taylor et Francis, 282p.

Berry B.J.L., Kasarda J., 1977, *Contemporary Urban Ecology*, New York, Macmillan, 497p.

Duroudier S., 2013, « Les divisions socio-spatiales dans les villes intermédiaires des États-Unis. Perspectives de recherche à partir de la notion de discontinuité », *L'Espace géographique*, Vol. 43, No.2, 134-147.

Massey D.S., Denton N.A., 1988, « The dimensions of residential segregation », *Social forces*, Vol. 67, No.2, 281-315.

François J.-C., 1998, « Discontinuités territoriales et mise en évidence de systèmes spatiaux dans l'espace des collèges de l'agglomération parisienne », *L'Espace géographique*, Vol. 27, No.1, 63-75.

François J.-C., 2002, « Évitement à l'entrée en sixième et division sociale de l'espace scolaire à Paris », *L'Espace géographique*, Vol. 31, No.4, 307-327.

Grasland C., Hamez G., 2005, « Vers la

construction d'un indicateur de cohésion territoriale européen », *L'Espace géographique*, Vol. 34, No.2, 97-116.

Llop J. (dir.), 1999, *Villes intermédiaires et urbanisation mondiale*, Lleida, Ajuntament de Lleida, 297p.

Office of Management and Budget, 2013, OMB Standards for Delineating Metropolitan and Micropolitan Statistical Areas, *OMB Bulletin* No. 13-01, Url : `http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/bulletins/2013/b-13-01.pdf`.

Scott A.J.,2011, « Emerging cities of the third wave », City : Analysis of Urban, Trends, Culture, *Theory, Policy, Action*, Vol. 15, No.3-4, 289-321.

White M.J., 1983, « The measurement of spatial segregation », *American Journal of Sociology*, Vol. 88, No.5, 1008-1018.

Wong D.W.S., Lasus H., Falk R.F., 1999, « Exploring the variability of segregation index D with scale and zonal systems : an analysis of thirty US cities », *Environment and Planning A*, Vol. 31, No.3, p507-522.

Mesurer la ségrégation sociospatiale à l'aide des revenus Une application aux grandes agglomérations de France métropolitaine

Jean-Michel Floch

Administrateur de l'Insee
Référent scientifique au Département de l'action régionale de l'Insee

Jean-michel.floch@insee.fr

Mots-clefs - Ségrégation, indicateurs, autocorrélation, statistique spatiale.

Le revenu constitue sans doute la variable qui résume le mieux la difficulté sociale. C'est d'ailleurs à partir de cette variable que le Commissariat général à l'égalité des territoires (CGET), avec l'appui technique de l'Insee a proposé de nouveaux quartiers pour la politique de la ville. Grâce aux revenus fiscaux, on dispose d'une source quasi-exhaustive, localisée de plus à l'adresse. Ce qui permet de faire des analyses localisées à un niveau fin, en faisant abstraction des découpages usuels (y compris les Iris). C'est ce qui a été fait pour déterminer les nouveaux quartiers, construits à partir de regroupement de carreaux contigus à faible niveau de revenu.

Il est intéressant de passer de la détermination des quartiers à l'analyse des agglomérations pour comparer l'ampleur de la ségrégation spatiale, et la spatialisation des phénomènes. Des analyses ont déjà été menées à partir du revenu (Tovar, Bouzouina). Mais en France, la majorité des travaux utilisent les PCS (Charlot, L'Horty). Cette variable est un bon instrument d'analyse, mais les limites des indicateurs de ségrégation (invariance par permutation) font qu'il est difficile d'utiliser tout l'éventail des PCS et qu'on doit en général se limiter à des oppositions cadres/ouvriers.

La méthode

On peut procéder de façon analogue en utilisant les revenus, et se limiter à une mesure classique (dichotomique) opposant les hauts et les bas revenus. Là encore, on perd une partie de la richesse de l'information. S'appuyant sur le caractère continu des revenus, une série de travaux initiés par S. Reardon, associé à divers coauteurs (Bishop, O.Sullivan) ont permis de proposer des indicateurs cherchant à utiliser l'ensemble de la répartition des revenus. Ces indicateurs ont été qualifiés par leurs auteurs de « rank-ordered segregation indexes ».

Cette méthode peut être résumée de façon simple :

- au lieu de calculer un indicateur opposant les bas revenus aux hauts revenus, on calcule une suite de K indicateurs (k variant de 1 à K) opposant les revenus inférieurs à rk à ceux qui lui sont supérieurs. Chacun des indicateurs est un indicateur de type dichotomique, que l'on choisira parmi les indicateurs classiques (dans le cas présent, un indicateur de type Theil-Finizza, fondé sur l'entropie). Cette suite d'indicateurs peut être lue comme un profil de la ségrégation en fonction du revenu, profil qui varie selon les agglomérations.
- Reardon propose ensuite une façon de synthétiser cette suite d'indicateurs en un indicateur unique. Cette synthèse constitue la partie la plus technique de leur méthode. Elle consiste en l'élaboration d'un système de pondérations, pondérations qui vont croissantes jusqu'à la

valeur médiane du revenu et qui décroissent ensuite. La série des indicateurs dichotomiques et la série des poids permettent de calculer un indicateur global. Le détail de la méthode se trouve dans Reardon(2011) ou Floch(2014).

Les indicateurs utilisés pour la communication sont des indicateurs de type Theil-Finizza. Ils sont calculés sur un maillage de 200 m de côté. Pour corriger les problèmes liés à l'autocorrélation spatiale, on utilise une méthode proposée par Reardon et O'Sullivan en 2004, et qui permet de calculer les indicateurs locaux (au niveau du carreau) en utilisant le voisinage. On utilise des méthodes non paramétriques classiques.

E(si) désigne l'entropie calculée au niveau du carreau si, E l'entropie au niveau de l'agglomération, T le nombre de territoires élémentaires, ti la population du carreau i. H est l'indicateur de Theil-Finizza.

$$\widehat{E}(s_i) = -\sum_{i=1}^{K} \widehat{p}_k(s_i) * \log(\widehat{p}_k(s_i)) \qquad H = 1 - \frac{1}{TE}\sum_{i=1}^{N} t_i * \widehat{E}(si)$$

le calcul montre que l'indicateur de Reardon H^R s'écrit alors :

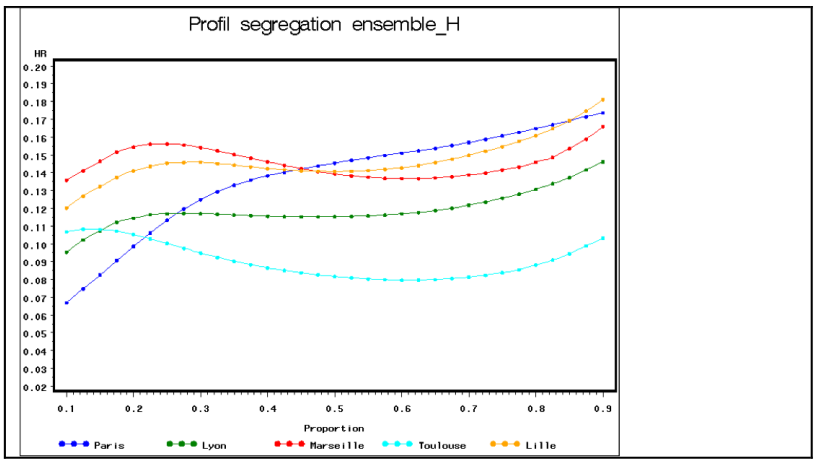
$$H^R = \int_0^1 \frac{E(p)}{\int_0^1 E(q)dq} H(p)dp = 2\ln(2)\int_0^1 E(p)H(p)dp$$

E(p) et H (p) désignent les indicateurs d'entropie et de Theil correspondant à une partition de la population entre p et 1-p, p étant compris entre 0 et 1.

Quelques résultats

Cette méthode a été appliquée aux plus grandes unités urbaines de France métropolitaine.

On trouve dans le graphique ci-dessous, à titre d'exemple les profils de la ségrégation dans les principales unités urbaines de rance métropolitaine, Paris, Marseille, Lyon, Toulouse et Lille.



La comparaison des profils a permis de mettre en évidence six groupes d'unité urbaine en tenant compte du niveau et de la forme des courbes.

Le calcul de l'indice H^R permet de classer les agglomérations en fonction du niveau de

la ségrégation. On trouve en tête du classement des villes moyennes comme Creil ou Nîmes, mais nombre des plus grandes agglomérations se situent parmi les vingt premières (dont Paris ; Lyon ; Marseille Strasbourg ou Montpellier). Ce classement peut être mis en rapport avec :

- le niveau des revenus de l'agglomération
- les indicateurs fondés sur la comparaison des extrêmes
- des études utilisant d'autres indicateurs
- de mettre en évidence les différences entre les banlieues et les villes-centre.

Comme on pouvait s'y attendre, il n'y a pas de lien marqué entre le niveau des revenus - mesuré par le revenu médian - et le niveau de la ségrégation. Les agglomérations dans lesquelles prédominent les quartiers pauvres, repérés comme relevant de la politique de la ville ont souvent des indices bas (Valenciennes, Douai..).

Les indicateurs « à la Reardon » ne donnent pas des résultats fortement corrélés à ceux que l'on obtient à l'aide de ceux qui opposent les revenus extrêmes. Mais on relève des différences dans les hiérarchies. Les rank-ordered segregation indexes font apparaître quelques résultats « attendus » qui n'apparaissaient pas dans les indicateurs riches pauvres. Ces différences de niveau dans la ségrégation peuvent être mises en relation avec quelques variables d'intérêt comme la répartition des logements sociaux, la concentration des revenus ou la taille de l'unité urbaine, et faire apparaître si l'unité urbaine est plus moins ségrégée que ce à quoi on pourrait s'attendre. Des représentations cartographiques peuvent alors expliquer en quoi la spatialisation des populations produit ces différences.

A terme, ces méthodes doivent pouvoir servir à mesurer l'évolution de la situation des territoires urbains les uns par rapport aux autres. Quelques explorations ont été effectuées entre 2007 et 2011, amis des travaux restent à mener pour apprécier si les évolutions sont ou non significatives.

Références

Apparicio, P.,Charron,M.,Petkévitch,V(2005), *Une application pour le calcul des indicateurs de ségrégation résidentielle*,Document de recherche INRS, Urbanisation, culture,société

Bouzouina,L, (2008), *Polycentrisme et ségrégation intra-urbaine : résultats exploratoires à partir d'une comparaison entre Lyon*, Lille et Marseille,˚ colloque de l'ASRDLF

Charlot,S,Hilal,M.,Schmitt,B (2009) La périurbanisation renforce-t-elle la ségrégation résidentielle urbaine en France ?, *Espace, populations,sociétés*,N˚2009/1

Floch,J-M(2012) *Détection des disparités socio-économiques*,L'apport de la statistique spatiale Document de travail H 2012/04

Floch,J-M ,Dabet G. (2014) *La ségrégation spatiale dans les grandes unités urbaines de France métropolitaine* , Document de travail de l'Insee H2014,/01

Gaschet,F.,Le Gallo,J.,(2005) *The spatial dimension of segragation : a case study in four french areas*,1990-1999, Cahiers du GRES N˚2005-12

Hutchens, R. M. (2004), "One Measure of Segregation," *International Economic Review*. 45 : 555-578.

Marpsat,M, Mansuy,M, (1991) Les quartiers des grandes villes, contrastes sociaux en milieu urbain, *Economie et statistique*,N˚245,1991-10,p33-47

Massey,D.S,Denton,N,(1988), The dimensions of residential segragation, *Social forces*,67(2) :281-315

R. Rathelot and P. Sillard, *L'apport des méthodes à noyaux pour mesurer la concen-*

tration résidentielle des immigrés en France de 1968 à 1999, Document de travail Insee G2010/11, 2010.

Reardon, S.F., et O'Sullivan, D. (2004) *"Measures of spatial segregation"* Sociological Methodology 34 :121-162.

Reardon, S.F. (2009). *"Measures of Ordinal Segregation."* Research on Economic Inequality, 17 : 129-155.

Reardon, S.F., et Bischoff, K. (2011). *"Income Inequality and Income Segregation."* American Journal of Sociology. 116/4 : 1092-1153.,

Tabard,N(1993), Des quartiers pauvres aux banlieues aisées, une représentation sociale du territoire, *Economie et statistique*,N°270,1993-10,p5-22

Theil, H. and Finezza, A.J. (1971), "A Note on the Measurement of Racial Integration of Schools by Means of Information Concepts," *Journal of Mathematical Sociology* 1 : 187-194.

Tovar,E(2009), *Mesurer la pauvreté et la ségrégation en Ilde de France, une approche capabiliste*, DT du centre d'études pour l'emploi,N°116

Atelier 12

Paysage, écologie du paysage

Simulation de scénarios d'urbanisation pour estimer l'impact écologique du développement résidentiel et des évolutions de trafic associées

Marc Bourgeois, Cécile Tannier, Jean-Christophe Foltête

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 CNRS - Université de Franche-Comté

Mots-clefs - croissance urbaine, scénarios de développement résidentiel, simulation de trafic, graphes paysagers, écologie du paysage, réseau écologique, connectivité

Contexte et problématique

La maîtrise de l'étalement urbain représente actuellement une préoccupation majeure en aménagement face au nombre important de nuisances induites par le phénomène. Sur le plan paysager, la croissance des villes se produit aux dépens des milieux naturels et agricoles, ce qui contribue à la fragmentation et à la réduction des habitats de la faune sauvage. Il est donc souhaitable de trouver un compromis entre les implantations résidentielles et la connectivité des habitats écologiques afin d'assurer la durabilité des populations animales. La recherche de ce compromis suppose une concertation entre les différents acteurs de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Dans ce contexte, une question centrale est de savoir quelles formes de villes sont les plus aptes à maintenir la fonctionnalité des réseaux écologiques. L'étude de cette question peut se fonder sur une approche de simulation prospective. Cette approche permet de proposer différentes alternatives d'aménagements possibles en simulant différents scénarios d'évolution urbaine de manière théorique (Mörtberg et al., 2007 ; Tannier et al., 2012a) ou réaliste (Aguilera et al., 2011). Nous partons du postulat que la création de scénarios réalistes plutôt que théoriques est préférable pour comparer précisément les impacts écologiques potentiels de différentes formes de croissance urbaine, notamment par la prise en compte des modifications de trafic susceptibles de résulter du développement résidentiel.

Notre principale hypothèse est que l'impact écologique de la croissance urbaine est plus important pour des scénarios favorisant l'étalement urbain. Pour ce type de scénario, le niveau de déconnexion des réseaux écologiques est a priori plus élevé que dans le cas d'un développement urbain compact. Notre deuxième hypothèse est que les scénarios présentant une densité bâtie locale élevée sont davantage favorables au maintien des réseaux écologiques.

Méthodologie

L'évaluation prospective de l'impact écologique de la croissance urbaine implique de combiner deux approches méthodologiques :

- La simulation prospective de nouvelles implantations résidentielles et des évolutions de trafic résultantes
- La modélisation des réseaux écologiques

Il s'agit ensuite de montrer dans quelle mesure les différentes formes de croissance urbaine impactent les réseaux écologiques des espèces animales de la zone d'étude. La zone d'étude est l'aire urbaine de Besançon, située à l'est de la France.

Simulation de scénarios de croissance urbaine

A partir d'une carte d'occupation du sol en mode raster, la simulation prospective de la croissance urbaine consiste à transformer l'état de certaines cellules non bâties (espaces agricoles ou forestiers notamment) en cellules bâties. Ces transformations s'effectuent en fonction de règles permettant de simuler l'application de différents modèles de villes (ville compacte, diffuse, ou fractale), ainsi que de règles d'accessibilité (proximité aux routes, accessibilité aux espaces ouverts, accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne et hebdomadaire).

Les scénarios de croissance urbaine ont été établis pour répondre à des normes d'aménagement réalistes : nombre total de logements construits chaque année, nombre de logements par commune en fonction de leur taille, proportion de logements individuels et collectifs. Certaines zones sont non urbanisables (surfaces en eau, zones inondables, emprise des routes...), auxquelles peuvent s'ajouter différentes restrictions ou incitations établies dans des documents réglementaires d'aménagement de type PLU (Plan locaux d'urbanisme) ou SCoT (Schémas de cohérence territoriaux).

Cinq scénarios d'urbanisation ont été simulés afin de proposer des formes urbaines différenciées :

- Scénario 1 : développement résidentiel dense et compact (ville compacte)
- Scénario 2 : développement résidentiel modérément dense et compact (ville modérément compacte)
- Scénario 3 : développement résidentiel localement dense et globalement diffus (périurbain régulé)
- Scénario 4 : développement résidentiel localement peu dense et globalement diffus (étalement urbain)
- Scénario 5 : développement résidentiel localement dense et favorisant l'accessibilité aux réseaux de transports en commun (tram et train) (Transit Oriented Development)

Pour chacun de ces scénarios de développement résidentiel, la simulation du trafic routier permet ensuite de connaître le nombre de véhicules par jour pour chaque tronçon de la zone d'étude. Ce trafic simulé vient s'ajouter au trafic de fond (poids-lourds et véhicules en transit) obtenu à l'aide de données de comptage routier.

Les scénarios d'urbanisation ont été réalisés à l'aide de l'outil logiciel MUP-City (Tannier et al., 2012b) et du module de simulation du développement résidentiel de la plateforme multi-agent MobiSim (Antoni, 2011). Les simulations de trafic sont également issues de MobiSim.

Modélisation des réseaux écologiques

La deuxième partie de ce travail consiste à modéliser les réseaux écologiques des espèces animales de la zone d'étude. Pour ce faire, les graphes paysagers représentent un bon compromis entre la précision et la quantité de données écologiques requises, et leur significativité (Urban and Keitt, 2001). Dans ces graphes, un nœud représente une tache d'habitat pour une espèce donnée. Les liens entre les taches d'habitat représentent les déplacements potentiels de l'espèce entre les taches. Un lien est créé lorsque l'espèce peut traverser la matrice qui sépare les deux taches d'habitat. Les graphes paysagers constituent le support pour calculer des métriques de connectivité des habitats écologiques à plusieurs niveaux : pour le graphe entier (connectivité globale), pour les composantes ou pour chaque élément du graphe (connectivité locale).

Puisqu'il n'est pas possible de modéliser les réseaux écologiques de toutes les espèces de la zone d'étude, une approche multi-espèces a été retenue pour ce travail. Cette approche consiste à travailler sur un nombre réduit d'espèces, susceptibles de représenter correctement l'ensemble des espèces concernées appartenant à un même

type d'habitat. Elle tient compte de certaines caractéristiques fonctionnelles des espèces.

Pour évaluer l'impact de la croissance urbaine sur chaque espèce-type, une métrique paysagère globale a été calculée pour l'ensemble de la zone d'étude. Une métrique paysagère locale a été calculée pour chaque tache d'habitat. L'évaluation de l'impact écologique consiste à mesurer, pour chaque espèce-type, la variation de la métrique entre l'état initial et l'état résultant de la simulation de chaque scénario de développement résidentiel.

La construction des graphes paysagers et le calcul des métriques de connectivité ont été réalisés avec le logiciel Graphab (Foltête et al., 2012).

Application à un cas d'étude

L'impact écologique de l'urbanisation a été étudié dans l'aire urbaine de Besançon. Hormis la périphérie proche de Besançon, cette zone est relativement peu anthropisée, et les grandes zones d'habitat semi-naturels de cet espace, y compris à proximité directe de Besançon (forêt de Chailluz) permettent la présence de nombreuses espèces animales, potentiellement menacées par l'urbanisation.

Nous disposons d'une cartographie paysagère à 10 m de résolution spatiale issue de la compilation de plusieurs bases de données (BD Topo, BD zones humides, Registre Parcellaire Graphique). Cette carte permet de caractériser l'occupation du sol en treize classes.

La simulation des cinq scénarios de croissance urbaine modifie cette carte d'occupation du sol en transformant des espaces naturels ou agricoles en zones urbanisées. Chaque classe d'occupation du sol est pondérée par une valeur de coût représentant la plus ou moins grande facilité qu'ont les espèces animales considérées à traverser chaque type d'occupation du sol. Des valeurs de coût élevées augmentent la résistance de la matrice paysagère et limitent les déplacements potentiels des espèces entre leurs taches d'habitat (Adriaensen et al., 2003). Le coût pour traverser chaque tronçon routier de la zone d'étude varie en fonction du nombre de véhicules par jour comptabilisé (trafic de transit et trafic interne à la zone d'étude simulé avec MobiSim).

Conformément à notre hypothèse principale, les résultats obtenus montrent que l'impact écologique de la croissance urbaine est plus important pour les scénarios favorisant l'étalement urbain. Inversement, la ville compacte semble être la forme urbaine limitant le plus l'impact écologique de la croissance urbaine. Les variations des impacts écologiques entre les différents scénarios sont relativement faibles, contrairement à ce qui a pu être observé pour des scénarios théoriques (Tannier et al., 2012a). Les changements de trafic observés entre chaque scénario sont un facteur déterminant pour la prise en compte de l'impact écologique. La simulation du développement résidentiel sans simulation de trafic montre des résultats moins différenciés pour chaque scénario. La simulation conjointe du développement résidentiel et des évolutions de trafic est donc essentielle pour prendre correctement en compte l'impact écologique de la croissance urbaine.

Références

Adriaensen, F., Chardon, J.P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H., Matthysen, E., 2003. The application of "least-cost" modelling as a functional landscape model. *Landsc. Urban Plan.* 64, 233–247.

Aguilera, F., Valenzuela, L.M., Botequilha-Leitão, A., 2011. Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns : A case study in a Spanish metropolitan area. *Landsc. Urban Plan.* 99, 226–238.

Antoni J.-P., Tannier C., Vuidel G., Hirt-

zel J., 2011. Mobisim. Rapport final PREDIT, Groupe Opérationnel n°6, Recherche 09MTCV34

Foltête, J.-C., Clauzel, C., Vuidel, G., 2012. A software tool dedicated to the modelling of landscape networks. *Environ. Model. Softw.* 38, 316–327.

Mörtberg, U.M., Balfors, B., Knol, W.C., 2007. Landscape ecological assessment : a tool for integrating biodiversity issues in strategic environmental assessment and planning. J. *Environ. Manage.* 82, 457–70.

Tannier, C., Foltête, J.-C., Girardet, X., 2012a. Assessing the capacity of different urban forms to preserve the connectivity of ecological habitats. *Landsc. Urban Plan.* 105, 128–139.

Tannier, C., Vuidel, G., Houot, H., Frankhauser, P., 2012b. Spatial accessibility to amenities in fractal and nonfractal urban patterns. *Environ. Plan. B Plan. Des.* 39, 801–819.

Urban, D., Keitt, T., 2001. Landscape Connectivity ? : A Graph-Theoretic Perspective. *Ecology 82*, 1205–1218.

APPORTS DE L'ANALYSE SPATIALE POUR L'ETUDE DES CONSEQUENCES PAYSAGERES ET ENVIRONNEMENTALES DE LA TRANSFORMATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES EN BASSE-NORMANDIE.

Thibaut Preux[1], Daniel Delahaye[1], Maxime Marie[2]

[1] Laboratoire LETG-Caen GEOPHEN – UMR LETG 6554 CNRS – Université de Caen Basse Normandie,
[2] Laboratoire ESO-Caen– UMR ESO 6590 CNRS – Université de Caen Basse Normandie

thibaut.preux@unicaen.fr, daniel.delahaye@unicaen.fr, maxime.marie@unicaen.fr

Mots-clefs - Analyse spatiale, Géomatique, Dynamiques paysagères, Agrandissement des exploitations agricoles, Bocage, Basse-Normandie.

De la transformation des exploitations agricoles à la recomposition des paysages de bocage.

Entre 1970 et 2010 les deux tiers des exploitations agricoles ont cessé leur activité, alors que la surface moyenne des exploitations a quadruplé [Fig. 1]. Ce processus d'agrandissement des exploitations agricoles s'inscrit pleinement dans la « modernisation » de l'agriculture française et européenne à l'œuvre depuis les années 1960. Elle puise ses racines dans un modèle productiviste qui a fait reposer l'amélioration du revenu des agriculteurs sur l'augmentation de la production et sur la progression des surfaces agricoles par actif (Bermond, 2004).Ce mouvement a été encouragé par les organismes institutionnels à travers une politique des structures visant la constitution d'exploitations de grande dimension conduites par des agriculteurs mieux formés et mieux équipés. Ce principe n'a ensuite jamais été remis en cause par les réformes successives de la politique agricole commune (couplage des aides à l'hectare, mise en place de quotas laitiers adossés aux surfaces...) qui ont abouti à une forme de « course à l'hectare » dans la profession agricole.

Cette réorganisation spatiale des exploitations agricoles s'accompagne d'une modification des pratiques des agriculteurs qui ont des conséquences visibles sur les paysages. (Blondeau, 1995 ; Croix, 1999 ; Houet 2006). Alors que l'embauche d'un salarié agricole est très contraignante, la constitution d'exploitations toujours plus grandes conduit les agriculteurs à simplifier l'organisation du travail, mécaniser la production et abandonner les taches les moins « rentables » afin de maitriser leur temps de travail. L'entretien et le maintien en l'état d'un réseau de haies apparaissent peu compatibles avec l'augmentation de la taille moyenne des exploitations. Déjà largement remaniés depuis une quarantaine d'années, les paysages de bocage sont aujourd'hui menacés par ce processus de concentration des exploitations agricoles. A terme, le risque d'une polarisation de l'espace agricole par quelques exploitations dynamiques au détriment des espaces les plus contraignants pour l'activité agricole est réel (fonds de vallée, zones humides...).

La forte pression foncière conduit par ailleurs les agriculteurs à reprendre des parcelles toujours plus éloignées de leur siège d'exploitation. La question du morcellement parcellaire et du poids de la distance apparait donc comme un enjeu important dans le fonctionnement des exploi-

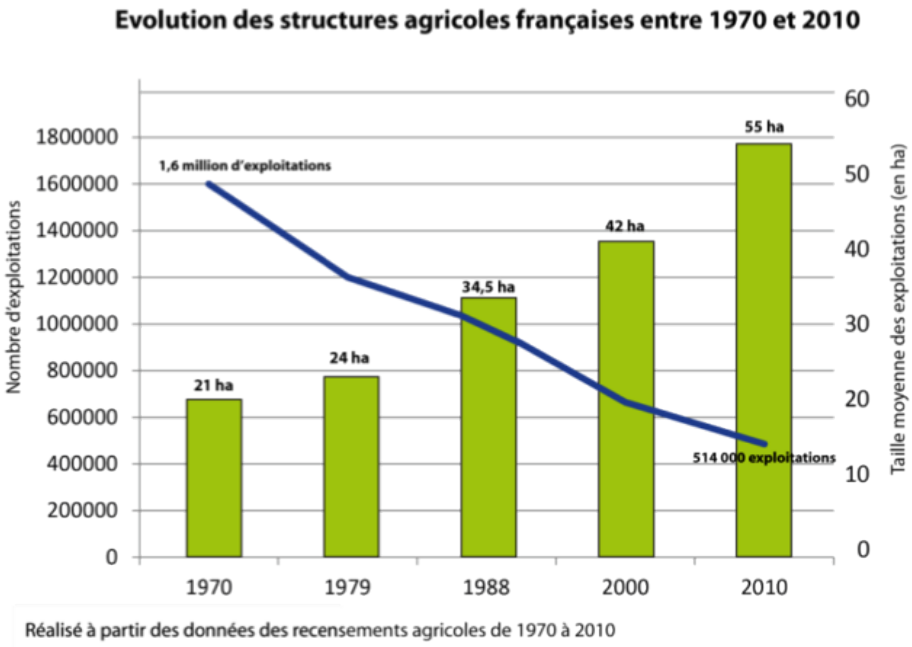


FIGURE 1 – Evolution des structures agricoles en France entre 1970 et 2010 (Preux, 2014)

tations agricoles. (Blondeau, 1995 ; Gonzalès, 2004 ; Marie, 2009b ; Piet, 2013) L'allongement des distances parcourues, la « céréalisation » des systèmes agricoles et la mécanisation de la production font de l'agrandissement des exploitations agricoles un processus particulièrement énergivore, ce qui, dans un contexte d'augmentation du coût des énergies fossiles, pose la question de la viabilité économique de ce modèle de développement (Francart, 1998 ; Latruffe, 2012). La multiplication des programmes d'échanges parcellaires illustre la montée des préoccupations autour de ces questions.

Une grille de lecture de la recomposition de l'espace agricole bas-normand.

En Basse-Normandie, région fortement spécialisée dans l'élevage laitier et marquée par la prédominance des paysages de bocage, la transformation des structures agricoles bouleverse les modèles d'organisation spatiale des exploitations laitières et imprime sa marque dans les paysages. En partant du postulat selon lequel les structures paysagères peuvent être abordées comme le produit du fonctionnement des exploitations agricoles dans l'espace (Benoît, 1990 ; Houet, 2005 ; Marie, 2009), notre projet de recherche s'attache à comprendre en quoi la restructuration de la mosaïque d'exploitations agricoles actuellement à l'œuvre induit une recomposition profonde et parfois rapide des espaces et des paysages ruraux.

Mise en place d'un système d'information géographique multi scalaire pour le suivi des dynamiques paysagères et foncières.

Dans cette perspective, une démarche d'analyse spatiale des dynamiques paysagères a été menée. Un système d'information géographique à échelle parcellaire a été construit pour quatre espaces laboratoires des transformations paysagères en Basse-Normandie (Bessin, Bocage Virois, Pays d'Auge et Mortanais) à quatre pas de temps (2003, 2007, 2009 et 2011). L'originalité de la démarche repose sur l'utilisation des données du registre parcellaire graphique (RPG) pour assurer un suivi des dynamiques foncières et paysagères. Cette base de données est constituée de l'ensemble des îlots agricoles (regroupement de parcelles exploitées par un même agriculteur) déclarés par les agriculteurs dans le cadre de la politique agricole commune. L'intérêt du

registre parcellaire graphique est de proposer une base de données structurée à une échelle fine, tout en offrant la possibilité de reconstruire à une échelle supérieure les territoires des exploitations, et ainsi proposer une lecture des recompositions du maillage d'exploitations agricoles. Cet emboitement d'échelles nous parait fondamental pour comprendre les logiques d'évolution des modèles d'organisation spatiale des exploitations laitières en domaine bocager. (Morlon, 1990 ; Marie, 2009 ; Preux, 2014).

La table attributaire comporte des informations relatives à l'occupation du sol, à la superficie agricole, ainsi qu'un identifiant permettant de reconstruire les territoires des exploitations agricoles. La topologie des données d'entrée a été modifiée afin de faire correspondre les bordures des îlots agricoles les unes par rapport aux autres pour l'ensemble des dates retenues. Les îlots ont ensuite été redécoupés par photo-interprétation afin de les faire correspondre aux parcelles d'usages. Un travail d'appariement des îlots et des identifiants d'exploitations pour les quatre dates retenues a été effectué afin d'assurer un suivi des transformations foncières et paysagères des espaces laboratoires. Enfin, plusieurs variables explicatives ont été dérivées pour chaque parcelle : distance au siège d'exploitation, indice de forme et taux d'embocagement. [Fig 2.]

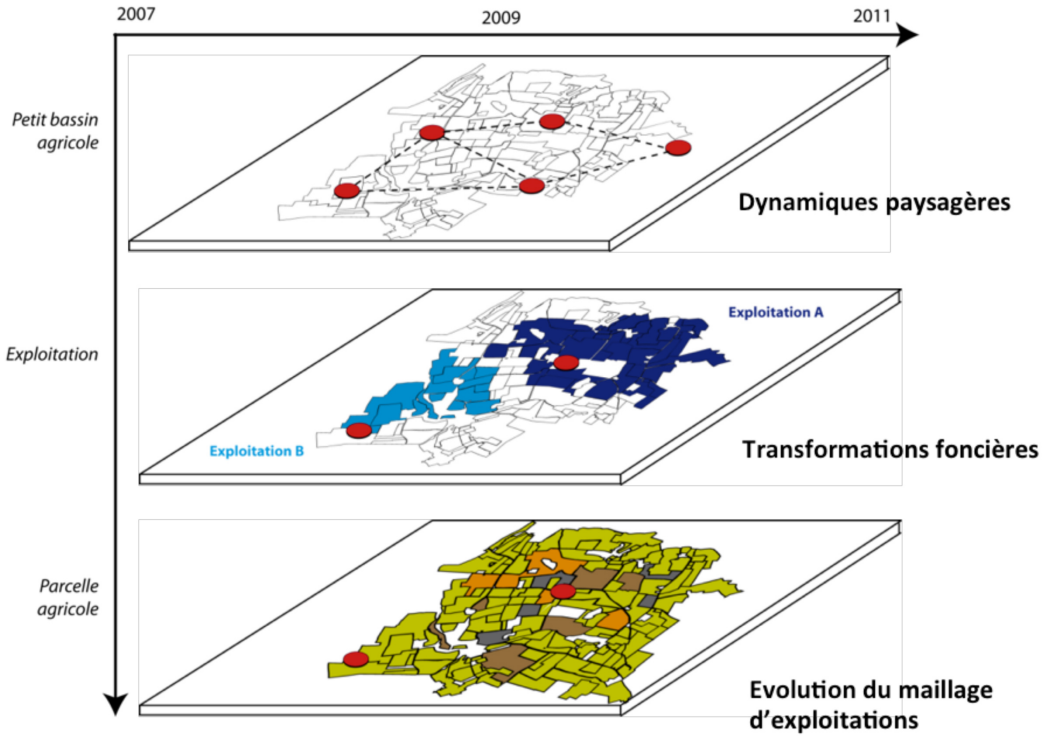


FIGURE 2 – Structuration du SIG

Intérêts d'une démarche d'analyse spatiale pour le suivi des dynamiques paysagères : l'exemple du Bocage Virois.

L'intérêt de la démarche d'analyse spatiale réside dans la prise en compte d'une multitude de facteurs pour l'étude des dynamiques paysagères, puisque celles-ci sont replacées dans un contexte local à priori explicite (organisation spatiale des exploitations agricoles, relief, réseau routier...).

Cette démarche de recherche a été mise en œuvre dans le Bocage Virois, petite région agricole marquée par une importante restructuration des exploitations agricoles

laitières (agrandissement, intensification de la production). Les résultats mettent en avant la poursuite du processus de recomposition des paysages de bocage (agrandissement des parcelles agricoles, progression des labours et dégradation des linéaires boisés). Ainsi, la part des céréales dans le paysage n'a cessé de progresser entre 2003 et 2011, passant de 13 à 26 %. Cette céréalisation des systèmes de production s'est accompagnée d'une rationalisation de la trame parcellaire, puisque 67 % de la surface agricole du bassin a été remaniée (regroupement de parcelles et rectification de leur géométrie). Confrontés à une analyse des transformations agricoles, ces résultats suggèrent que l'évolution du maillage d'exploitations agricoles (agrandissement des structures, concentration et spécialisation de la production) constitue une variable structurante pour l'étude des dynamiques paysagères.

References

Benoît M. (1990) Gestion territoriale de l'activité agricole dans un village lorrain. Mappemonde n°4. p.15-17.

Bermond M. (2004) Agriculture, familles, exploitations en Normandie au début du XXIème : produire et se reproduire dans la crise : éléments de géographie sociale. Thèse de l'Université de Caen Basse Normandie. 462 p.

Blondeau P. (1995) L'agrandissement récent de exploitations agricoles dans la Sarthe. Norois 43 n°170 p.375-393

Croix N. (1999) Les différentes formes d'adaptation de l'agriculture régionale : un processus général, l'agrandissement. Travaux et documents du laboratoire ESO n°10 p.11-17

Francart C., Pivot J-M (1998) Incidences de la structure parcellaire sur le fonctionnement des exploitations agricoles en région de bocage. Ingénieries-EAT n°14, p 41-54.

Gonzalez X-P. ; Alvarez C-J. ; Crecente R. (2004) Evaluation of land distributions with joint regards to plot size and shape. Agricultural Systems n°82, p 31-43

Houet T. (2006) Occupation du sol et gestion de l'eau : modélisation prospective en paysage agricole fragmenté. Thèse de l'université de Rennes 2. 367 p

Latruffe L., Piet L. (2012) Does land fragmentation affect farm performance ? A French Breton case study. Actes des 6èmes JRSS, Toulouse (France) des 12 et 13 décembre 2012

Laurent C. (2005) Agricultures et territoires. Editions Lavoisier Hermès Sciences. 303 p.

Marie M. (2008) Intérêts et limites des statistiques agricoles pour l'étude des structures spatiales produites par l'agriculture en Basse-Normandie. Norois n°207. p. 21-33

Marie M. (2009a) Des pratiques des agriculteurs à la production de paysage de bocage. Etude comparée des dynamiques et des logiques d'organisation spatiale des systèmes agricoles laitiers en Europe (Basse-Normandie, Galice, Sud de l'Angleterre). Thèse de l'Université de Caen Basse-Normandie. 513 p

Marie M., Bensaid A., Delahaye D. (2009b), La distance comme grille d'analyse du fonctionnement des exploitations laitières ? Apport des méthodes SIG dans l'analyse de l'organisation des paysages de bocage. Cybergeo. En ligne.

Morlon P., Benoît M. (1990) Etude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation agricole en tant que système, Agronomie n°6, p. 499-508

Preux (2014) Intérêts et limites du RPG pour l'étude du processus d'agrandissement des exploitations agricoles. Exemple de mise en place d'un suivi à haute fréquence en Basse-

Normandie. Actes du colloque « Foncier agricole » des 11 et 12 juin 2014. SFER. En ligne.

Thenail C. (1996) Exploitations agricoles et territoire(s) : contribution à la structuration de la mosaïque paysagère. Thèse de l'université de Rennes 2. 379 p

Evaluation des préférences esthétiques du paysage à l'aide de métriques de visibilité. Application aux franges urbaines d'Île-de-France

Yohan Sahraoui

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 CNRS - Université de Franche-Comté

yohan.sahraoui@univ-fcomte.fr

Mots-clefs - Métriques paysagères, analyses de visibilité, préférences paysagères, franges urbaines

Contexte et problématique

La qualité esthétique du paysage jouant un rôle dans le niveau de bien-être des individus, le paysage est récemment devenu une dimension importante des politiques d'aménagement du territoire. La Convention européenne du paysage (ELC), adoptée en 2000 par le Conseil de l'Europe, définit le paysage comme « une partie de territoire telle que perçue par les populations, dont le caractère résulte de l'action de facteurs naturels et/ou humains et de leurs interrelations » (Conseil de l'Europe, 2000). Cette convention, qui met l'accent sur l'expérience humaine du paysage, souligne l'importance de sa protection, de sa gestion et de son aménagement.

Deux paradigmes s'opposent dans l'appréhension de valeurs esthétiques du paysage, relevant d'une approche soit objective, soit subjective (Lothian, 1999). Alors que la première consiste à déterminer la qualité esthétique d'un paysage selon des qualités intrinsèques objectivables, la seconde se base sur un jugement cognitif des composantes du paysage, et affirme que le paysage n'a de qualité que dans les yeux de celui qui l'observe. De cette opposition découlent deux méthodes d'évaluation différentes (Daniel, 2001). La méthode dite « experte », qui a largement dominé les pratiques de gestion environnementale et de planification urbaine, et la méthode d'évaluation des perceptions qui a surtout concerné la recherche. Les caractéristiques visibles des paysages susceptibles de révéler des préférences paysagères individuelles font en effet l'objet d'une attention particulière depuis plusieurs décennies dans le domaine de la recherche, notamment en psychologie environnementale (Kaplan et Kaplan, 1989) et en géographie (Appleton, 1975).

Dans son acception la plus large, le concept de « préférence paysagère » est défini comme le résultat de l'interaction entre les éléments visibles d'un paysage et un processus cognitif de perception propre à l'individu qui l'observe. La création d'indicateurs pour caractériser le paysage visible constitue dans ce cadre une démarche nécessaire, permettant d'établir un référentiel commun d'évaluation en divisant la totalité de notre perception visuelle du paysage physique en un ensemble de critères quantifiables (Ode et al., 2008). Ces indicateurs peuvent être obtenus à partir de différentes sources de données parmi lesquelles les observations in situ, photographies de paysage, ou des données spatiales d'occupation du sol. Cette dernière source de données offre l'avantage de ne pas contraindre les analyses à un nombre réduit de sites, ce qui limiterait les potentialités de prédiction sur l'ensemble d'un espace donné.

Dans ce cadre, les analyses numériques de visibilité du paysage à partir de Systèmes d'Information Géographiques (SIG) se dé-

veloppent à partir des années 1990. Deux types de métriques de visibilité sont aujourd'hui utilisés : les métriques de nature planimétrique qui renseignent la surface relative à des bassins de visibilité (viewshed), et les métriques de nature angulaire, qui renseignent sur le développement vertical des éléments du paysage. Bien que de nombreux chercheurs soulignent l'intérêt de ces méthodes dans le cadre d'impacts visuels d'aménagement (Manchado et al., 2013) ou pour l'évaluation des préférences esthétiques du paysage (De la Fuente et al., 2012), les métriques de visibilité ne permettent pas de tenir compte de toute la complexité du paysage. En effet, elles relèvent quasi-exclusivement de la composition du paysage visible. Les tentatives d'analyse de la configuration du paysage, s'appuyant sur des métriques issues de l'écologie du paysage, sont calculées au sein des bassins de visibilité (Dramstad et al., 2006), et ne permettent pas de révéler toute la complexité de la structure du paysage visible.

Compte tenu de ces limites, notre contribution vise à proposer l'utilisation de nouvelles métriques de visibilité de nature angulaire permettant de mieux représenter la structure spatiale du paysage visible. La méthodologie mise en place consiste à (1) créer de nouvelles métriques de visibilité guidées par les théories de l'esthétique paysagère (2) tester le potentiel de ces métriques à expliquer les préférences esthétiques du paysage à l'aide d'une enquête de perception basée sur un corpus de photographies.

Méthodologie

Formulation de métriques de visibilité

Une revue de la littérature internationale dans le domaine de l'esthétique paysagère a permis d'identifier deux grands axes de théories développées pour expliquer les préférences paysagères des individus : (1) l'effet restaurateur des paysages naturels, et (2) les aspects cognitifs de la configuration paysagère. Dans le premier cas, il est admis dans la littérature que les individus répondent positivement aux éléments naturels présents dans leur environnement paysager et à l'inverse négativement aux espaces artificialisés, avec un lien direct pouvant être établi entre ces caractéristiques et la santé des individus. La théorie de la *biophilia* (Kellert et Wilson, 1993) et de l'effet restaurateur de l'environnement (*restorative environments*) (Ulrich, 1979 ; Kaplan et Kaplan, 1989) sont dans ce cadre particulièrement intéressantes à mobiliser. Dans le second cas, il est admis que le plaisir esthétique éprouvé par des individus devant un paysage serait d'abord déterminé par leur capacité à avoir une vue large sur une scène paysagère (Appleton, 1975). Le niveau de complexité et de cohérence des scènes paysagères jouent également un rôle déterminant dans le niveau d'appréciation des individus (Kaplan et Kaplan, 1989).

Ces théories servent ici de cadre conceptuel pour identifier les caractéristiques du paysage visible importantes d'un point de vue esthétique, de manière à construire des métriques pertinentes pour l'évaluation des préférences paysagères. Des métriques de visibilité calculées à partir de données spatiales d'occupation du sol peuvent en effet être reliées à chacune de ces théories. Nous proposons dans ce cadre deux types de métriques de visibilité calculées par la méthode des surfaces angulaires : (1) des métriques classiques de composition et de diversité basées sur la nature des éléments du paysage visible, et (2) plusieurs métriques innovantes d'ouverture et de configuration de l'environnement paysager (ligne d'horizon, texture, complexité, etc.).

Essai de validation par un cas d'étude

La validité de ces métriques de visibilité est testée dans les franges urbaines de l'est de l'agglomération parisienne. Une zone d'étude de 50km sur 50km est définie, située principalement dans le département de Seine-et-Marne. Cette zone, largement concernée depuis plusieurs décennies par

le phénomène d'étalement urbain, présente l'intérêt d'être composée d'une grande diversité de paysages sur un gradient allant de l'urbain dense à proximité de Paris à des espaces ruraux dans les périphéries les plus éloignées. Nous disposons pour cette zone d'une carte d'occupation du sol à 5 m de résolution spatiale constituée à partir de deux sources de données ; le MOS de l'Institut d'Urbanisme et d'Aménagement de la Région Île-de-France (IAU-IDF), et la BD Topo de l'IGN. Des données d'élévation sont également constituées à l'aide des données de l'IGN, soit un Modèle Numérique de Terrain (MNT) renseignant l'élévation au niveau du sol, et un Modèle Numérique de Surface (MNS) renseignant l'élévation des bâtiments et des éléments boisés.

Une enquête de perception du paysage est construite à partir d'un ensemble de photographies de paysage réalisées le long d'un transect routier suivant le gradient urbain-rural de la zone d'étude. La méthodologie adoptée pour cette enquête est la comparaison aléatoire par paires des photographies : à chaque étape de l'enquête, soit 60 paires de photos constituées, les individus (n = 1400) choisissent quelle scène paysagère ils préfèrent. L'application d'une AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (Saaty, 1977) sur l'ensemble des choix réalisés permet d'obtenir un classement des photographies selon leur niveau d'appréciation, ainsi qu'une valeur quantitative correspondant à chaque point de prise de vue.

En parallèle, les métriques de visibilité correspondant à chaque photographie sont calculées à l'aide des données spatiales constituées. Pour ce faire, les coordonnées géographiques ainsi que l'orientation de chaque point de prises de vue ont au préalable été renseignées sur le terrain à l'aide d'un GPS et d'une boussole. Ces métriques sont calculées dans un champ de vision correspondant à la focale choisie pour les prises de vue, soit un angle horizontal de 60° et un angle vertical de 50°. Cette ouverture est considérée comme la plus proche de l'angle de vision humaine appelé *ergonoma*, dans lequel la discrimination des couleurs et formes du paysage est optimale.

A partir des résultats obtenus, une régression linéaire multiple permet de confronter les valeurs attribuées à chaque photographie par les individus à l'ensemble métriques de visibilité associées. Cette analyse permet de tester la capacité des métriques proposées à évaluer les préférences paysagères des individus, et pourra à terme fournir des pistes pour une application opérationnelle en aménagement du territoire.

References

Appleton J., 1975. *The Experience of landscape*, John Wiley & Sons, 296 p.

Conseil de l'Europe, 2000. *Convention Européenne du Paysage et rapport explicatif*, T-Land 6, Strasbourg.

Daniel T.T., 2001. Whither scenic beauty ? Visual landscape quality assessment in the 21st century, Landscape and Urban Planning, 54, 267-281.

Dramstad W., Tveit M.S., et al., 2006. Relationships between visual landscape preferences and map-based indicators of landscape structure, *Landscape and Urban Planning*, 78, 465-474.

De la Fuente de Val G., Atauri J.A., de Lucio J.V., 2012. Relationship between landscape visual attributes and spatial pattern indices : A test study in Mediterranean-climate landscapes, *Landscape and Urban Planning*, 77(4), 393-407.

Kaplan S., Kaplan R., 1989. *The Experience of Nature, A Psychological Perspective*, Cambridge University Press, Cambridge, 340 p.

Kellert S., Wilson O., (dir.) 1993. *The Biophilia Hypothesis*, Island Press, Washington DC, 489 p.

Lothian A., 1999. Landscape and the philosophy of aesthetics : is landscape quality inherent in the landscape or in the eye of

the beholder ?, *Landscape and Urban Planning*, 44, 177-1.

Manchado C., Otero C., Gomez-Jauregui V., et al., 2013. Visibility analysis and visibility software for the optimisation of wind farm design, *Renewable Energy*, 60, 388-401.

Ode A., Tveit M.S., Fry G., 2008. Capturing Landscape Visual Character Using Indicators : Touching Base with Landscape Aesthetic Theory, *Landscape Research*, 33(1), 89-117.

Saaty T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234-281.

Ulrich R., 1979. Visual landscapes and psychological well-being, *Landscape Research*, 4(1), 17-23.

Atelier 13

Modéliser les jeux d'acteurs

Pour une géographie quantitative des Organisations internationales : l'exemple du Conseil des droits de l'homme

Laurent Beauguitte

CR, CNRS, UMR IDEES

Mots-clefs - Conseil des droits de l'homme, ONG, régionalisation, centre-périphérie, Société monde.

Si la géographie s'intéresse depuis longtemps aux conséquences des politiques initiées par les organisations internationales et, de plus en plus, aux discours portés par ces organisations (Van Hamme et al., 2010 ; Beauguitte et Richard, 2012), l'étude de leur fonctionnement même reste beaucoup plus rare. Pourtant, ces organisations, qu'elles soient à compétence générale (Assemblée générale des Nations Unies) ou à compétence spécifique (Organisation mondiale du commerce), s'avèrent des terrains privilégiés pour l'observation des dynamiques contemporaines liées aux processus de mondialisation (Beauguitte, 2011). Trois thèmes paraissent particulièrement riches : l'étude des relations entre acteurs impliqués dans les processus de décision ; les phénomènes de régionalisation révélés par les comportements des acteurs ; la dynamique des sujets abordés par ces organisations.

Cette présentation vise à montrer l'intérêt pour la géographie, et notamment la géographie politique, d'une étude quantitative des organisations intergouvernementales (OIG) et s'appuie sur les 20 premières sessions régulières du Conseil des droits de l'homme. Il ne s'agira donc pas ici de présenter des résultats solides et définitifs [1] mais bien plutôt de proposer des pistes conceptuelles et méthodologiques.

Une première partie rappelle brièvement le fonctionnement du Conseil des droits de l'homme, ses objectifs, et présente les données disponibles. Une seconde partie s'intéresse aux processus de parrainages de résolution. Enfin, une troisième partie s'intéresse aux configurations des relations entre États et entre États et ONG. La conclusion évoque d'autres pistes possibles et cherche à généraliser l'approche proposée à l'ensemble des organisations internationales.

Une institution jeune : le Conseil des droits de l'homme

Fonctionnement

Le Conseil des droits de l'homme (CDH) a été fondé en 2006 pour remplacer la Commission des droits de l'homme, organe issu du Conseil économique et social de l'ONU et largement discrédité. Dans un système onusien où les structures s'ajoutent les unes aux autres à un rythme soutenu, la suppression d'un organe et son remplacement par une institution propre est un événement rare. Basée à Genève, cette institution est composée de 47 membres (États membres de l'ONU) élus par l'Assemblée générale de l'ONU à la majorité absolue pour une période de trois ans [2].

Comme pour toutes les institutions onusiennes, la distribution des sièges se fait en respectant une « répartition géographique

1. Les données viennent tout juste d'être collectées et nettoyées et les premiers traitements exploratoires entrepris.

2. Après deux mandats consécutifs, un État doit attendre au moins un an avant de pouvoir refaire acte de candidature.

3. Sur les raisons du maintien de ce groupe après la fin du bloc socialiste et pour leur cartographie, voir Beauguitte,

équitable » : 13 États africains, 13 asiatiques, 6 d'Europe de l'Est [3], 8 d'Amérique latine et Caraïbes et 7 des pays d'Europe de l'Ouest et autres États. Trois sessions régulières ont lieu chaque année en mars, juin et septembre. Des sessions spéciales sont organisées en cas de situation critique dans une région du monde.

L'Examen périodique universel

L'une des tâches que s'est fixé le CDH est l'Examen périodique universel (EPU) : il s'agit d'évaluer le respect des droits humains dans tous les États membres de l'ONU. Trois documents fournissent la matière première pour l'évaluation : un rapport de vingt pages présenté par le pays concerné ; un rapport de dix pages du Haut-Commissariat aux Droits de l'Homme résumant les informations rassemblées par l'ONU sur ce pays ; un rapport de dix pages du Haut-Commissariat sur les positions des ONG. Lorsque le rapport final est présenté, les ONG disposent de 20 minutes de temps de parole pour le commenter. Cette implication des ONG à toutes les étapes du processus forme une des grandes originalités du fonctionnement du CDH : elles sont certes très présentes au Conseil économique et social et dans les grandes conférences onusiennes (Riles, 2001 ; Schechter, 2005) mais peu associées aux travaux des autres institutions.

Données

L'ONU a commencé en 1993 à numériser tous les documents qu'elle produit et le CDH ayant été créé en 2006, toute l'information produite est disponible sur son site internet (comptes rendus de réunion, textes des résolutions). Il est par ailleurs possible de s'inscrire sur son extranet pour récolter notamment tous les textes écrits par toutes les ONG sur tous les sujets... Le problème ne réside donc pas dans le manque d'information mais dans le tri de celle-ci.

Deux bases de données sont en construction à ce jour sur les pratiques au CDH :

- une base relative aux résolutions et décisions ;
- une base relative aux acteurs (États, groupes régionaux, ONG, autres institutions).

La première base permettra notamment de créer des groupes en fonction des comportements de parrainage (qui se joint pour proposer un texte sur tel ou tel sujet ?) et des comportements de vote (quelles sont les régionalisations politiques révélées par ces votes ?). La deuxième permettra notamment de créer une typologie des acteurs en fonction de leur implication dans les travaux du CDH.

Enfin, la base de données disponible à l'adresse http ://www.upr-info.org/en/review permet de récolter les recommandations adressées par les États lors de l'Examen périodique universel. Le traitement des plus de 38 000 recommandations – dont on a par ailleurs le titre, les mots clés, et l'acceptation ou non par l'État visé – permettra de mettre en évidence les logiques inter étatiques relationnelles au sein du CDH.

Etats et groupes régionaux : coopération(s), conflit(s), régionalisation(s)

L'étude du comportement des groupes régionaux dans les Organisations intergouvernementales a donné lieu à une abondante littérature, notamment pour le cas de l'Union européenne (Mechi et al., 2014). Mais la prise en compte simultanée d'acteurs de niveaux scalaires différents (ONG locales, globales, États, groupes supranationaux) reste plus rare (Muldoon et al., 2005).

Nouvelle arène et comportements routiniers : les votes au CDH

L'institution est jeune, le nombre de membres réduit, il était possible d'imaginer que les comportements de vote au

CDH différeraient quelque peu des comportements observés dans d'autres instances onusiennes. Les premiers résultats montrent qu'il n'en est rien : comme dans toutes les enceintes onusiennes où prévaut la règle de la majorité absolue (soit à peu près partout sauf au Conseil de sécurité), une tripartition nette apparaît entre États-Unis, Europe de l'Ouest et autres pays occidentaux, et le reste du monde. Comme à l'Assemblée générale, le conflit israélo- palestinien suffit à lui seul à alimenter plus du tiers des votes et à rejeter à la marge les États-Unis – rappelons que ces derniers ont boycotté le CDH jusque 2009. Une des rares différences notable concerne le rôle de la Chine qui paraît plus tranchée dans ses choix au CDH (nombre important de votes négatifs) que dans d'autres instances.

Elaborer une résolution ensemble : entre démarches étatiques et dynamiques régionales

La pratique du parrainage des résolutions à l'ONU est relativement souple : il n'y a pas de limite (minimale ou maximale) au nombre d'États sponsors, et un ou plusieurs groupes peuvent parrainer un même texte (par l'intermédiaire d'un ou plusieurs États). Dans la mesure où le domaine des droits humains est particulièrement sensible à l'ONU, étudier le graphe biparti État – résolution peut permettre de répondre à plusieurs questions intéressant la géographie politique contemporaine : y-a-t-il une implication croissante des groupes régionaux dans les élaborations de textes ? Le graphe créé est-il connexe ou des blocs distincts apparaissent-ils ? Quelles sont les associations d'États les plus fréquentes et peuvent-elles s'expliquer par une ou plusieurs distances (voisinage, similarité religieuse, politique, culturelle etc.) ? Enfin, quelles sont les thèmes consensuels et les thèmes clivants au CDH ?

Le graphe ci-dessous (figure 1) ne concerne que les résolutions ou décisions pour lesquelles les sponsors sont renseignés dans les procès verbaux et adoptées lors des 5 premières sessions régulières (2006-2007) du CDH [4]. Un même État est susceptible d'apparaître deux fois : lorsqu'il parraine un texte à titre individuel et lorsqu'il le fait au nom d'un groupe. La présence de groupes régionaux ou politiques apparaît forte : 5 groupes différents pour 25 résolutions et décisions. Deux principaux types de résolutions sont mis en évidence : les résolutions consensuelles (au centre de la figure) parrainées par 40 États ou plus ; les résolutions dont les parrains se regroupent par affinité politique, régionale et/ou religieuse (voir notamment le cadran supérieur droit du graphe). Deux pistes de recherche au moins sont à poursuivre : l'évolution temporelle de ces configurations politico-spatiales ; le couplage de cette analyse avec les textes mêmes des résolutions concernées.

Les États sont représentés en rouge et les résolutions et décisions en noir. La taille des sommets est proportionnelle au degré. Un lien indique que l'État a parrainé la résolution. Lorsque l'État parle au nom d'un groupe, il apparaît en noir et en gras (un même État peut donc apparaître en deux positions différentes). EU European union ; GLMS Group of Like-Minded States ; GAS Group of African States ; OIC Organization of Islamic Conference ; NAM Non-Aligned Movement.

L'Examen périodique universel : des relations bilatérales à la participation des ONG

Quand un État signale un problème chez un État tiers...

Le premier cycle de l'Examen périodique universel a permis l'évaluation de la situation des droits humains dans les 193 États membres entre 2008 et 2011. L'étude des recommandations d'État à État (plus de 21 000 recommandations dont 15 600 ont été acceptées) peut être menée en combinant analyse de flux et analyse de réseaux. La

4. Des résultats plus complets seront présentés à Besançon.

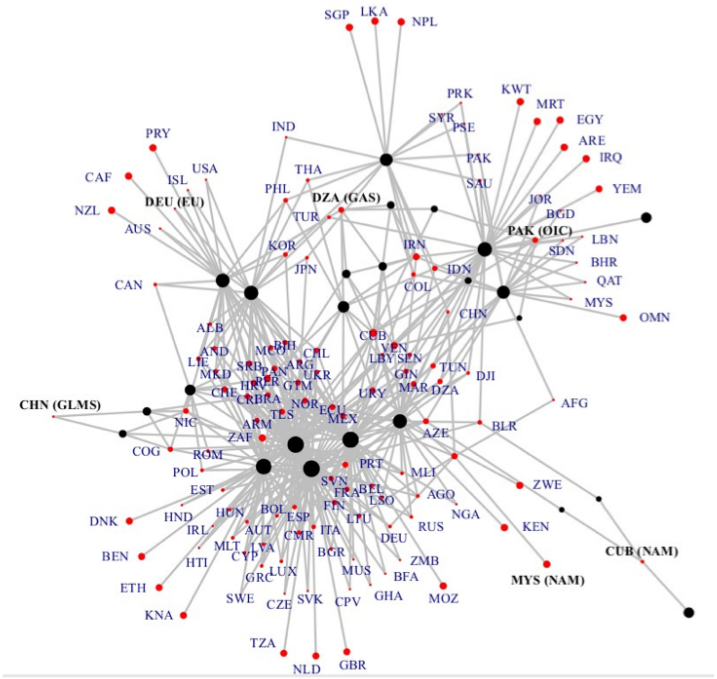


FIGURE 1 – Graphe État – résolution au Conseil des droits de l'homme (2006-2007)

répartition des flux obéit-elle à des logiques de proximité ou au contraire des discontinuités nettes apparaissent-elles (donneur de leçon vs mauvais élève) ? Observe-t-on des logiques de représailles entre groupes (si A critique B alors C, allié de B, critiquera A) ? Les premiers tests effectués montrent qu'il n'y a aucune relation entre nombre de recommandations émises et nombre de recommandations reçues. Il semble par ailleurs y avoir un certain nombre de recommandations de complaisances (mesures sans impact suggérées par un pays allié) destinées à gonfler le volume des recommandations acceptées : il s'agit donc davantage d'un outil d'analyse des relations géopolitiques que d'une base sur le respect des droits humains...

ONG globales, ONG locales et ONGG

Lors de la remise du rapport à l'État examiné, les ONG accréditées peuvent émettre des remarques sur ce rapport. La teneur de ces remarques est très variable : ce peut être des félicitations pour l'adoption de telle mesure, une apologie du régime en place ou au contraire de vives critiques émises contre l'État en question.

Un premier traitement exploratoire a été de relever toutes les interventions des ONG afin de créer un graphe biparti État – ONG, la figure 2 montrant la distribution des degrés pour ces deux ensembles d'acteurs. L'écart des remarques reçues par les États varie de 1 à 10 quand le nombre de remarques émises par les ONG varie de 1 à 100, l'organisation prenant le plus la parole étant Amnesty International. Des premiers résultats permettent de construire une typologie en 3 grandes classes :

- les ONG globales, présentes de manière continue, et capables d'émettre un avis quel que soit le pays considéré, ONG généralistes (Amnesty international, Human rights watch) ou thématiques (COC Nederland et ILGA-Europe sur les discriminations homophobes par exemple) ;
- les ONG locales et régionales dont l'expertise concerne un État ou une région (au sens d'entité supranationale). Moins actives, elles constituent la majeure partie des ONG présentes au CDH ;
- les ONGG ou organisations non gouvernementales gouvernementales (l'acro-

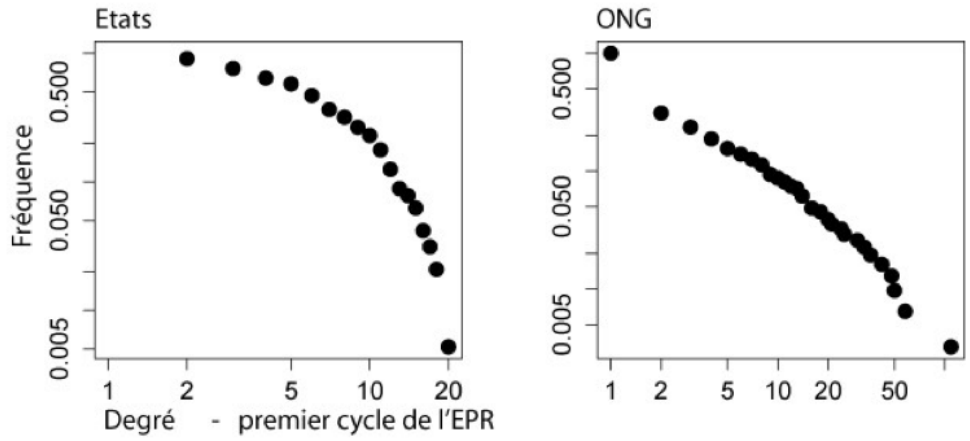


FIGURE 2 – Distribution des degrés des États et des ONG lors de l'Examen périodique universel

nyme anglais GONGO sonne mieux...), c'est-à-dire des ONG pilotées par des gouvernements et venues pour féliciter chaudement le pays (la Chine est une spécialiste de ce type particulier d'ONG).

Une piste non encore explorée concerne les déclarations faites par les ONG au nom d'autres ONG ainsi que les déclarations faites conjointement. Si ces logiques obéissent en partie à des contraintes de temps (20 minutes de temps de parole pour l'ensemble des ONG) et de coût (une délégation à Genève coûte cher), il serait intéressant de les cartographier de manière précise afin de mieux connaître les relations entre ONG. Une première analyse exploratoire semble montrer la force des liens de nature religieuse entre ONG pour l'élaboration de déclarations communes (ONG chrétiennes et ONG musulmanes). Si la construction de la Société-monde est une hypothèse déjà ancienne (Burton, 1972), une étude quantitative spatialisée du comportement des acteurs non étatiques au sein des organisations intergouvernementales apparaît un moyen utile de validation.

Perspectives

Deux pistes principales ont été présentées ici : l'étude des interactions entre acteurs de nature différente (États, groupes, ONG) et les régionalisations pouvant être déduites des comportements des acteurs (vote et parrainage). Bien d'autres pistes sont à explorer pour passer de la description d'un système relationnel global à l'explication des dynamiques politiques et spatiales de ce système. L'étude des thèmes et des textes des résolutions, des discours des acteurs, l'utilisation de méthodes quantitatives et qualitatives (entretiens, observations) enrichiraient sans nul doute cette approche. Des projets en cours d'élaboration avec des historiens et des politistes visent à proposer des grilles d'analyse commune pour les organisations internationales, grilles prenant enfin en compte la dimension spatiale des relations diplomatiques entre acteurs.

Références

L. Beauguitte, 2010, « Les votes de l'Assemblée générale de l'ONU de 1985 à nos jours. Pistes (carto)graphiques », *M@ppemonde* , 97, mis en ligne en mai 2010.

L. Beauguitte, 2011, *L'Assemblée générale*

de l'ONU de 1985 à nos jours. Essai de géographie politique quantitative, Thèse de géographie, Université Paris 7

L. Beauguitte et Y. Richard, « Analyse géographique d'un discours politique : L'exemple des brochures L'Union européenne dans le monde (2000-2007) », *Belgeo*, 4, mis en ligne le 31 décembre 2012, `http://belgeo.revues.org/8604`

J.W. Burton, 1972, *World Society*, Cambridge University Press

K. Martens, 2005, *NGOs and the United Nations. Institutionalization*, Professionalization and Adaptation, Palgrave MacMilan

L. Mechi, G. Migani et F. Petrini (dir.), 2014, *Networks of Global Governance*, Cambridge Scholars Publishing

J.P. Muldoon Jr et al., 2005, *Multilateral Diplomacy and the United Nations today*, Westview Press A. Riles, 2001, The network inside out, University of Michigan

M.G. Schechter, 2005, *United Nations Global Conferences*, Routledge

G. Van Hamme, M. Van Criekingen et M. Lennert, « Le rapport sur le développement de la Banque mondiale : un changement de paradigme en trompe-l'œil », *Cybergeo : European Journal of Geography*, mis en ligne le 26 avril 2010, `http://cybergeo.revues.org/23068`

Les lois d'échelle pour révéler la localisation sélective des firmes transnationales étrangères dans le système de villes français

FINANCE Olivier

UMR Géographie-Cités / ERC GeoDiverCity

Mots-clefs - Lois d'échelles, Firmes transnationales, Mondialisation

Les liens économiques reliant les villes au sein des systèmes de villes, quel que soit leur type (liens commerciaux, exécutifs, financiers...), participent à la complexité intrinsèque de ces systèmes. Les relations directes entre les acteurs économiques ainsi mis en communication, mais aussi indirectement entre les lieux dans lesquels ils sont localisés, ont certainement des conséquences sur la forme des systèmes de villes et leur dynamique.

Dans le contexte de mondialisation économique contemporaine, l'ampleur des réseaux d'entreprises formés par les firmes transnationales croît, comme en témoigne indirectement la progression des Investissements Directs Étrangers. Une part désormais importante de ce qui se passe dans une entreprise ne dépend plus directement d'elle : objectifs, moyens ou organisation sont ainsi souvent dictés par d'autres entités, situées à un niveau supérieur de la structure hiérarchique de ces firmes, et dans le cas des firmes transnationales, à des distances (géographiques, institutionnelles, culturelles) parfois importantes. Par extension, une part croissante des décisions économiques affectant certains territoires, par le biais de leurs établissements et entreprises, ne sont plus prises en leur sein : l'ampleur différenciée du contrôle d'établissements et entreprises par des firmes transnationales étrangères au sein d'un territoire ou d'une ville peut potentiellement infléchir son évolution par rapport à l'ensemble du système. Ce contrôle, qui peut constituer un apport bénéfique mais aussi un risque pour la ville, reste quoi qu'il en soit mal connu (dans son ampleur et ses implications) car il n'a guère été étudié jusqu'ici à une échelle géographique suffisamment fine pour en cerner les impacts localisés.

La France est dans son ensemble particulièrement intégrée à ces réseaux contrôlés, puisque près d'un emploi salarié français sur dix relevait d'établissements contrôlés en 2008. Mais la connaissance précise de leur ancrage et des conséquences effectives sur les territoires restent très partielles. L'analyse détaillée du déploiement des firmes transnationales dans le système de villes français, et de l'intégration des villes dans ces réseaux mondialisés est un préalable nécessaire à une meilleure compréhension des éventuels effets bénéfiques ou non de ces investissements, observés ici pour la première fois au niveau des établissements. Données et méthodologie

L'identification des emplois contrôlés depuis l'étranger et l'analyse de leur répartition dans le système de villes français a nécessité la reconstruction préalable des réseaux d'entreprises constitués par les firmes transnationales étrangères, et d'y relier chacun des établissements (briques de base, tant économiques que géographiques) les constituant. Trois sources majeures ont permis de relier les différents niveaux d'organisation des firmes, du groupe aux entreprises, et des entreprises aux établissements. La base LIFI (INSEE) et une extraction France de la base ORBIS (BvD-GeoDiverCity-UNIL, 2013), détaillant les liaisons financières entre entreprises, ont permis, après mise en cohérence, d'identifier les filiales françaises directes d'entreprises étrangères (capital détenu à 50 % au minimum par une entreprise étrangère), puis par itérations successives leurs

filiales françaises indirectes. L'ajout d'informations plus détaillées et harmonisées sur ces entreprises et leur décomposition au niveau de l'établissement ont été rendus possibles par croisement avec une troisième source, CLAP (INSEE). La quasi-intégralité de l'arborescence des réseaux des firmes transnationales étrangères en France est ainsi décrite par le nombre des emplois contrôlés à leur lieu de travail. Dans nos analyses, les établissements et les emplois associés sont agrégés par aires urbaines, étant entendues comme telles les 355 grandes et moyennes aires urbaines de métropole du Zonage en Aires Urbaines 2010 de l'INSEE.

Les lois d'échelle constituent le principal outil d'analyse de la répartition de ces emplois contrôlés depuis l'étranger dans le système de villes français. Elles permettent l'analyse d'une grandeur dans un système, telle qu'elle n'évolue pas dans un simple rapport de proportionnalité avec les éléments du système, mais selon des lois de puissance (Pumain, 2007). De forme mathématique y = ?x ? (où y représente une grandeur variant de manière systématique avec la taille x des éléments, ici des villes, et où ? et ? sont des paramètres), elles permettent de révéler une éventuelle non-linéarité de la relation entre la grandeur étudiée et la taille des villes du système. Quand on représente chaque ville sur un graphique bi-logarithmique selon sa taille et la grandeur étudiée, la pente de la droite d'ajustement du nuage de points (le paramètre ?) caractérise la variation systématique de cette grandeur selon la taille des villes.

Si cette pente est proche de 1, la relation est linéaire et donc de simple proportionnalité. Si ? est significativement différent de 1, la relation témoigne d'une sur-concentration de la grandeur étudiée dans les plus grandes villes si ? > 1 ou inversement dans les plus petites. Pumain et al. (2006) proposent une explication historicisant ces paramètres ? en les reliant aux cycles d'innovation économique et au processus de diffusion hiérarchique des innovations. Des paramètres supérieurs à 1 caractériseraient des grandeurs se comportant comme des innovations dans le système ; dans le cas des activités économiques, les paramètres supérieurs à 1 caractériseraient ainsi des secteurs d'activité particulièrement innovants, plus concentrés dans les plus grandes villes, alors que les paramètres inférieurs à 1 caractériseraient des secteurs en fin de cycle se tournant majoritairement vers les plus petites villes. Cet outil relie ainsi les concepts de fonctions urbaines, cycles d'innovation, taille des villes et croissance urbaine au sein d'une théorie évolutive de la hiérarchie urbaine.

Un effet hiérarchique majeur et une variabilité importante des profils des villes petites et moyennes

Une première analyse via les lois d'échelle révèle l'importance du facteur taille des villes pour comprendre la répartition et l'ancrage des firmes transnationales étrangères dans l'ensemble du système de villes français. Le graphique bi-logarithmique de la figure 1 situe chaque aire urbaine selon sa taille (population au lieu de travail) et le nombre d'emplois associés aux firmes transnationales étrangères qu'elle accueille. Il permet de mesurer la pente de la droite d'ajustement du nuage de points qui révèle si la distribution de ces emplois est répartie de manière proportionnelle à la taille des villes, ou s'il y a supra- ou infra- linéarité de la relation. La relation est significative et se caractérise ici par un exposant β très supérieur à 1 (β = 1,18). Comme ces emplois sont localisés à l'établissement, le fait que ce paramètre β soit supérieur à 1 ne s'explique pas ici par une distorsion liée à la plus grande concentration, connue, des sièges sociaux des filiales par rapport à l'ensemble des établissements au sein des plus grandes villes. Il n'y a ainsi pas simple proportionnalité entre emplois contrôlés depuis l'étranger et taille des villes, mais une surconcentration significative des firmes transnationales dans les plus grandes villes du système. La taille des villes influence ainsi les choix de localisation des firmes transnationales, les plus grandes villes étant alors à la fois les plus

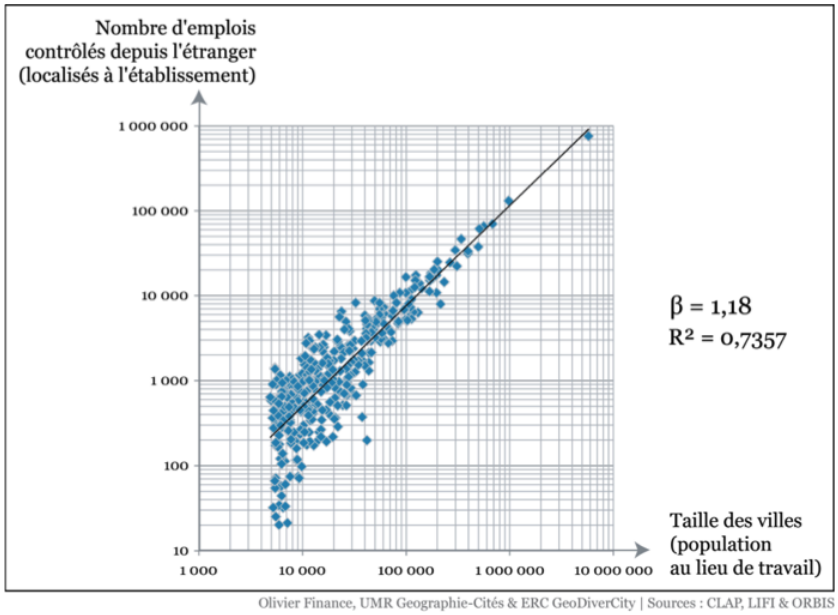


FIGURE 1 – Répartition de l'emploi sous contrôle étranger dans le système de villes français

attractives pour ces firmes, mais présentant également, du moins en termes absolus, une plus grande dépendance à ces acteurs extérieurs.

Le nombre d'emplois sous contrôle étranger effectif est particulièrement bien cerné par la loi d'échelle dans les villes de plus de 50 000 emplois (100 000 habitants environ), où un effet métropolitain semble identifié et commun à quasiment toutes ces villes. Mais la variabilité de la relation s'avère bien plus importante en-dessous de ce seuil, à relier au coefficient de détermination qui atteint une valeur de 0,74. Ainsi, parmi les villes plus petites, certaines se détachent de la tendance en présentant une concentration plusieurs fois plus élevée ou plus faible qu'attendue par la pente de la droite d'ajustement. Les profils d'intégration des plus petites villes par les firmes transnationales étrangères sont ainsi bien plus divers que pour les plus grandes villes ; la taille de ces villes ne permet pas à elle seule d'estimer leur intégration.

D'autres facteurs explicatifs se surajoutent ainsi au facteur taille, ce qu'il convient d'explorer en commençant par identifier l'intégration différenciée de ces villes par l'écart à la tendance qu'elles présentent. La représentation cartographique des écarts à la loi d'échelle permet de révéler ces villes bien plus ou bien moins intégrées qu'attendu (sont comparées la répartition effective et la répartition estimée par la loi d'échelle des emplois contrôlés, via des résidus standardisés d'une régression linéaire basée sur les logarithmes des variables). La figure 2 permet d'identifier les villes où la concentration d'emplois sous contrôle étranger est significativement inférieure ou supérieure à celle attendue ; dans chacun des deux cas, les villes concernées font partie des plus petites aires urbaines.

Aucune grande métropole (aux profils économiques diversifiés, et plus insérées dans divers types de réseaux internationaux) n'apparaît ici, la surconcentration des emplois contrôlés étant déjà prise en compte par la loi d'échelle, et rares sont les aires urbaines de taille importante à présenter un écart significatif à la relation. Une organisation spécifique des résidus semble émerger à mesure que l'on descend dans la hiérarchie

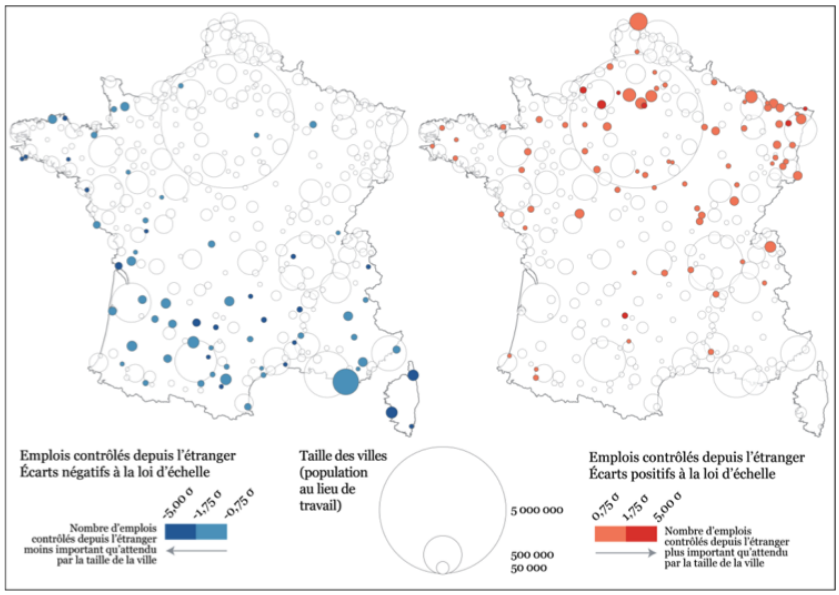


FIGURE 2 – Principaux écarts positifs et négatifs à l'estimation du nombre d'emplois sous contrôle étranger par la loi d'échelle

urbaine. Les villes présentant des écarts majeurs positifs, témoignant d'un nombre d'emplois contrôlés depuis l'étranger plus important qu'attendu, sont de petites et moyennes villes largement localisées dans le nord et l'est du pays ainsi que dans le Bassin parisien ; celles présentant des écarts négatifs, où le nombre d'emplois contrôlés est bien plus faible qu'attendu, de petites et moyennes villes du sud et de l'ouest, de l'arc atlantique et du pourtour méditerranéen. Au-delà d'un important effet de la taille des villes, apparaît ici une organisation régionale notable.

On relèvera malgré tout la présence de quelques villes de taille importante (le cas particulier de Toulon et ses activités militaires peu internationalisées, les cas particuliers d'Ajaccio et de Bastia à relier à l'insularité de leur région, ou encore Dunkerque et Compiègne qui présentent une intégration particulièrement marquée compte tenu de leur taille). Au-delà de ces quelques cas particuliers, les villes s'éloignant le plus de la tendance sont toutes des villes de moins de 100 000 habitants.

La taille d'une ville explique une part importante du nombre d'emplois sous contrôle étranger qu'elle accueille, mais les effets régionaux qui émergent révèlent une intégration différenciée des villes plus petites. Là où toutes les métropoles sont intégrées par les firmes transnationales, l'ancrage des firmes transnationales dans les villes plus petites est différencié selon des contrastes régionaux ; les petites villes les plus intégrées sont majoritairement localisées dans le nord et l'est du pays, et celles qui présentent des résidus négatifs le sont majoritairement dans le sud et l'ouest.

Le rôle des spécialisations économiques et de la proximité des investisseurs à tester

Les firmes transnationales étrangères implantées dans le système de villes français présentent ainsi une concentration importante dans le haut de la hiérarchie urbaine, même à l'échelon d'observation des établissements. Les écarts à la tendance, qui concernent les villes de moins de 100 000 habitants, révèlent une France des villes petites et moyennes particulièrement attractives et dépendantes dans le nord et l'est à l'opposé des villes de même taille du sud et l'ouest. Dans la mesure où les oppositions régionales qui s'ajoutent au rôle de la taille des villes semblent reproduire une distinction déjà souvent observée entre une France

plus industrialisée au nord et à l'est et une France ayant davantage tardé à s'industrialiser au sud et à l'ouest, les effets régionaux observés pourraient être expliqués par une répartition différenciée des firmes transnationales selon leur secteur d'activité et les spécialisations économiques des villes d'implantation. Ces effets régionaux pourraient également relever de l'insertion différenciée des firmes transnationales selon leur nationalité, et en particulier selon la distance qui sépare les villes françaises des investisseurs qui y possèdent des établissements. Ces dernières hypothèses seront testées par la suite.

Références

Paulus F., Pumain D., 2007, Lois d'échelle et activités urbaines : une comparaison France – Etats-Unis, in Pumain D., Mattei M.-F. (coord.), *Données Urbaines* 5, Paris, Anthropos, 315-323.

Paulus F., 2003, La structure économique du système des villes françaises en 1999, in Mattei M.-F., Pumain D. (coord.), *Données Urbaines* 4, Paris, Anthropos, 341-355.

Pumain D., 2007, Lois d'échelle et mesure des inégalités en géographie, *Revue européenne des sciences sociales*, Tome XLV, n°138, 55-65.

Pumain D., Paulus F., Vacchinai-Marcuzzo C., Lobo J., 2006, An evolutionary theory for interpreting urban scaling laws, *Cybergeo : European Journal of Geography*, document 343.

Royer J.-F., 2007, L'extension spatiale des entreprises et des groupes en France métropolitaine, in Mattei M.-F., Pumain D. (coord.), *Données Urbaines* 5, Paris, Anthropos, 357-268.

Rozenblat C., 1998, La mise en réseau des villes européennes par les entreprises multinationales, in Pumain D., Mattei M.-F. (coord.), *Données urbaines* 2, Paris, Anthropos, 345-352.

Penser la ville durable : positionner la modélisation et l'évaluation des territoires dans les processus d'aménagement

Vincent Hély, Jean-Philippe Antoni

UMR 6049 ThéMA
Université de Franche-Comté

vincent.hely@univ-fcomte.fr

Mots-clefs - Aide à la décision, metaplanning, évaluation multicritère, dynamiques spatiales et interactions sociales.

Essor et limites des politiques de développement durable

Les politiques d'aménagement du territoire sont guidées depuis deux décennies par les objectifs du développement durable. Enoncé dans le rapport de G.H. Brundtland (1987) réalisé pour le compte des Nations-Unies, l'expression « développement durable » définit en effet un « développement qui répond au besoin du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins ». Trois sphères distinctes mais qui se chevauchent sont identifiées, dans lesquelles les principes de développement durable doivent être appliqués : l'économique, le social et l'environnemental, la combinaison des trois faisant théoriquement atteindre le niveau optimal de durabilité. Dès lors, le sommet de Rio et l'Agenda 21 (1992) ont enclenché un ambitieux processus de refonte de la gouvernance et des politiques publiques en vue d'assurer une intégration du concept de développement durable au niveau local, particulièrement dans les politiques d'aménagement en milieu urbain.

Le recours à la modélisation, et notamment la modélisation LUTI (Wegener, 2004 ; Timmermans, 2006) est devenu aujourd'hui un élément incontournable dans un processus d'aménagement, de même que la construction d'indicateurs territoriaux pour évaluer la durabilité des territoires (Lautso et al, 2008). Dans le cadre de nos travaux, nous pouvons ainsi nous appuyer sur le modèle MobiSim, développé par le laboratoire ThéMA (Antoni et Vuidel, 2011), qui fournit des données désagrégées à l'échelle de l'individu, sur le territoire de la communauté d'agglomération du Grand Besançon (CAGB).

Toutefois, si cette modélisation permet de grands progrès en matière de simulation de scénarios d'aménagement, ce processus connaît actuellement plusieurs écueils : (i) la prolifération d'indicateurs sectoriels, dans chacune des trois sphères, dont la combinaison et la synthétisation apparaît essentielle (mais difficile) pour obtenir une vision globale ; (ii) l'identification, à partir de cette vision globale, des mesures et politiques à envisager pour corriger et compenser de mauvaises « performances » d'un territoire en matière de durabilité ; (iii) l'échelle d'intervention la plus pertinente pour atteindre ces objectifs ; (iv) la production d'outils adaptés pour l'aide à la décision.

Gouvernance et jeux d'acteurs, base des politiques d'aménagement durable d'un territoire

Il apparaît clairement que la mise en place d'une politique d'aménagement répondant aux problèmes soulevés plus haut ne peut se réaliser que dans le cadre d'un processus global identifiant clairement les interactions entre acteurs de l'aménagement d'un territoire donné (Moine, 2007), et par l'inser-

tion des méthodes d'évaluation et de modélisation au sein de ce processus. L'important étant que ce processus, du diagnostic à la réalisation des objectifs, s'inscrive dans une cohérence et un continuum entre tous les acteurs du projet (De Sède, 2002). Cela nous conduit à formuler l'hypothèse qu'une politique d'aménagement voulant répondre aux objectifs du développement durable doit s'appuyer sur une volonté forte des pouvoirs publics dans la planification de cette politique (Rapport Vilmodes, 2014).

Dans ce contexte, l'objectif du travail présenté ici est tout d'abord d'offrir une vision globale du processus d'aménagement devant conduire à assurer la durabilité d'un territoire. Pour cela, le recours aux méthodologies de type "metaplanning" est utilisé. Conçu dans les années 1970 dans l'optique de favoriser les stratégies de long terme des entreprises (Emshoff, 1978), le "metaplanning" consiste à concevoir l'intégralité d'un processus de planification. Il s'agit de répertorier les acteurs, les activités, les outils et les méthodes prenant part à un projet. Le but est d'organiser et d'optimiser le déroulement d'un processus sur le long-terme, de manière à le rendre le plus opérationnel possible (Campagna, 2014). Cette méthodologie est aujourd'hui de plus en plus prisée pour des projets d'aménagement du territoire (Blackwood et al., 2014), adossée aux Decision Support System et aux méthodologies d'évaluation des performances d'un territoire par les indicateurs territoriaux (Giff & Crompvoets, 2008 ; Vandenbroucke et al., 2013).

Le processus conduisant à la mise en place de scénarios d'aménagement doit ainsi aboutir à la meilleure durabilité possible d'un territoire, en se basant sur la production d'indicateurs synthétiques permettant d'identifier les atouts et les lacunes de ce territoire. Il s'agit de transformer les données brutes et complexes dont disposent les experts et scientifiques en des données synthétiques, lisibles et exploitables par les décideurs et le grand public (Boutaud, 2011). Pour ce faire, nous proposons de réaliser le métaplan de ce processus, afin de mettre en évidence les interactions entre les domaines de la décision (élus, citoyens), de l'évaluation (experts, parties prenantes du projet ["stakholders"]) et de la modélisation (SIG, modèles LUTI). Ceci dans le but de satisfaire aux principes d'une bonne gouvernance locale, basée sur la démocratie participative, l'expertise et l'aide à la décision, sans lesquelles il apparaît difficile de conduire efficacement une politique de développement durable (Graillot et Waaub, 2006). La figure 1 présente ce métaplan (figure 1), en décomposant les principales étapes d'un processus partant du diagnostic et de l'analyse stratégiques pour aboutir à un outil d'aide à la décision destiné à une application opérationnelle :

- Les étapes 1 et 2, étroitement imbriquées, consistent en la définition du projet d'aménagement par les décideurs (élus, en concertation avec les citoyens informés) à partir de données fournies par les éléments d'analyse du territoire et notamment le diagnostic territorial, réalisé en amont ou parallèlement à la définition du projet. Il s'agit également d'identifier clairement au sein de la population et des activités du territoire qui sont les différents protagonistes (experts, "stakholders", etc.) sur lesquels s'appuyer lors de la suite du processus (Joliveau, 2006 ; Rametsteiner et al., 2011).
- L'étape 3 est celle du choix des indicateurs sur lesquels va s'appuyer l'analyse territoriale. Comme dit plus haut, la multitude d'indicateurs territoriaux nécessite une sélection, par les parties prenantes au projet, de ceux qui apparaissent comme les plus pertinent, dans chacune des trois sphères (OCDE, 2008).
- La quatrième étape consiste en l'implémentation d'une méthodologie d'analyse des performances du territoire par le traitement et la transformation des différents indicateurs en indicateurs synthétiques pour chacune des trois sphères (Malczewski, 1999 ; Miller et al., 2013 ; Ding et al., 2014). Cela abouti à la visualisation de l'espace analysé par la production de cartes.
- Cette cartographie permettant d'identifier les atouts et lacunes du territoire

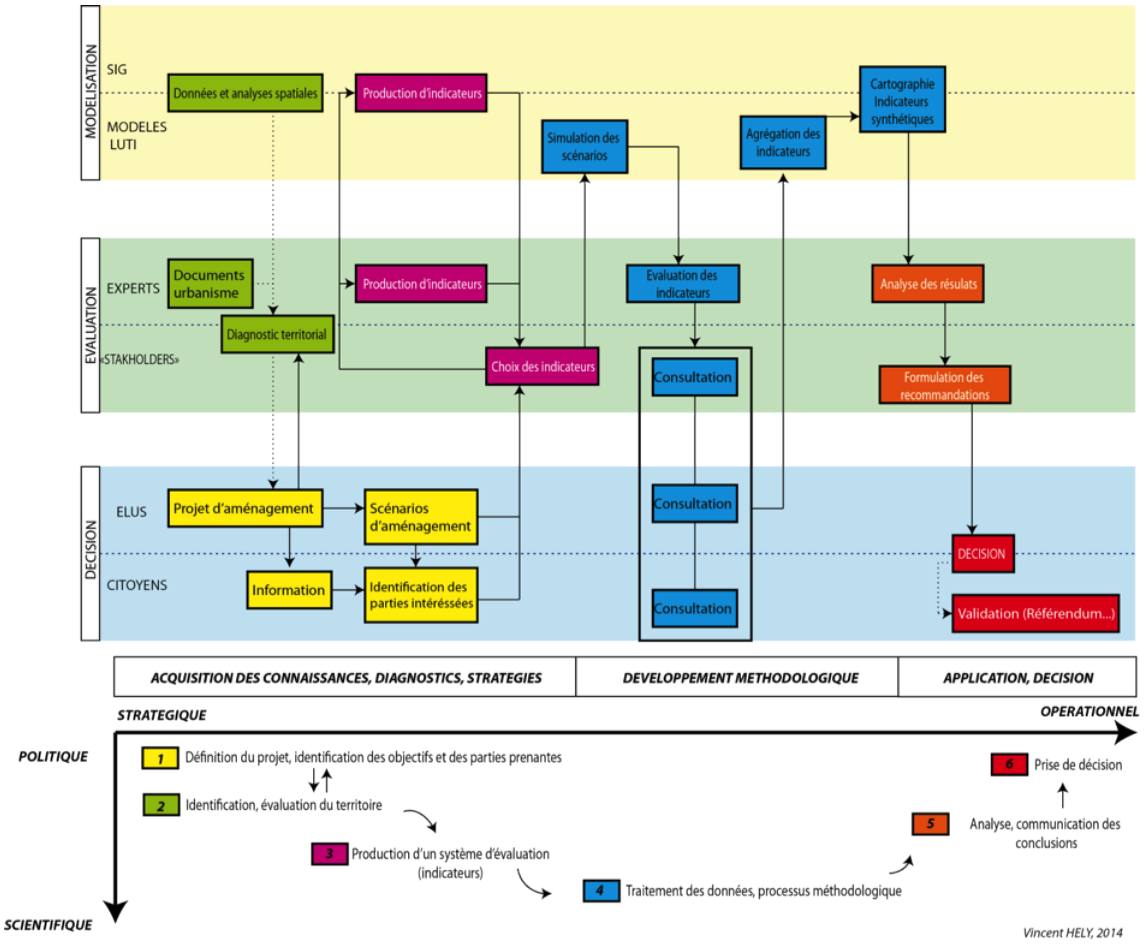


FIGURE 1 – Métaplan d'un processus de décision pour l'aménagement durable d'un territoire

dans chacune des sphères du développement durable, l'étape 5 consiste en l'analyse de ces résultats par les experts et parties prenantes du projet, qui formulent les recommandations aux décideurs, à qui revient la décision finale (étape 6).

Ce métaplan présente l'avantage de mettre en évidence la place du recours à la modélisation dans le processus, notamment dans l'étape de simulation de scénarios d'aménagement et de synthèse des différents indicateurs. Il permet également d'identifier ses faiblesses et ses besoins pour tendre vers l'opérationnalité.

La consultation des acteurs par l'enquête, élément indispensable du processus méthodologique

En effet, les étapes centrales du métaplan, allant de la production du système d'évaluation à l'analyse des résultats, sont celles qui s'appuient sur les simulations offertes par la modélisation. Elles constituent la cible de la méthodologie développée ici. Ces éléments méthodologiques, correspondant à la partie 4, consistent à produire des indicateurs synthétiques à partir des différents indicateurs fournis par les données des sorties des modèles (ici, MobiSim), reposant sur l'évaluation de ces indicateurs suivie de leur agrégation par méthode de pondération et d'analyses multicritères. Cela a déjà fait l'objet de tests théoriques et de communications (DDSS 2014 ; Théoquant 2013), mais il en est résulte plusieurs observations :

- L'importance du choix des indicateurs (étape 3) : pertinence de l'indicateur, comme évoqué plus haut, mais également questionnement quant à l'appartenance de tel indicateur à telle sphère du développement durable ;
- La variabilité des résultats lors de la production des indicateurs synthétiques (étape 4) selon la méthode d'agrégation et la pondération, c'est à dire selon le jugement porté sur la valeur et l'importance des différents indicateurs ;
- L'impossibilité d'aboutir à une durabilité optimale de manière homogène sur l'ensemble du territoire

Ces constats observés lors de tests théoriques illustrent l'importance de la consultation des différents protagonistes tout au long des étapes du processus, pour aboutir à une modélisation fiable produisant un résultat opérationnel pour l'aide à la décision. Il s'agit donc pour nous de procéder à une consultation des différents acteurs identifiés par le métaplan, par le moyen d'enquêtes :

- Premièrement, concernant l'étape du choix des indicateurs, il est procédé à une enquête afin d'identifier à quelle sphère les personnes interrogées associent les différents indicateurs proposés. Cette classification des indicateurs peut également s'appuyer sur une analyse multivariée de type Analyse des composantes multiples (ACM).
- Deuxièmement, pour l'étape d'agrégation en indicateurs synthétiques, les acteurs sont également consultés par enquête pour déterminer le poids et la valeur qu'ils accordent aux différents indicateurs à l'intérieur de chacune des sphères. Cela permet de procéder ensuite à une analyse multicritère, basée par exemple sur une classification hiérarchique (AHP).
- Enfin, pour répondre à la dernière observation soulevée plus haut, nous partons du postulat que la durabilité globale du territoire urbain peut être assurée en privilégiant des sphères différentes selon les espaces (centre ville, périphérie, périurbain etc.). Cela constitue le dernier volet de l'enquête, où nous interrogeons les différents protagonistes sur l'importance, la dimension prioritaire qu'ils accordent à l'économie, au social et à l'environnemental selon l'espace concerné.

Cette approche permet de produire, en couplant les données MobiSim aux résultats des enquêtes, une évaluation plus réaliste des impacts que peuvent avoir différents scénarios d'aménagement urbain sur la durabilité d'un territoire. Cette évaluation est rendue d'autant plus réaliste et opérationnelle qu'elle s'appuie sur une consultation des acteurs de l'aménagement lors des étapes clés du processus de traitement des données.

Limites et perspectives

L'approche que nous proposons permet de mettre en place un outil (ou un « morceau » d'outil) d'aide à la décision basé sur un SIG et sur un modèle LUTI, fondé sur une méthodologie qui s'intègre à un processus global faisant interagir l'ensemble des protagonistes d'un projet d'aménagement urbain. Le résultat est utilisé pour analyser un territoire en fonction de sa durabilité mesurée, et en déduire les politiques à mener. Cela fait partie de la logique de «mesures compensatoires», développées notamment en France dans le cadre du Grenelle de l'Environnement (2007), destinées à compenser la mauvaise performance d'un projet ou d'un territoire dans une ou plusieurs des sphères du développement durable. Les principales questions et limites soulevés par ces résultats portent sur l'échelle d'analyse du territoire (à quel niveau faut-il apporter des compensation : local, global ? Distinction urbain/périurbain/rural ?...) ainsi qu'à la durabilité temporelle des politiques d'aménagements et des infrastructures mises en place.

Références

Antoni J.P. et Vuidel G., 2011, MOBISIM, un modèle multi-agents et multi-scalaire pour simuler les mobilités urbaines, in Antoni J.P. (dir.), Modéliser la ville, Formes urbaines et politiques de transport, Economica, pp 50-77.

Antoni J.P. et al., 2014, *VILMODes, Villes et mobilités durables, évaluation par la simulation*, Rapport de recherches, PREDIT, 131 p.

Blackwood D.J et al., 2014, Sustainable urban development in practice : the SAVE concept, *Environment and Planning B : Planning and Design* 41 (2014), 885 – 906

Boutaud A., 2011, "Les indicateurs de développement durable à l'échelle des territoires", in Zuindeau B. (dir), *Développement durable et territoire*, Presses Universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq, pp 83-94.

Brundtland, G.H. (Ed.), 1987, Our Common Future : The World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford.

Ding Y et al, 2014, Measuring regional sustainability by a coordinated devlopment model of economy, society and environment : a case study of Huby Province, 12th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, At Eindhoven, The Netherlands.

De Sède M.H., 2002, *Géographie, territoire et instrumentation : état des lieux, réflexions épistémologiques et perspectives de recherche*, Habilitation à Diriger des Recherches, Besançon, Université de Franche-Comté.

Giff J.A. et Crompvoets J., 2008, Performance Indicators a tool to Support Spatial Data Infrastructure assessment, *Computers, Environment and Urban Systems* 32 (2008) 365–376

Graillot D. et Waaub J.P.(dir), 2006, Aide à la décision pour l'aménagement du territoire, *Méthodes et outils*, Lavoisier, Paris, 437 p.

Emshoff J.R., 1978, Planning the process of improving the planning process : A case study in meta-planning, *Managment Science* ; 24(11) (1978) ; 1095/14.

Joliveau T., 2006, Le rôle des systèmes d'information géographique dans la planification territoriale participative, in Graillot D. et Waaub J.P.(dir), *Aide à la décision pour l'aménagement du territoire, Méthodes et outils*, Lavoisier, Paris, pp 149-178.

Lautso K. et al., 2004, *PROPOLIS*, Final report, DG Research, 368 p.

Moine A., 2007, *Le territoire, comment observer un système complexe*, L'Harmattan, Paris, 177 p.

Miller H. et al., 2013, Developing context-sensitive livability indicators for transportation planning : a measurement framework, *Journal of Transport Geography* , 26 (2013), 51–64

OCDE, 2008, Handbook on Constructing Composite Indicators ; methodology and user guide.

Rametsteiner E. et al., 2011 Sustainability indicator development - Science or political negotiation ?, *Ecological Indicators*, 11 (2011) 61–70.

Timmermans H., 2006, Modeling land use and transportation dynamics :Methodological issues, state of art, and application in developping countries, *Discussion paper series*, 6-2006.

Vandenbroucke D.et al. , 2013, A methodology to assess the performance of spatial data infrastructures in the context of work processes, *Computers, Environment and Urban Systems*, 38 (2013) 58–66.

Wegener M., 2004, Overview of land-use transport models, in David A. Hensher, Button K. (ed.), *Transport geography and spatial systems*, Handbook in transport, 5, Pergamon/Elsevier Science, 127-146.

Modélisation de l'influence combinée des stratégies d'acteurs collectifs et individuels sur la reconfiguration des mobilités quotidiennes

Nicolas Lunardi

UMR 6049 ThéMA
Université de Franche-Comté

nicolas.lunardi@univ-fcomte.fr

Mots-clefs - mobilités quotidiennes, modélisation, stratégies d'acteurs

« People on their feet are more or less equal ». Cette citation d'Ivan Illich (1974) prend tout son sens dans une société où les déplacements piétonniers sont en diminution et où l'inégalité face à la mobilité se fait de plus en plus forte. En effet, le phénomène d'étalement urbain jumelé avec la démocratisation de l'automobile [1] depuis les années 60 est aujourd'hui difficilement contestable. Une transition a donc eu lieu entre une organisation urbaine favorisant les espaces de proximités et une organisation plus éclatée des lieux de fréquentations quotidiennes (Korsu, 2010). En détruisant cette organisation de proximité favorable aux déplacements piétonniers, l'automobile s'est instaurée comme l'élément privilégié pour se déplacer. Ce phénomène de desserrement urbain modifie les comportements de mobilité et provoque une augmentation de la distance séparant les lieux de résidence du centre-ville et a fortiori des autres activités (Wenglenski, 2010). Cependant, même si l'automobile représente l'unique mode de déplacement pour bon nombre de villages périurbains, sa suprématie comme moyen de transport n'est pas uniquement due à l'étalement urbain (Wiel, 1999). Les politiques d'aménagement mises en place depuis les années 60 sont en grande partie responsables de son utilisation massive (Desjardin & Mettetal, 2013). Le modèle actuel de la ville automobile résulte donc en partie des politiques d'infrastructures routières, hypothèse soutenu par Gabriel Dupuy (1999) lorsqu'il utilise la notion de "cercle magique " pour décrire la diffusion de l'usage de l'automobile via le développement des infrastructures de transport. D'autres critères, tels que la recherche de flexibilité, de réactivité, de polyvalence et d'assurance face à l'imprévu, favorisent l'utilisation de la voiture dans un système économique passant d'une société "Fordienne" où les rythmes de la vie sociale sont dictés par le rythme de travail à une organisation plus libre caractérisée par une multiplication et une désynchronisation des temps sociaux (De Coninck, 2001 ; Orfeuil, 2002).

Cette croissance du trafic routier, qualifiée de *"chaotique et non contrôlée"* (Kaufmann & Bassand, 1996), entraine un certain nombre de conséquences négatives. Des problèmes de congestion, de pollutions urbaines (visuelle, sonore, atmosphérique ...), d'accidents et même d'accessibilité apparaissent avec le temps. Cela a pour effet d'inverser les politiques en matière de transports. Le modèle *« d'adaptation de la ville à l'automobile »* mis en place à la fin des années 1960 glisse peu à peu vers une réduction de la part modale de l'automobile en faveur des modes alternatifs (Frumkin & al, 2004 ; Pouyanne, 2005). Ce changement de politique reposant sur la notion de développement urbain durable, appuie le besoin grandissant de modifier les pratiques de mobilité actuelles. Cette lutte pour un environnement urbain *"plus durable"*, vi-

1. Cette démocratisation de l'automobile est en grande partie favorisée par une énergie bon marché.

sant à limiter par exemple l'impact humain dans le réchauffement climatique ou à prévenir la précarité énergétique (Aytur & al., 2007, Meray & Séchet, 2013 ; Moore, 2012) fait partie des grands engagements nationaux et internationaux (protocole de Kyoto, Grenelle de l'environnement ...). Toutefois, si les engagements sont effectués à une échelle nationale ou internationale, les mesures à prendre dans le domaine des transports sont déterminées comme "locales" et les compétences/responsabilités sont en bonne partie décentralisées aux instances décisionnelles locales ou régionales (Desjardin & Mettetal, 2013).

Des stratégies locales visant à réduire la place de l'automobile dans les déplacements quotidiens sont alors mises en place depuis plusieurs années dans les villes françaises. Le développement des transports publics et la mise en place de mesures restrictives à l'égard de l'automobile représentent les principaux plans d'action actuels. L'efficacité de ces derniers reste cependant mitigée voir inefficace dans bon nombre de villes [2]. En effet, outre "les captifs automobile" qui sont contraints d'utiliser leurs véhicules personnels pour se déplacer suite au manque de transport en commun et ou de service de proximité (Madre, 1999), les habitudes de déplacement restent dominées par l'utilisation de l'automobile malgré les externalités négatives qu'elles entrainent. Les résultats de certaines enquêtes démontrent que le non changement d'habitude modale est dû au manque de fermeté des politiques de mobilité/transport, les individus attendant égoïstement mais rationnellement une obligation formelle, avant de modifier leurs pratiques de déplacement. Les initiatives pour le moment "incitatives" sont parfois qualifiées de "demi-mesure" et troublent les automobilistes par leurs contradictions (Rocci, 2007). Il est également émis l'hypothèse que *"chaque levier pris isolément ne peut agir efficacement sur les comportements (de mobilité)"* et que seules plusieurs actions combinées peuvent constituer une stratégie efficiente en matière de report modal et plus généralement sur les comportements de mobilité (Rocci, 2010).

Une situation émerge alors où les acteurs publics tentent de répondre aux objectifs fixés par les grands engagements nationaux et/ou internationaux mais ceux-ci se trouvent généralement confrontés aux acteurs individuels [3] qui ont des stratégies de mobilités bien souvent divergentes. Ces stratégies de mobilités dites *"divergentes"*, qui témoignent de l'adaptation des acteurs individuels, ont généralement pour effet de limiter l'efficacité des stratégies des acteurs publics (Anable, 2005 ; Buehler, 2011 ; Vredin Johansson & al., 2006).

Toute action menée par les acteurs publics a pour effet de modifier le système urbain, ce qui participe à l'évolution des pratiques de mobilité des acteurs individuels qui tentent de s'adapter à ce nouveau système tout en continuant d'atteindre leurs objectifs. Une partie des acteurs individuels peuvent alors modifier/adapter leurs comportements de mobilité pour contourner les "obstacles" issus des nouvelles politiques mises en place. Cette réponse des acteurs individuels entraine à son tour une modification du système (Figure 1). Se pose alors la question de l'influence combinée des stratégies d'acteurs (publics et individuels) sur la reconfiguration des mobilités quotidiennes. Cette *"reconfiguration"* n'est pas uniquement spatiale. Au-delà de l'analyse des couples origines-destinations des individus, leurs façons de se déplacer, l'agencement des déplacements, la spatio-temporalité des déplacements sont autant d'éléments qui importent dans cette étude.

2. Cette efficacité mitigée est également avancé par S. Vincent (2010) *"la place de la voiture dans nos modes de vie contemporains, à la fois indispensable et indésirable, est emblématique du paradoxe auquel se trouve confrontée aujourd'hui l'action publique"*.

3. Tout individu qui se déplace est ici entendu comme étant un acteur individuel. Les stratégies de mobilité de ces acteurs sont notamment conditionnées par leurs cadres familiaux, sociaux, professionnels, culturelles ... ainsi que par l'environnement dans lequel ceux-ci évoluent.

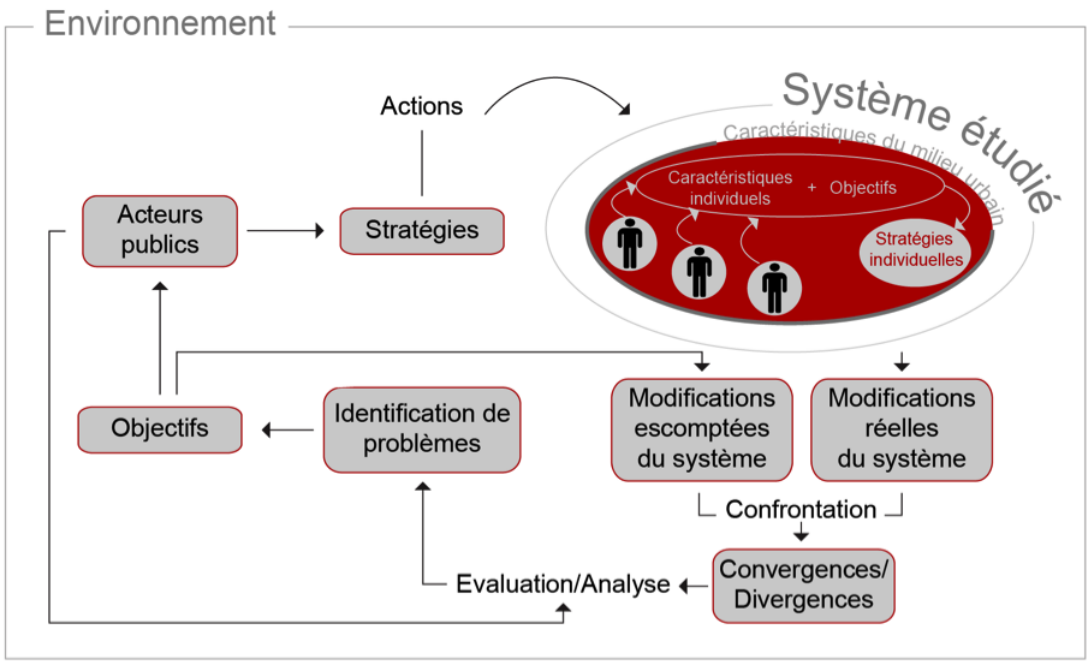


FIGURE 1 – Influence combinée des stratégies d'acteurs collectifs et individuels sur la reconfiguration des mobilités quotidiennes

Afin de travailler sur cette question et de tenter d'y apporter des éléments de réponse, nous proposons une approche par la modélisation et la simulation. Ce type d'approche nécessite un outil adapté qui permet de répondre à nos objectifs. Nous proposons alors de voir quel outil de modélisation permet une représentation du système de mobilité quotidienne en vue d'une étude de ces stratégies.

Compte tenu du système étudié, l'outil de modélisation devra à la fois prendre en considération : (I) les caractéristiques du milieu urbain et son évolution au cours du temps, tel que l'environnement physique, les systèmes de transports, la répartition des espaces bâtis et tous autres éléments créé par l'Homme pour l'Homme ; (II) la population et les caractéristiques de chaque individu (environnement familial, professionnel, psycho-social, économique, culturel ...).

Partant de l'hypothèse que chaque individu ou groupe d'individus ont des stratégies différentes en fonctions de leurs propres objectifs et que ces comportements individuels sont à l'origine des phénomènes observables à l'échelle méso, l'outil de modélisation utilisé se doit de représenter les comportements de mobilité au plus près de l'entité individuelle. De plus, les objectifs et a fortiori les stratégies des individus sont amenées à évoluer au cours du temps. Une modification de l'environnement sociale, familiale ou autre élément ayant attrait aux caractéristiques de l'individu entraine une modification des pratiques de mobilité (Scheiner J. & Holz-Rau C., 2013). La modification du système de mobilité quotidienne résultant de politiques publics peut également entraîner une modification des pratiques individuelles de mobilité. Le modèle doit donc pouvoir prendre en compte ces évolutions.

Par conséquent, l'utilisation d'un modèle LUTI (Land Use and Transport Interaction ou Land Use and Transport Integrated) individu-centré semble adapté à la représentation de notre système. Le modèle MobiSim (Antoni & al., 2011) qui est une plateforme de simulation individu-centré de type LUTI est ici identifiée comme base initiale pour notre travail. Ce modèle utilisé pour "l'analyse des dynamiques des mobilités quotidienne et résidentielle a pour

objectif d'apporter une aide à la décision pour l'aménagement durable des villes Françaises et Européennes" [4]. Il permet de simuler des scénarios prospectifs réalistes de l'évolution d'une agglomération. Ces scénarios peuvent prendre en compte les modifications du contexte global d'une société (évolution du coût de l'énergie ou des revenus des ménages, évolutions démographiques ...), du contexte local (modifications des infrastructures de transport) et des comportements des individus (déterminants dans le choix du mode de transport, changement des planninges d'activités ...).

Nous exposerons donc la structure du système étudié afin d'en déterminer les éléments essentiels à sa modélisation. Ce modèle "théorique" sera ensuite comparé à un modèle existant qui nous sert de base actuelle, le modèle MobiSim, afin de mettre en lumière les éléments mal ou non représentés par ce dernier. Des alternatives ou modification seront avancées dans la dernière partie de notre communication.

Références

Anable J., 2005, 'Complacent car addicts' or 'aspiring environmentalists' ? Identifying travel behaviour segments using attitude theory, *Transport Policy*,12(1), 65-78.

Antoni J-P., Tannier C., Vuidel G., Hirtzel J., 2011, MobiSim – Rapport final PREDIT, Groupe Opérationnel n°6, Recherche 09MTCV34. Rapport technique, Laboratoire ThéMA – CNRS – Université de Franche-Comté, Besançon.

Aytur S. A., Rodriguez D. A., Evenson K. R., Catellier D. & Rosamond W. D., 2007, Promoting active community environments through land use and transportation planning. *American journal of health promotion*, 21(4s), 397-407.

Buehler R., 2011, Determinants of transport mode choice : a comparison of Germany and the USA, *Journal of Transport Geography*, 19(4), 644-657.

De Coninck F., 2001, *L'Homme flexible et ses appartenances*. l'Harmattan, 276

Desjardins X. & Mettetal L., 2013, L'habiter périurbain face à l'enjeu énergétique. *Flux*, (3), 46-57.

Dupuy, G., 1999, *La dépendance automobile : symptômes, analyses, diagnostic, traitements*, Anthropos, 157 p

Frumkin, H., Frank, L., & Jackson, R. J., 2004, Urban sprawl and public health : Designing, planning, and building for healthy communities, Island Press

Kaufmann V., Bassand M., 1996, L'automobile urbaine : une impasse, in Voyé L. (Dir.), *Ville et transactions sociales*, Hommage au professeur Jean Rémy, Paris : L'Harmattan, 29-50

Korsu E., 2010, La proximité domicile-travail dans les choix résidentiels et professionnels de l'individu hypermoderne, in Massot M.H, *Mobilités et modes de vie métropolitains : Les intelligences du quotidien*, L' Oeil d'Or, Critiques & Cités, 75-91

Madre J. L, 1999, The new captives of the motor car. *Cahiers de l'IAURIF*, (122), 29-34.

Meray F. & Séchet R., 2013, Les mobilités sous contraintes des mères seules avec enfant(s) : Analyse dans le cadre de la Bretagne (France) in Gerber P. & Carpentier S., *Mobilités et modes de vie : vers une recomposition de l'habiter*, Presses Universitaires de Rennes, 69-88

Moore R., 2012. Definitions of fuel poverty : Implications for policy, *Energy Policy*, Vol.49, pp. 19-26.

Orfeuil J-P., 2002, Etat des lieux des recherches sur la mobilité quotidienne en France in Lévy, J. P., & Dureau, F., *L'accès*

4. D'après le site web de MobiSim : `http://thema.univ-fcomte.fr/mobisim/index.php?option=com_content&view=article&id=17&Itemid=101`

à la ville : les mobilités spatiales en questions, L'Harmattan, 65-98

Pouyanne G., 2005, Diversité des usages du sol et mobilité quotidienne : Une application à l'aire urbaine de Bordeaux, *Cahiers du GRES* 2005(08), [En ligne], disponible sur : `http://cahiersdugres.u-bordeaux4.fr/2005/2005-08.pdf`, (consulté en mai 2013)

Rocci A., 2007, *De l'automobilité à la multimodalité ? Analyse sociologique des freins et leviers au changement de comportements vers une réduction de l'usage de la voiture. Le cas de la région parisienne et perspective internationale*, (Doctoral dissertation, Université René Descartes-Paris V). (`http://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00194390/`)

Rocci A., 2010, Changer nos comportements de mobilite, légitimité et acceptabilite de l'action publique, in Maksim H., Vincent S., Gallez, C., & Kaufmann, V., *L'action publique face à la mobilité*. L'Harmattan, 93-118

Scheiner J. & Holz-Rau C., 2013, A comprehensive study of life course, cohort, and period effects on changes in travel mode use. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 47, 167-181.

Vincent S., 2010, Introduction générale, in Maksim H., Vincent S., Gallez, C., & Kaufmann, V., *L'action publique face à la mobilité*. L'Harmattan, 256p

Vredin Johansson M., Heldt T. & Johansson P., 2006, The effects of attitudes and personality traits on mode choice, *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 40(6), 507-525.

Wenglenski S., 2010, Accès à l'emploi : champ des possibles contre champ des pratiques, in Massot M.H, *Mobilités et modes de vie métropolitains : Les intelligences du quotidien*, L'Oeil d'Or, Critiques & Cités, 122-137

Wiel M., 1999, *La Transition urbaine : ou le passage de la ville pédestre à la ville motorisée*, Editions Mardaga, 149 p

Atelier 14

Modélisation, simulation à base d'agents

Simulation des dynamiques spatiales d'un territoire agro-viticole : premier pas vers le modèle VitiTerroir

Adrien LAMMOGLIA[1], **Etienne DELAY**[2], **Samuel LETURCQ**[1], **Éric ROUVELLAC**[2]

[1] UMR 7324 CITERES, équipe LAT
[2] UMR 6042 GEOLAB, Université de Limoges, FLSH

Mots-clefs - Système viticole ; dynamiques spatiales ; compétition territoriale ; modélisation multi-agents ; programme VitiTerroir

Introduction

Loin d'être figés, les territoires viticoles, espaces vivants, évoluent au rythme des pulsations de la société. Les communautés humaines créent, exploitent, entretiennent, adaptent à leurs besoins les vignobles sous l'influence des considérations culturelles (évolution des goûts, sentiment d'attachement identitaire à la vigne), sociales (exigences nouvelles des consommateurs en matière de santé publique et de bien-être), économiques (évolution de la demande, pression de la concurrence), juridiques (évolution de la législation sur les droits de plantation) et environnementales (appauvrissement et érosion des sols, évolutions climatiques, pression urbaine).

Le programme VitiTerroir [1] a pour ambition de poser les bases d'une analyse dynamique des territoires viticoles en région Centre. Nous considérons le territoire viticole comme le produit des interactions entre écosystème et anthroposystème, autrement dit, comme un système (très) complexe. Il n'est en aucun cas donné comme un invariant déterminé par des nécessités naturelles, mais bien au contraire comme un construit social (Dion 1959). Pour simuler les dynamiques spatiales des territoires viticoles à des échelles de temps et d'espace variables, nous avons opté pour la modélisation multi-agents (Ferber & Perrot 1995). Elle nous semble particulièrement adaptée pour appréhender la complexité des systèmes et étudier leurs répercutions spatiales (Amblard & Phan 2006).

Notre contribution s'insère dans les volets « 4. Configurations paysagères, occupation du sol, écologie spatiale », « 5. Dynamiques spatiales et interactions sociales » et « 12. Simulations spatiales et systèmes complexes » de TheoQuant15. Nous présentons tout d'abord le modèle VICTOR (VIticulture Consommation TOuRaine) (Delay et al. 2013) qui a constitué le premier pas dans l'élaboration du programme VitiTerroir. Après une discussion des principaux résultats obtenus, nous proposons une transition vers la méthodologie générale adoptée pour VitiTerroir, en précisant son domaine d'application.

Le modèle VICTOR

Le modèle multi-agents VICTOR est le fruit d'une collaboration entre historiens (LAT, Tours) et géographes (GEOLAB, Limoges). Au sein d'un territoire agricole virtuel, il permet d'explorer les dynamiques spatiales engendrées par la compétition entre la viticulture (culture pérenne) et d'autres formes d'agriculture comme la céréaliculture (culture annuelle). Le modèle est basé sur une complexification des hypothèses proposées par von Thünen (von Thünen 1966) :

- l'inégale fertilité des sols influence les stratégies d'implantation et la structuration des cultures ;
- la multiplicité des marchés urbains implique une imbrication des aires de production, de commercialisation et de consommation ;

1. http ://vititerroi.hypotheses.org/tag/vititerroir

– contraints par la distance, les villages sont tentés d'abandonner en premier lieu les parcelles les plus éloignées du centre.

VICTOR repose sur deux types d'agents : les villages et les hameaux satellites. Ils représentent tous deux des localités habités par des agriculteurs. Ils sont différenciés par leur population à l'état initial. Les orientations de culture sont prises par les agents chaque année, ce qui conduit à une restructuration du paysage agraire en fonction des opportunités du marché et des contraintes spatiales. Le village tente d'optimiser les cultures de son aire d'influence en fonction de la demande locale et des prix du marché, qui sont mis à jour selon des scénarios préalablement définis.

Le modèle a été développé dans le framework NetLogo 5.0.5. (Wilensky 1999 ; Tisue & Wilensky 2004). Une analyse de sensibilité aux conditions initiales a été menée avec la plateforme OpenMole (Reuillon et al. 2013). Les données extraites des simulations ont ensuite été traitées avec le logiciel R (R. Core Team 2012). Un protocole de simulation regroupant 470 simulations a permis d'analyser (a) les effets de l'isotropie/anisotropie et de la position initiale des localités, (b) l'effet du nombre de villages sur le comportement du système et (c) l'effet d'une macro économie basée sur une fonction linéaire ou logistique. A l'issue du travail nous avons pu ainsi appréhender (i) la dynamique des surfaces céréalières et viticoles, (ii) les modalités d'utilisation du sol en fonction de la culture [2] et (iii) la résilience des localités (villages et hameaux).

Les simulations montrent qu'une configuration anisotropique (e.g. un espace segmenté par des coteaux) défavorise la culture céréalière. Cette dernière étant sensible aux conditions d'implantation, la moindre réduction des terres favorables aux céréales induit inévitablement une diminution de leurs surfaces cultivées. Cela n'est pas vrai pour la vigne qui est capable de se développer sur une grande variété de sols, dont sur des parcelles en pente. Les céréales étant une ressource indispensable pour les villages, une compétition intense entre les localités, pour le contrôle des terres les plus favorables, se met en place au fur et à mesure que la population accroit. Dans un contexte d'auto-consommation, on constate que, dans le processus de compétition spatiale, la priorité est donnée à la production des céréales, plutôt qu'à celle du raisin. Pourtant, lorsque la rente attribuée à la vigne devient avantageuse ou que la place vient à manquer, on constate que la viticulture gagne de l'espace sur les terres céréalières (cf. Figure 1), comme cela s'est, par exemple, produit dans le Bourgueillois à la fin du XIXe siècle (Dion 1952 ; Caslot 2011).

Le facteur économique apparaît donc déterminant dans le fonctionnement du système agro- viticole. Le modèle montre que si les localités sont soumises à un marché linéaire, elles développent un comportement d'inhibition de la production pour aboutir à un équilibre de Pareto, en termes de ressources spatiales. A contrario, lorsqu'elles sont soumises à des marchés cycliques (décorrélés au fonctionnement du territoire, et représentatifs d'un système de spéculation sur la production), on assiste à une recherche d'optimisation et donc à une compétition entre les localités beaucoup plus intense. On comprend alors que les territoires viticoles de renommées ont certainement bénéficié à leur création d'un environnement économique suffisamment stable pour garantir des débouchés, tout en profitant localement de *« ce qui, dans la disposition naturelle des lieux, pouvait favoriser son dessein (...). Par-là s'établit, mais dans le menu détail, bien plus que dans les grandes lignes, le lien de la géographie viticole à la géographique physique »* (Dion 1952).

2. Cela permet de vérifier ou infirmer l'effet de la prédisposition de la vigne à être installée sur des terres pauvres à l'inverse des céréales qui sont normalement conduites sur les terres riches, ainsi que le propose R. Dion (Dion 1952)

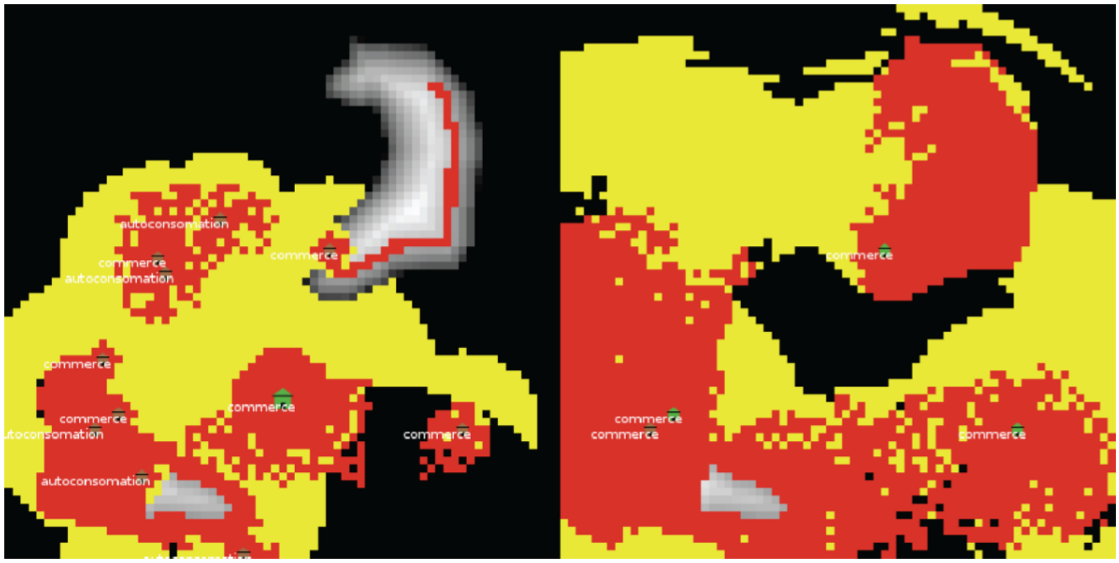


FIGURE 1 – Configurations spatiales du territoire en début (gauche) et fin (droite) de simulation (en contexte de marché cyclique). (Rouge = Vigne, Jaune = céréales, Gris = parcelles en altitude)

Le programme VitiTerroir

Suite à l'expérience menée avec VICTOR, nous avons jugé intéressant d'élargir l'étude en proposant le programme[3] VitiTerroir. L'objectif est de développer un modèle permettant de simuler la dynamique spatiale des territoires viticoles à plusieurs échelles spatiales et temporelles. Pour ce projet nous proposons de scinder en deux le travail de modélisation. La première étape consiste à développer un corpus de modèles spécifiques à chaque discipline (e.g. influence du marché sur l'emprise spatiale des vignobles, compétition entre l'urbain et la viticulture, relation entre les propriétés bio-génétiques des cépages et l'extinction/expansion des vignobles, etc.). Dans un premier temps, cela va nous permettre d'analyser précisément et indépendamment l'impact de quelques facteurs sur le fonctionnement des systèmes viti-vinicoles. La seconde étape consiste à regrouper les modèles dans un même simulateur, pour simuler, cette fois-ci, la dynamique globale des territoires viticoles en prenant en compte les interactions entre les différents processus étudiés en amont (facteurs économiques, sociétaux, biologiques, etc.). La perspective est alors multi-échelle, non seulement dans l'espace (échelle de la vigne, de la parcelle, du vignoble, et de la région), mais aussi dans le temps (temps court de quelques années, temps moyen de quelques décennies, temps long de plusieurs siècles). VitiTerroir se construit sous la forme d'un meta-modèle (Treuil et al. 2008), c'est-à-dire un regroupement de sous modèles dynamiques qui seront exécutés en simultané et en interaction dans le simulateur. Le méta-modèle définit les concepts de modélisation utilisés, les propriétés et les relations existantes entre chacune des entités implémentées dans les sous-modèles. D'un point de vue méthodologique, l'intérêt de cette méthode est (i) d'identifier les procédures spécifiques aux différentes thématiques analysées, (ii) de mutualiser un maximum de procédures et de paramètres qui sont communs aux sous-modèles et (iii) de disposer d'une seule et même interface pour analyser et interpréter les données de simulation (cf. Figure 2).

3. Programme de recherche régional pluridisciplinaire financé par la région Centre (2014-2017), regroupant huit institutions et laboratoires partenaires.

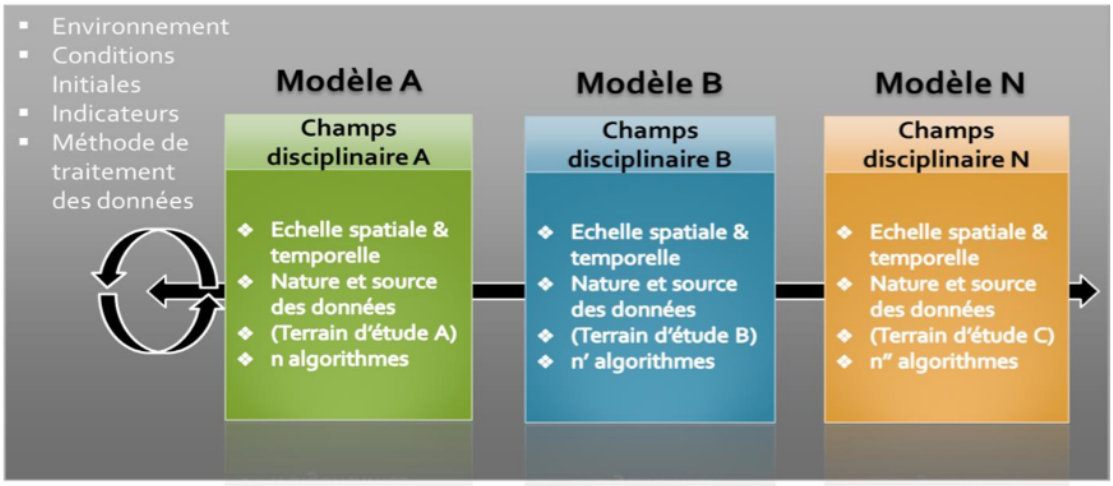


FIGURE 2 – Architecture du simulateur VitiTerroir

Le programme VitiTerroir

In fine, le programme VitiTerroir propose de mettre en place les bases d'un outil prospectif fondé sur la modélisation des transformations territoriales des vignobles dans la longue durée. Face aux défis que la viticulture affrontera dans les prochaines décennies, le programme envisage de fournir une compréhension historique, et à terme prospective, de l'activité viticole à plusieurs échelles spatiales (régions, départements, vignobles, parcelles) et temporelles (décennie, demi-siècle, siècle, pluriséculaire). Notre ambition est de mesurer précisément le poids des facteurs environnementaux et sociétaux dans leur profondeur historique (résilience) et de simuler, sur la base d'une connaissance pluridisciplinaire des transformations passées, la complexité des évolutions plausibles.

Références

Amblard, F. & Phan, D., 2006. *Modélisation et simulation multi-agents : applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société*, Paris : Hermes science publ.

Caslot, L., 2011. L'évolution du vignoble Bourgueillois entre 1850 et 1950 : permanences et mutations.

Delay, E., Letrucq, S. & Rodier, X., 2013. Paysage computationnel, viticulture virtuelle. Histoire d'émergence spatiale. Available at : `http://isa.univ-tours.fr/modys/download/rd13_delay.pdf` [Accessed September 25, 2014].

Dion, R., 1959. *Histoire de la vigne et du vin en France des origines au XIXe siècle*, CNRS éditions.

Dion, R., 1952. Querelle des anciens et des modernes sur les facteurs de la qualité du vin. In Annales de géographie. JSTOR, pp. 417–431. Available at : `http://www.jstor.org/stable/23442544` [Accessed December 11, 2014].

Ferber, J. & Perrot, J.F., 1995. *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*, InterEditions Paris.

R. Core Team, 2012. R : A language and environment for statistical computing. Available at : `http://cran.case.edu/web/packages/dplR/vignettes/timeseries-dplR.pdf` [Accessed December 11, 2014].

Reuillon, R., Leclaire, M. & Rey-Coyrehourcq, S., 2013. OpenMOLE, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models. *Future Generation Computer Systems*, 29(8), pp.1981–1990.

Von Thünen, J.H., 1966. *Isolated state : an English edition of Der isolierte Staat*, Pergamon Press.

Tisue, S. & Wilensky, U., 2004. NetLogo : A simple environment for modeling complexity. In *International Conference on Complex Systems*. pp. 16–21. Available at : `http://ccl.sesp.northwestern.edu/papers/netlogo-iccs2004.pdf` [Accessed September 6, 2012].

Treuil, J.-P., Drogoul, A. & Zucker, J.-D., 2008. *Modélisation et simulation à base d'agents : exemples commentés, outils informatiques et questions théoriques*, Dunod. Available at : `http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=cQTj0fgJf8IC&oi=fnd&pg=PR5&dq=mod%C3%A9lisation+et+simulation+%C3%A0+base+d%27agents&ots=86o7LWan3H&sig=-W9i-KKms34I2LJux1QucfupVaM` [Accessed April 30, 2013].

Wilensky, U., 1999. GasLab : An extensible modeling toolkit for connecting micro-and macro- properties of gases. *Modeling and simulation in science and mathematics education*, 1, p.151.

GEOSIMULATION DES DYNAMIQUES DE POPULATION VECTORIELLES : UN MODELE MULTIAGENT DU VECTEUR DE LA DENGUE EN MILIEU URBAIN TROPICAL ET SUB-TROPICAL

SOMSAKUN MANEERAT[1] **& ÉRIC DAUDE**[1,2]

[1]UMR IDEES 6266, Université de Rouen, France

[2] UMIFRE MAE-CNRS 20, Center for Social Sciences and Humanities, New Delhi

Mots-clefs - *Aedes aegypti*, modèle à base d'agents, géosimulation, risque vectoriel, milieu urbain

Contexte

La dengue est une maladie virale qui infecte chaque année selon les estimations entre 200 et 400 million personnes dans le monde (Bhatt, & al. 2013). La transmission du virus à l'humain se fait lors d'une piqûre du moustique du genre Aedes, précisément les femelles Aedes aegypti (Gubler, et al., 2011 ; WHO, 2012). La reconnaissance des facteurs qui influencent la propagation de la dengue n'empêchent pas sa progression, car leurs poids est relatifs aux lieux et la nature et les effets des interactions entre ces facteurs ne sont que très partiellement connue (Gubler, 2011). En l'absence d'un vaccin contre la dengue, le contrôle de cette maladie passe essentiellement par un ensemble de mesures de protections contre son vecteur, le moustique. Celles-ci passent notamment par la surveillance des populations d'Aedes aegypti dans les zones endémiques ou susceptibles d'héberger ces populations. Cette surveillance doit s'accompagner de mesure de contrôle de réduction de la source (destruction de gîtes larvaires par exemple) ou de réduction vectorielle (pièges à moustiques, fumigation) lorsque les collectes révèlent des densités élevées. Enfin une éducation des populations locales sur les risques vectoriels et de la dengue doit permettre d'améliorer l'efficacité de la prévention, par une gestion de l'environnement local (contrôle des gîtes, installation de moustiquaires aux ouvertures) et par la prise en compte de mesures individuelles de protection (habit, répulsifs). Néanmoins, ces opérations nécessitent des opérateurs de santé publique et des institutions partenaires qu'ils soient opérationnels, et elles sollicitent des ressources humaines et des financements qui ne sont pas toujours disponibles dans les pays en voie de développement (Gubler, 2011).

La stratégie globale pour le contrôle et la prévention de la Dengue établie par l'OMS a soulevé à nouveau cette nécessité d'augmenter la capacité de surveillance et de répondre aux épidémies de la dengue à micro échelle (WHO, 2012). L'utilisation de modèles spatialisés et dynamiques pour identifier les zones à risque est recommandée (Guzman, et al. 2010). C'est dans ce contexte que le modèle SEASON a été développé. Celui-ci s'intègre dans un projet de modélisation multiagent du système complexe de la dengue (Daudé et al., 2015) dans lequel le vecteur, l'hôte, le virus et l'environnement interagissent et définissent un risque de réémergence d'épidémies locales, à Delhi, Inde (programme ANR AEDESS [1]) et à Bangkok, Thaïlande (FP7 DENFREE [2]).

1. http://anr-aedess.fr
2. http://www.denfree.eu/

Méthode

Nous présentons ici le modèle SEASON (Spatial Explicit Aedes SimulatiON) dont l'objectif général est de simuler les dynamiques spatio-temporelles du vecteur de la dengue, la femelle moustique Aedes aegypti dans différents contextes urbains et de mesurer les effets de scénarii de contrôles vectoriels sur les évolutions de cette population.

En combinant les couches d'informations géographiques et des modèles comportementaux grâce aux systèmes multiagent, la géosimulation permet d'intégrer en détail l'environnement et les comportements du moustique. La réalisation d'un modèle basé sur les comportements facilite en plus les discussions autour du modèle entre les différents thématiciens (géographe, entomologiste, biologiste et informaticien), et elle permet, grâce à la simulation, de produire de nombreuses informations originales sur les populations de moustique aux échelles locales.

Dans SEASON, un agent représente une femelle moustique adulte de type Aedes aeygpti. Chaque agent avatar Aedes est décrit par une liste d'attributs qui influencent prioritairement ses comportements, tels que son âge, son énergie ou son état. Les états sont définis selon un cycle de reproduction. Les agents moustiques évoluent dans le temps et l'espace en fonction de leurs besoins et des capacités de leurs environnements locaux à répondre à ces besoins. L'environnement artificiel est constitué de différents objets spatiaux construit à partir de traitements de photos aériennes (Google Map) via un outil SIG (QGis 2.2). Les caractéristiques associées à chaque objet sont issues d'études de terrain dans un quartier au sud de Delhi (India).

Cette zone représente divers degrés d'hétérogénéités spatiales dans une limite de 1.8 km2. Les agents Aedes peuvent interagir entre eux et avec l'environnement. Ils recherchent dans leurs environnements les cibles qui répondent à leurs besoins (repas de sang par exemple), et peuvent éventuellement adapter leurs besoins biologiques en fonction de la disponibilité ou non de ces ressources dans l'environnement (repos s'il n'y a pas de mammifère).

Résultats

Cette présentation s'articule autour d'une description du modèle SEASON et des résultats de simulations. Ces dernières concernent des études d'impact des hétérogénéités locales sur la dispersion de cohortes de moustiques. L'un des objectifs de ces simulations est d'une part de valider le modèle au regard de données de dispersions disponibles dans la littérature et d'autre part de rechercher des effets de frontières ou de corridor qui pourraient contraindre ou favoriser la diffusion des vecteurs dans l'espace géographique. La mise en évidence de contextes géographiques locaux favorables ou non à la dispersion des moustiques constitue alors une information utile pour les campagnes d'éradication des moustiques. En effet si la fumigation des adultes moustiques se fait autour des cas index, la surface traitée par cette opération pourrait en être déduite en fonction des différents types d'occupation du sol. Dans les zones denses, les capacités de vol des moustiques peuvent être limitées par la présence de nombreux murs d'habitations ou de fenêtres fermées. Au contraire dans des milieux moins denses, l'existence de parcs ou d'espaces publics peut permettre aux moustiques de parcourir de plus grandes distances. Ce premier travail vise donc à identifier par la simulation les caractéristiques des zones urbaines qui peuvent favoriser la présence de hotspots de moustiques.

Les résultats montrent un effet limité mais néanmoins réel de la géométrie des lieux sur la distance de dispersion des cohortes de moustiques. Conformément aux études disponibles, le modèle SEASON est capable de simuler une distance moyenne de diffusion de 22.36 mètres à partir du lieu d'émergence, avec un écart type de 17m. Cette moyenne est plus faible pour un milieu pré-

sentant une faible porosité, 80% des moustiques étant repérés à moins de 30 m de leur lieu d'émergence contre 45 à 60 m pour ceux évoluant dans un milieu très poreux. La porosité ici s'exprime par la densité de barrières physiques (mesurée par la longueur linéaire) par unité de surface que le moustique est susceptible de rencontrer lors de ses déplacements.

Au-delà des effets de l'environnement physiques sur le comportement du moustique, la disponibilité des "biens et services" nécessaires à sa survie sont également déterminant. Ainsi l'hétérogénéité des hôtes (les repas sanguin), l'hétérogénéité des gîtes potentiels (les lieux de pontes) et l'hétérogénéité des espaces sombres et humides (les lieux de repos) sont potentiellement déterminant pour expliquer l'hétérogénéité spatiale et temporelle des densités vectorielles. Une troisième contribution de cette présentation visera donc à décrire l'espace de phase du modèle avec la variation de ces paramètres.

Perspectives

Les avantages et limites de cette approche seront finalement discutés, et une mise en perspective par rapport à la modélisation du système complexe de la dengue sera proposée. L'un des avantages de ce type de modélisation est de pouvoir prendre en compte l'hétérogénéité spatiale et temporelle des vecteurs et des hôtes, éléments importants de la dynamique urbaine de cette maladie. Le couplage du modèle SEASON avec un modèle dynamique environnemental et un modèle de mobilité des hôtes doit permettre par exemple d'étudier les facteurs qui contribuent le plus à l'explosion d'‘épidémie locales, sujet encore très largement inexploré.

Références

Bhatt, S., P. Gething, J. Brady, Messina, J., & al., 2013. The global distribution and burden of dengue. Nature, Online publications (consulted on 04-07-2013).

Daudé É. Vaguet A., Telle O., Paul R, 2015. Complexité des maladies à transmission vectorielle : Une recherche sur la dengue dans deux métropoles asiatiques, Nature Sciences et Sociétés, article en cours d'évaluation.

Gubler, D.J., 2011. Dengue, Urbanization and Globalization : The Unholy Trinity of the 21(st) Century. Trop Med Health. 39, 3–11.

WHO, 2012. Global strategy for dengue prevention and control 2012-2020. Geneva. Available at `http://www.who.int/denguecontrol/9789241504034/en/index.htmlhttp://www.who.int/denguecontrol/9789241504034/en/index.html`.

Guzman, M.G., Halstead, S.B., Artsob, H., Buchy, P., Farrar, J., et al. , 2010. Dengue : A Continuing Global Threat. Nature Reviews Microbiology, 8, S7-S16. http ://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2460

Construction et évaluation d'un modèle de simulation dans un contexte interdisciplinaire.

Le modèle « Fixation et polarisation de l'habitat en Europe du Nord-Ouest entre 800 et 1100 ».

Robin Cura[1], Cécile Tannier UMR ThéMA[2]

[1] UMR Géographie-cités Université Paris 1

[2] UMR ThéMA CNRS-Université de Franche-Comté

Mots-clefs - Modélisation à base d'agents ; Paramétrage ; Exploration visuelle ; Don- nées spatio-temporelles

Contexte et objectifs

0.0.1 Contexte de l'étude

Le travail présenté ici s'inscrit dans le cadre de l'ANR TransMonDyn, qui vise à étudier les transformations dans les systèmes de peuplement sur le temps long, au moyen de modèles conceptuels ou implémentés sous forme informatique. Cette étude s'appuie sur un formalisme, développé au sein du projet, définissant la transformation comme une transi- tion entre un régime 1 et un régime 2. Le projet TransMonDyn repose sur l'analyse d'un ensemble de douze cas d'études empiriques, les transitions, dont les localisations autant que les échelles spatiales et temporelles sont extrêmement diverses.

Notre groupe de travail étudie l'une de ces transitions, intitulée « Transition 8 - 800- 1100 : fixation et polarisation de l'habitat en Europe du Nord-Ouest ». Dans un contexte interdisciplinaire, le groupe étant constitué d'archéologues et d'historiens (Julie Gravier, Samuel Leturcq, Elisabeth Lorans, Xavier Rodier et Elisabeth Zadora-Rio), ainsi que de géographes (Robin Cura, Lucie Nahassia et Cécile Tannier), nous cherchons à caractériser et à modéliser l'émergence d'une structure de peuplement stable (de 1100 à la Révolution française), polarisée autour de châteaux et d'églises. Notre hypothèse est que ce régime est issu de processus génériques d'émiettement des pouvoirs des seigneurs, aussi bien laïcs qu'ecclésiastiques, qui, simultanément à des logiques de concurrence ou de complémentarité seigneuriales, ont conduit à la formation d'un maillage territorial paroissial et seigneurial et à une polarisation de l'habitat autour des lieux de pouvoirs (églises, châteaux). Cette polarisation, ainsi que la hiérarchisation résultante des systèmes de peu- plement régionaux durant la période, sont cependant bien différentes selon les régions de l'Europe du Nord-Ouest.

Objectifs

Nous avons choisi d'éprouver cette hypothèse par la réalisation d'un modèle de simula- tion. Dans un premier temps, le groupe a développé un modèle conceptuel (Tannier et al. 2014) identifiant les entités (élémentaires, mésoscopiques et macroscopiques) spatiales (unités d'exploitations paysannes, villes. . .) ou sociales (communautés agraires, siège épis- copal. . .), ainsi que les relations entre celles-ci (par exemple, la communauté agraire attire les foyers paysans).

Une fois ce modèle conceptuel construit, nous avons pu procéder à son implémentation sous forme d'un modèle à base d'agents. La construction de celui-ci résulte d'un processus de collaboration, entre les experts de la thématique (archéologues et

historiens) et les modélisateurs géographes. L'étape suivante, qui constitue dès lors l'objectif principal de la démarche présentée ici, est de paramétrer ce modèle. Si les mécanismes implémentés ont été pensés collectivement, il reste à trouver des jeux de paramètres, empiriques autant que « de fonctionnement », permettant de simuler l'émergence de dynamiques de polarisation et de hiérarchisation des systèmes de peuplement régionaux qui soient réalistes. Pour cela, dans un premier temps, nous avons choisi de prendre comme cas d'étude une unique région, la Touraine, en ce qu'elle est particulièrement connue des archéologues du groupe (Zadora-Rio 2008) qui disposent de différents indicateurs quantitatifs permettant une comparaison entre dynamiques observées et simulées. Dans un second temps, on cherchera à reproduire des scénarios, c'est-à-dire qu'en modifiant certains paramètres, on doit pouvoir simuler des dynamiques de systèmes de peuplements différentes, correspondant à ce qui a pu être observé dans d'autres régions de l'Europe du Nord-Ouest.

Afin de permettre ce travail collectif de paramétrage, il est nécessaire que les archéologues aient accès à une synthèse, aussi claire que possible, des résultats de simulation sous la forme d'indicateurs, de graphiques et de cartes. Nous avons pour cela choisi de développer une plate-forme d'exploration visuelle de données, interface pour que le dia- logue interdisciplinaire puisse avoir lieu autour d'informations synthétiques, graphiques et surtout partagées, ceci afin de permettre une réelle co-construction du modèle et de son paramétrage.

Nous présenterons ici les modalités de la construction collaborative d'un modèle de simulation, et en particulier du processus de premier paramétrage, autour d'une plate- forme logicielle développée à cet usage.

Le modèle de simulation

Le modèle[3] a été développé avec la plateforme de mode ?lisation agent GAMA (Grignard et al. 2013), à la fois en raison de la gestion avancée de données géographiques qu'elle propose, et du langage de développement employé (GAma Modeling Language), lequel utilise un formalisme « comportemental » (les agents agissent selon des réflexes) fa- cilitant l'expression et la compréhension de règles pour les moins initiés à la modélisation agent.

Le modèle anime, dans un espace théorique de 100 × 100 km, un ensemble d'agents de différents types :

- Des **foyers paysans**, marqueurs de la transition. Ceux-ci sont caractérisés par un ensemble de mesures de satisfactions (Matérielle, Religieuse, et en terme de Protection face aux violences), qui les poussent à se déplacer lorsque celles-ci sont trop faibles. Ces déplacements s'effectuent selon des modalités particulières selon les situations, mais visent systématiquement à l'augmentation de la satisfaction, selon une logique découlant des modèles gravitaires.
- Lorsque les foyers paysans se regroupent, ils peuvent former des **agrégats** de population, correspondant à des villages ou à des villes, qui peuvent être dotés de fonctions (marchés, foires, communautés agraires. . .) renforçant leur capacité d'attraction.
- Les **seigneurs** laïques ou ecclésiastiques constituent les agents initiant les trans- formations spatiales (majoritairement observées au niveau des foyers paysans, selon la distribution de ceux-ci) : ils collectent des redevances auprès des foyers paysans, construisent des **églises** et des **châteaux**, et, dans un processus d'émiettement des pouvoirs, se cèdent les uns aux autres, contre rétribution sous forme de puissance et d'obligation, une partie des droits qu'ils possèdent.

3. Code-source disponible à cette adresse : `https://github.com/RCura/transition8`

Tout au long de la simulation (exécutée sur 18 pas de temps de 30 ans), des foyers paysans disparaissent et apparaissent – ce qui complexifie le suivi de leurs trajectoires spatio-temporelles–, des châteaux sont construits – renforçant le prélèvement de rede-vances – et des églises sont érigées et détruites, en fonction des droits paroissiaux qu'elles se sont vu – ou non – accorder et du nombre de foyers paysans qu'elles desservent.

Le modèle s'inscrit dans une approche plutôt « Keep It Descriptive, Simple » (KIDS – Edmonds et Moss 2005), et, pour être en mesure de reproduire les scénarios très divers rencontrés selon les régions considérées, possède un nombre important de paramètres. En effet, on souhaite pouvoir par exemple modifier le comportement des seigneurs les uns envers les autres (accentuation ou diminution de la coopération ou de la concurrence entre eux), ajuster la portée défensive des châteaux, ou encore faire varier l'impact des marchés et foires dans le choix de déplacement d'un foyer paysan. Par exemple, si la Touraine de cette époque voyait deux grands seigneurs s'affronter, et développer pour cela une forte lignée de seigneurs vassaux, d'autres régions, par exemple en montagne, n'étaient dominées que par un unique grand seigneur, et les communautés agraires représentaient un contre-pouvoir plus important.

Paramétrage

L'enjeu du paramétrage est de trouver un ensemble de valeurs de paramètres permettant la reproduction des dynamiques observées dans une région donnée, le modèle et son paramétrage devenant dès lors candidat à l'explication de ces dynamiques. Ces paramètres peuvent être classés en trois catégories, décroissantes dans les connaissances empiriques que l'on en a :

– Les paramètres empiriques et fixés a priori. Ils ne sont pas amenés à être calibrés et relèvent de connaissances empiriques sur le domaine. Par exemple, le nombre de grands seigneurs dans un scénario ou le nombre initial d'agrégats de foyers paysans.
– Les paramètres de calibrage. Ils s'inscrivent aussi dans une connaissance empirique, mais celle-ci est plus vague, et basée sur des généralités. L'espacement moyen des châteaux ou encore le nombre d'églises en sont des exemples. On ne peut les fixer a priori, mais leur variation ou leur état final au cours d'une simulation permet de juger de leur validité.
– Les paramètres à explorer. On ne dispose pour ceux-ci dans le meilleur des cas que de vagues ordres de grandeur. Ce sont les paramètres amenés à être les plus modifiés au cours du paramétrage. Leur paramétrage doit permettre de faire correspondre paramètres empiriques et de calibrage. Il s'agit par exemple du taux moyen de prélè- vement de redevances par les seigneurs, de la propension des seigneurs à collaborer, ou encore du niveau de violence (et donc du besoin de protection) existant dans un système de peuplement.

La complexité du système en jeu, et dès lors la multiplicité des points de vue nécessaires à son analyse, implique un aller-retour constant entre les paramètres de simulation et les résultats obtenus. Le modèle, médiateur, peut servir de « catalyseur de collaborations disciplinaires et interdisciplinaires » (Banos 2013), si tant est que son comportement ne soit pas compris uniquement par les seuls modélisateurs, et il en va de même pour son exploration. Dans ce cadre, le paramétrage nécessite un échange en temps réel entre les archéologues et les modélisateurs, et il faut disposer d'un outil adapté au modèle – pour accélérer l'exploration et donc fluidifier le processus – et flexible – afin de pouvoir multiplier les angles d'analyse et s'attacher à chacun des aspects du modèle.

Méthodes : exploration visuelle des sorties du modèle

Afin de trouver un paramétrage du modèle pour lequel les sorties correspondent à une situation observée, il est nécessaire d'explorer l'espace des paramètres. Des méthodes quasi-automatisées existent pour cela (Reuillon et al. 2013), mais elles sont peu adap- tées aux modèles comportant un grand nombre de paramètres, et reposent sur l'exécution d'une quantité très importante de simulations (jusqu'à des centaines de millions, Schmitt et al. 2014). Ces méthodes ne permettent pas de mener une exploration de paramètres dépendants les uns des autres, ce qui est pourtant nécessaire dans notre cas : certains para- mètres de notre modèle doivent en effet conserver des valeurs conditionnées par d'autres (un rayon d'attraction maximum, par exemple, devra toujours être supérieur au rayon minimum). Il existe d'autres méthodes de calibration, moins automatiques, adaptées aux modèles KIDS et capables de gérer la dépendance des paramètres (Hirtzel 2015). Ces méthodes font toutefois là aussi appel à un large volume de simulations, empêchant donc un paramétrage en temps réel. Qui plus est, la démarche de paramétrage dans laquelle nous nous inscrivons ne consiste pas en une exploration complète de l'espace des para- mètres, mais vise plutôt à trouver un ensemble cohérent de paramètres permettant la reproduction des dynamiques observées dans une région donnée. L'exploration du modèle ne peut donc se faire de manière automatisée, et ne peut non plus être réalisée sur un grand nombre de simulations : l'objectif est d'être réactif aux demandes et questionne- ments des archéologues, en temps réel. Cette exploration se réalisera donc autour d'une plateforme d'exploration visuelle, s'inspirant des méthodes et concepts développés dans le champ des GeoVisual Analytics (Andrienko et al. 2003 ; Andrienko et al. 2014).

Dans ce domaine, il n'y a encore que très peu d'outils dédiés à l'analyse de sorties de simulations, et les rares outils existants sont conçus pour une analyse a posteriori d'un grand nombre de simulations (voir par exemple Cura et al. 2014 ; Mahboubi et al. 2011) plutôt que pour de l'analyse en temps réel, chaque simulation devant, dans notre cas, être l'occasion de changer le paramétrage et ainsi d'approcher d'un état plus calibré.

Précisons ici que la conception de cette plate-forme d'exploration visuelle s'inscrit dans le temps, plus long, d'une thèse. Elle est conçue de manière générique, afin de pouvoir s'adapter à différents modèles de simulation.

Le projet ici présenté sera l'occasion d'en initier le développement, lequel avancera au rythme des phases de paramétrage du modèle, garantissant ainsi l'obtention d'un outil flexible et répondant aux attentes de ses utilisateurs.

Résultats attendus

Dans le cadre de cette communication

Cette étude aura des résultats dans les différents champs auxquels elle se rattache. En premier lieu, sur le plan thématique, l'obtention d'un premier paramétrage du modèle sur la Touraine permettra d'explorer en quoi les jeux de pouvoir des seigneurs a influencé la polarisation et la hiérarchisation du système de peuplement dans cette région. Sur un plan plus conceptuel, l'étude qui est présentée ici est un cas d'application de modélisation dans un contexte interdisciplinaire, et à ce titre, le retour d'expérience qui en découlera ne peut qu'être enrichissant.

Sur le long terme

Cette communication s'inscrit aussi dans deux temporalités plus longues : celle de la collaboration interdisciplinaire autour de la modélisation de la transition 800-1100 et celle de la thèse dont elle constitue une partie. Dans le premier cas, la définition d'un premier jeu de paramètres ouvre la

voie à une exploration plus complète et systématique des comportements du modèle, dans l'objectif de procéder à sa « validation externe » (Amblard et Phan 2006). Dans le deuxième cas, le développement d'une plate-forme adaptée à l'exploration de données de simulation et éprouvée sur plusieurs modèles dotera la communauté des modélisateurs d'un nouvel outil pour faciliter une démarche souvent nécessaire de calibration et d'exploration « agile » des modèles.

Le développement conjoint du modèle et de la plate-forme permettront ainsi de mener de manière interactive les analyses de sensibilité et de stabilité du modèle de la transition 800-1100, ouvrant alors la possibilité de modéliser les scénarios correspondant aux autres régions, d'intégrer de nouveaux comportements particuliers au modèle, et ce faisant, d'augmenter le caractère générique de la plate-forme d'exploration visuelle des résultats de simulation, avec l'objectif escompté de l'utiliser pour explorer le comportement d'autres modèles du projet TransMonDyn.

Références

Amblard, Frédéric et Denis Phan (2006). *Modélisation et simulation multi-agents*. science informatique et SHS. Hermes Lavoisier. https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00105760.

Andrienko, Gennady, Natalia Andrienko, Jason Dykes, Menno-Jan Kraak et Heidrun Schumann (2014). « GeoVisual analytics, time to focus on time ». In : 13.3, p. 187–189. url : http://ivi.sagepub.com/content/13/3/187.

Andrienko, Natalia, Gennady Andrienko et Peter Gatalsky (2003). « Exploratory spatio-temporal visualization : an analytical review ». In : Visual Data Mining 14.6, p. 503–541. url : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1045926X03000466.

Banos, Arnaud (2013). « Pour des pratiques de modélisation et de simulation libérées en Géographie et SHS ». Habilitation à Diriger des Recherches. Paris : Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. 107 p. url : http://arnaudbanos.perso.neuf.fr/hdr/volume-banos.pdf.

Cura, Robin, Mehdi Boukhechba, Hélène Mathian, Florent Le Néchet et Lena Sanders (2014). « VisuAgent – Un environnement d'exploration visuelle de données spatio-temporelles issues de simulation ». SAGEO 2014, Atelier Démo. Grenoble. url : http ://rcura.github.io/VisuAgent/.

Edmonds, Bruce et Scott Moss (2005). « From KISS to KIDS – An 'Anti-simplistic' Modelling Approach ». In : *Multi-Agent and Multi-Agent-Based Simulation*. Sous la dir. de Paul Davidsson, Brian Logan et Keiki Takadama. Lecture Notes in Computer Science 3415. Springer Berlin Heidelberg, p. 130–144. url : http ://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-32243-6_11.

Grignard, Arnaud, Patrick Taillandier, Benoit Gaudou, Duc An Vo, Nghi Quang Huynh et Alexis Drogoul (2013). « GAMA 1.6 : Advancing the Art of Complex Agent-Based Modeling and Simulation ». In : PRIMA 2013 : *Principles and Practice of Multi-Agent Systems*. Sous la dir. de Guido Boella et al.. Lecture Notes in Computer Science 8291. Springer Berlin Heidelberg, p. 117–131. url : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-44927-7_9.

Hirtzel, Joanne (2015). « Exploration prospective des mobilités résidentielles dans une agglomération urbaine au moyen d'un modèle de simulation multi-agents (MobiSim) ». Thèse de doct. Université de France-Comté. 478 p.

Mahboubi, Hadj, Sandro Bimonte et Guillaume Deffuant (2011). « Analyzing De- mographic and Economic Simulation Model Results : A Semi-automatic Spatial OLAP Approach ». In : Computational

Science and Its Applications - ICCSA 2011. Sous la dir. de Beniamino et al. Murgante. Lecture Notes in *Computer Science 6782*. Springer Berlin Heidelberg, p. 17–31. url : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-21928-3_2.

Reuillon, Romain, Mathieu Leclaire et Sebastien Rey-Coyrehourcq (2013). « Open- MOLE, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simu- lation models ». In : *Future Generation Computer Systems* 29.8, p. 1981–1990. url : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13001027.

Schmitt, Clara, Sébastien Rey-Coyrehourcq, Romain Reuillon et Denise Pumain (2014). « Half a billion simulations : evolutionary algorithms and distributed computing for calibrating the SimpopLocal geographical model ». In : *Environment and Planning B : Planning and Design advance* online publication. url : http://www.openmole.org/files/Schmitt2014.pdf.

Tannier, Cécile, Elisabeth Zadora-Rio, Samuel Leturcq, Xavier Rodier et Elisa- beth Lorans (2014). « Une ontologie pour décrire les transformations du système de peuplement européen entre 800 et 1100 ». In : *Ontologies et modélisation par SMA en SHS*. Sous la dir. de Denis Phan. Hermès - Lavoisier, p. 289–310. url : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01021976.

Zadora-Rio, Elisabeth (2008). *Des paroisses de Touraine aux communes d'Indre-et- Loire : la formation des territoires*. 34e Supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France, Tours. FERACF. 302 p. url : https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00378136.

Exploring the adaptability to climate change : a simulation approach on theoretical territories

Sophie Liziard

UMR 7300 ESPACE (CNRS / Université de Nice – Sophia Antipolis)

sophieliziard@gmail.com

Key words - adaptability – simulation – land use – climate change – water consumption

Context and purpose

Adaptation refers to the ability of a system to adjust to climate change in order to reduce its vulnerability and enhance the resilience to potential impacts of climate change. The need for adaptation measures, complementarily to mitigation measures, has been progressively recognized both in the scientific and institutional fields (IPCC 2001, 2014). Nevertheless, stakeholders are facing a challenging decision context because of the uncertainties and the non-universality of adaptation measures (Adger and Vincent 2005). Indeed, adaptation measures to climate change cannot be just transposed from one region to another. Territorial contexts must be taken into account, as it is shown by the development of bottom-up approaches based on the identification of adaptive capacity of territories or communities (Dessai and Hulmes 2004). Adaptive capacities correspond to the local resources on which the adaptation can be based. This complex and underlying potential is particularly difficult to evaluate and the assessments of adaptive capacities are often limited to a predetermined list of criteria characterising populations, economic resources or governance. However, it seems essential to define adaptation measures that are in line with the territories. In this context, one of the aims of my thesis (Liziard 2013) was to create methods to explore the adaptability of territories, by focusing on their functioning, in a more dynamic and systemic approach, and, as a geographer, taking into account the spatial dimension of territories. The method presented in this paper is a simulation approach that explores the adaptability of theoretical spaces.

Data and methods

This application deals with land use and water consumption of theoretical territories faced to the evolution of hydro-climatic parameters. Territories are analysed as complex systems (Moine 2006) of interacting agents and components. In this approach, the effects of several adaptation measures are simulated from a modelling of theoretical coastal territories.

In the first step of the modelling, cellular automata are used to simulate the evolution of land use of two models of coastal urban areas : a compact one and a fragmented one, with equal proportions of the different land use types (Fig. 1). These differentiated spaces are introduced in order to compare their adaptability. Cellular automata models are based on a cellular partition of space and used for the simulation of land use changes since several decades (Tobler 1979). The evolution is simulated from transition rules applied on each cell at each iteration (one iteration stands here for a quarter). Land use evolves according to the interaction of the cell with a given neighbourhood area. I used the SpaCelle modelling platform created by P. Langlois (Langlois 2008). The theoretical areas are 20 by 20 kilometres, divided into square cells with sides of 200 meters. The model includes different types of housing (collective, mixed and individual), watered and dry crops and

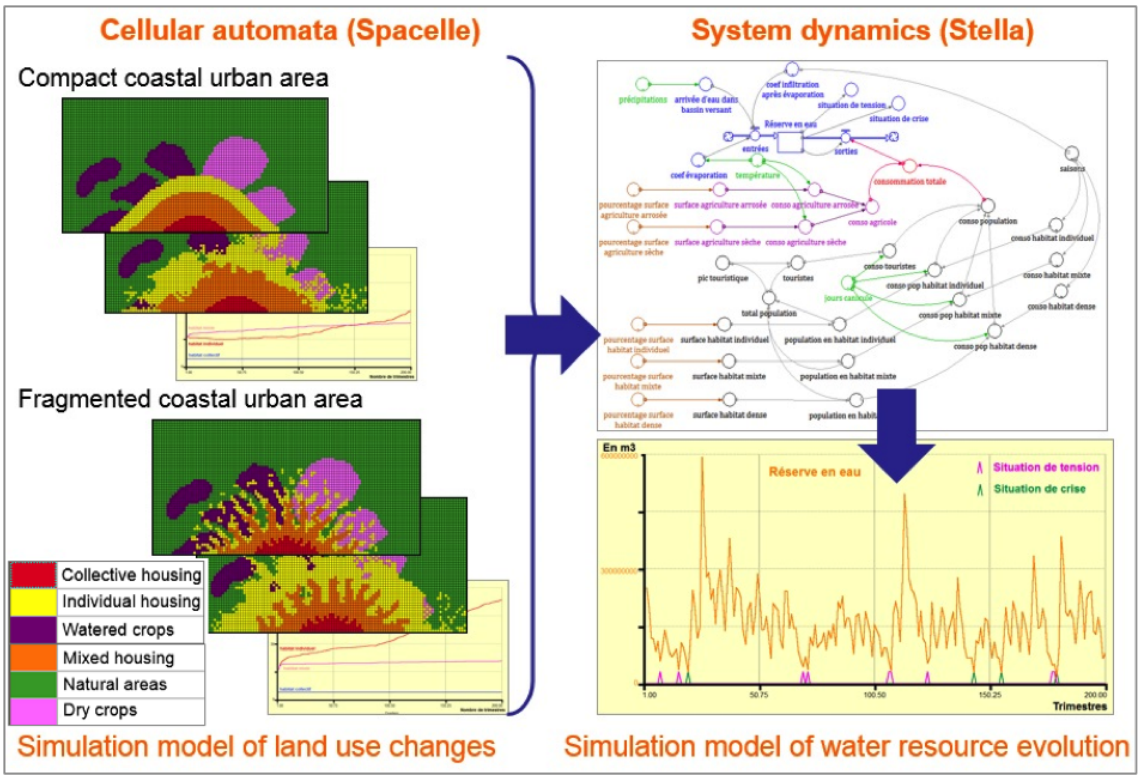


FIGURE 1 – Spatial and systemic modelling of two theoretical coastal urban areas

natural areas. The transitions rules and the calibration were designed on the basis of my knowledge of land use changes on the French Mediterranean area (for some more details see Liziard 2013).

The simulation results for the period 2010-2060 are the inputs (Fig. 1) for a stock and flow model (Forrester 1969). This kind of model, related to the System Dynamics approach, can be used to describe the complex functioning of the territory. In my case, the model simulates the evolution of the water reserve depending on the evolution of the demand for the different land uses and activities (residential, agriculture, tourism, etc.), but also according to the seasons and the hydro-climatic parameters for two IPCC scenarios (Liziard 2013, Voiron-Canicio et al. 2009). We can then identify the occurrence of crises and stress events on the water resource, when it falls below a critical threshold. I used the Stella model builder (Isee Systems).

Main results

From this model coupling cellular automata and system dynamics, several adaptation measures are implemented, alone or in combination. For example, I tested the effects of the establishment of an efficient use of water on the evolution of water consumption for the three housing types. The graphs on figure 2 show the water consumption over time, without and with this measure.

Measures of restriction of water consumption for different alert thresholds and some measures acting indirectly on water consumption (as housing densification policies) were also tested. The effectiveness of adaptation measures can be compared by examining the number of emerging crises and stress events on the water resource (Fig. 3). Here, the results show that the restriction measures quickly reduce the occurrence of such events but the measures of efficient use have more effects on the long term.

These adaptation measures are simulated on the two models of coastal urban area in order to compare their adaptability and see what measures are the most appropriate. For instance, measures introducing an efficient water use are particularly effective on the fragmented urban area model (Fig. 4). This can be explained by the fact that fragmented sprawl leads to an important development of individual housing, corresponding to the largest possibilities of reducing water consumption.

Conclusion

Results reveal that the different means to implement adaptation (acting directly on water consumption, acting on the activities as promoting dry crops, or acting on land settlement to limit the expansion of most water-consuming types of housing) are more or less effective depending on the spatial arrangements. For instance, an urban densification policy (consisting in promoting mixed housing instead of individual housing) is much more effective for the compact model than for fragmented urban area, which would require more coercive measures. Therefore, this theoretical application show that territories have a differentiated adaptability, according to their spatial arrangement and the joint processes, for all else being equal. The adaptability resulting from the spatial arrangement, what could be called the "spatial adaptability", can be an additional lever for adaptation, in connection with land planning and complementarily to the other resources of territories.

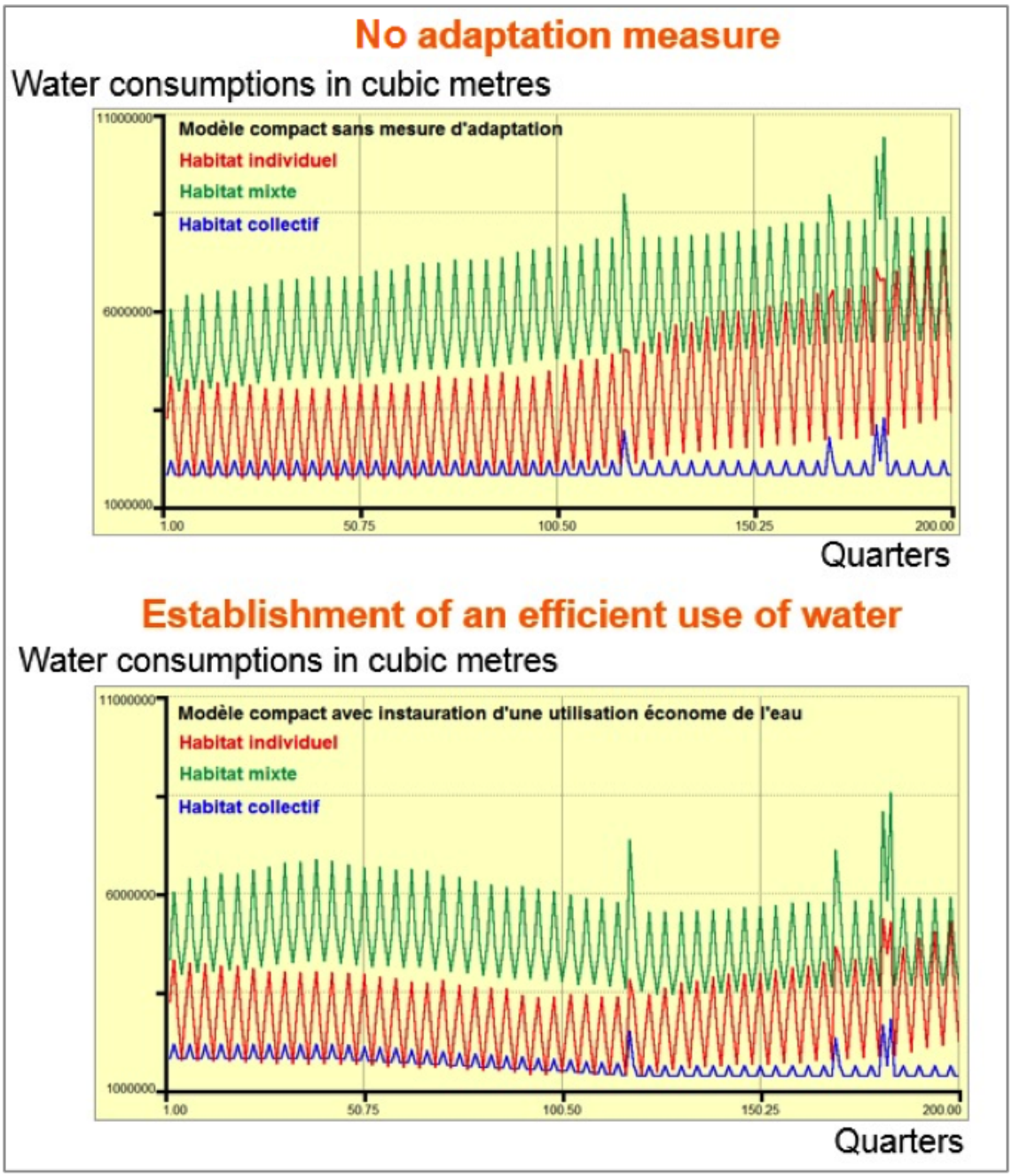


FIGURE 2 – Effects of the establishment of an efficient use of water on the evolution of water consumption for three housing types (blue : collective housing, red : individual housing, green : mixed housing) (compact coastal urban area, A2 scenario)

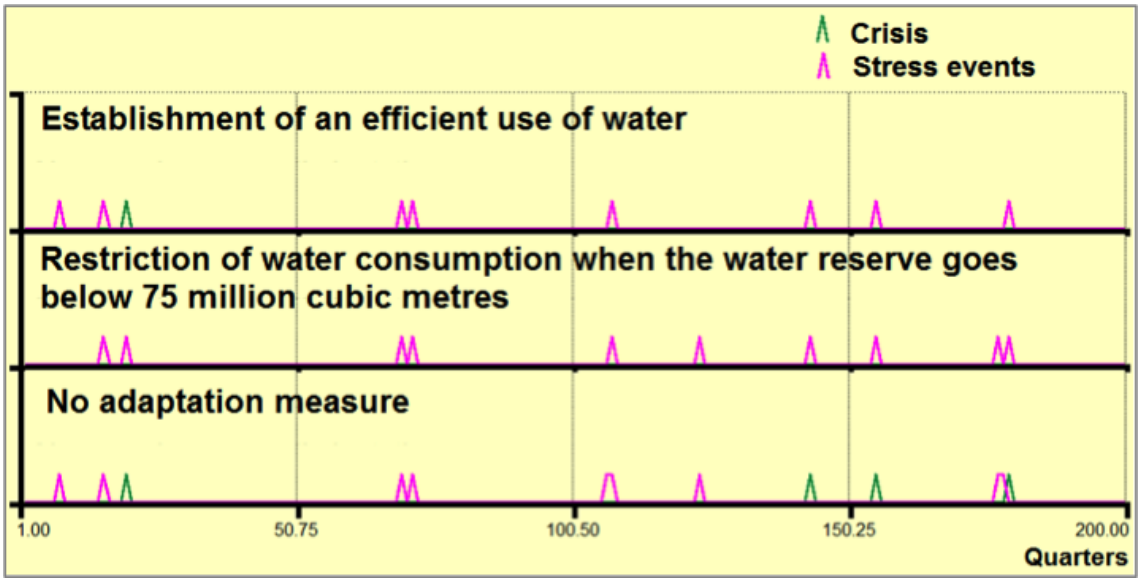


FIGURE 3 – The effects of adaptation measures on the emergence of crisis and stress events (compact coastal urban area, A2 scenario)

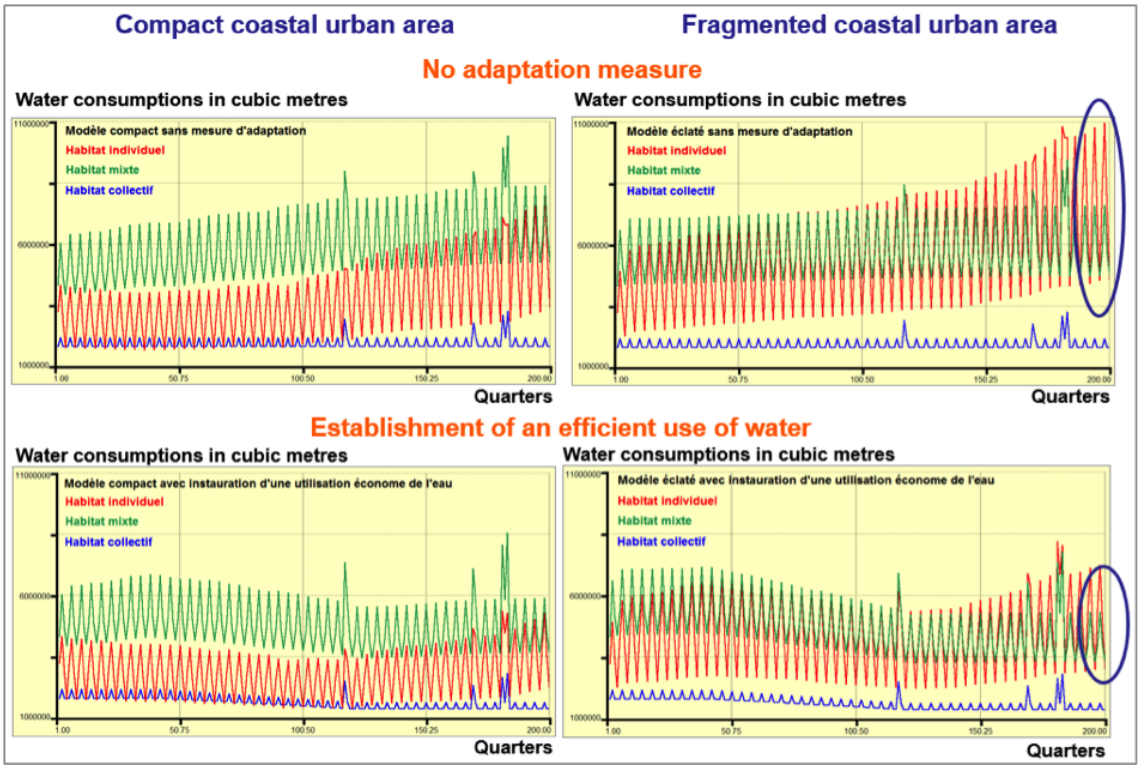


FIGURE 4 – Comparison of the effects of an adaptation measure on water consumptions for the two models of coastal urban area (A2 scenario)

Références

Adger W. N., Vincent K., 2005, "Uncertainty in adaptive capacity", C. R. Geoscience, n°337, pp. 399-410

Dessai S., Hulme M., 2004, "Does Climate Adaptation Policy need Probabilities ? ", Climate Policy, n°4, pp. 107-128

Forrester, J. W., 1969, Urban Dynamics, MIT Press, Cambridge, Massachusets, 285 p.

IPCC, 2001, "Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation and Vulnerability", in J. J. McCarthy, O. F. Canzianni, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1032 p.

IPCC, 2014, "Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A : Global and Sectoral Aspects". Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1132 p.

Langlois P., 2008, "Cellular Automata for Modeling Spatial Systems", in : Yves Guermond editor. The Modeling Process in Geography From Determinism to Complexity. USA : ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., pp. 277-307

Liziard S., 2013, Littoralisation de la façade nord-méditerranéenne : Analyse Spatiale et Prospective dans le contexte du Changement Climatique, Thèse de géographie, Université de Nice – Sophia Antipolis, 390 p.

Moine A., 2006, "Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie", L'Espace géographique 2/ 2006 (Tome 35), p. 115-132

Tobler, W. (1979), "Cellular Geography", in S. Gale et G. Ollson (Eds.), Philosophy in Geography, Kluwer, Dordrecht, pp. 379-386

Voiron-Canicio C., Dubus N., Loubier J.-C., Liziard S., 2009, "Evaluating impacts of climate change on the organization of coastal urban area : existing tools to stimulate thinking and help decision-making", Fifth Urban Research Symposium, 28-30 Juin 2009, Marseille, 21 p.

Atelier 15

Equipements de transport

Quelles limites pour quels projets ?

Représentation des jeux d'acteurs autour de la gare TGV Besançon-Franche-Comté

Alexandre Moine

Laboratoire ThéMA
UMR 6049, Université de Franche-Comté.

Mots-clefs - Territoire, espace géographique, limites, jeux d'acteurs, aménagement, géopolitique.

Contexte

Les grands aménagements sont plus ou moins des catalyseurs de développement au travers de la localisation d'aménagements « locaux », plus ou moins liés à leur présence. De nombreux travaux sur les effets des infrastructures de transport (Plassard, 1992 ; Facchinetti-Mannone, 2006 ; Mignerey, 2013) montrent que ce sont moins ces dernières que les dynamiques d'acteurs locaux qui induisent de nouveaux aménagements (Carrouet, 2013). Les études réalisées montrent essentiellement que lorsque les projets d'aménagement sont portés de manière conjointe, le développement local est assez harmonieux et les dynamiques au rendez-vous, mais les situations sont extrêmement variées au regard des expériences relevées en France (Facchinetti-Mannone, 2008). Par contre, il est plus difficile d'interpréter les situations de blocage, d'aménagements retardés, voir celle qui révèlent de fortes inerties, notamment lorsque les gares ne se situent pas dans la commune-centre de l'agglomération, ce qui nécessite une mobilisation des acteurs intercommunaux pour piloter des aménagements sur des espaces souvent à la marge des stratégies de planification (Richer et al, 2009). C'est dans ce cadre que nous nous sommes interrogé sur l'émergence d'aménagements autour de la récente gare TGV Besançon-Franche-Comté avec pour objectif de comprendre les jeux d'acteurs en place qui expliqueraient l'inertie qui est actuellement constatée et de représenter les mécanismes à l'œuvre pour en identifier les points de blocage.

En effet, ce n'est pas le manque de dynamisme des acteurs qui explique la situation actuelle relativement « figée » en termes d'aménagement, mais bien leur pluralité qui s'exprime dans un entrelacs complexe de limites institutionnelles et de zonages qui freinent les prises de décision. Il s'agit alors de révéler la géopolitique du territoire (Subra, 2007) à l'œuvre, qui ne peut s'interpréter qu'en présentant de manière systémique les enjeux locaux, afin de caractériser un territoire « en tension », au regard des principes reconnus des systèmes complexes (Moine, 2015). Livrée en décembre 2011, la gare excentrée montre ainsi par sa localisation que certains acteurs ont pesé plus que d'autres. Ensuite, les aménagements engagés à proximité de la gare, révèlent à leur tour des partis-pris qui ne semblent pas forcément partagés par l'ensemble des acteurs locaux. Enfin, les aménagements connexes, dans un périmètre d'une quinzaine de kilomètres, peinent à se mettre en place compte tenu d'une certaine défiance des uns vis-à-vis des autres, et de leur positionnement par rapport aux intercommunalités d'hier.

Dans ce contexte géopolitique pour le moins tendu, la crise et la diminution sensible des financements des différentes collectivités freinent la mise en place de projets d'aménagement, et l'on pourrait s'en tenir à ce constat pour le moins simpliste. Or, la situation est résolument plus complexe, et ce sont près de 20 ans d'histoire du développe-

ment local qu'il s'agit de réinterpréter pour comprendre l'origine de la situation actuelle et imaginer dresser des enjeux et des solutions adaptées. Or, la complexité de la situation est telle qu'il est nécessaire de se doter de grilles d'analyse solides et d'articuler les différents systèmes en jeu de manière graphique (Lardon, 2005), afin d'interpréter l'ensemble des données, informations et connaissances qui sont à disposition, et de les rendre opérationnelles pour l'aide à la décision.

Objectifs

A partir de l'exemple de la gare TGV Besançon-Franche-Comté, cette communication présente deux objectifs : (i) Recueillir l'ensemble des données et informations nécessaires à comprendre un territoire en tension et à en décrire la dynamique, (ii) Montrer de quelle manière il est possible d'articuler ces données et ces informations très hétérogènes, afin de restituer la systémogénèse d'un territoire à forts enjeux d'aménagement. Les objectifs généraux de cette communication se déclinent ainsi de trois manières strictement articulées : (i) Caractériser les données et informations nécessaires à la compréhension de la systémogénèse d'un territoire et de ses aménagements ; (ii) Mettre en place les représentations adaptées à la restitution de la complexité, notamment une modélisation graphique performante ; (iii) Restituer les résultats de l'analyse de manière à conserver une vision dynamique et systémique du territoire analysé. L'objectif global est de rendre accessible des connaissances complexes et hétérogènes de manière à soutenir les démarches d'aide à la décision.

Méthodologie

La méthodologie mise en œuvre repose sur trois étapes dépendantes l'une de l'autre :

- Mise en œuvre d'une enquête auprès de l'ensemble des élus concernés par la construction de la gare Besançon-TGV, afin de recueillir leur sentiment concernant l'impact de la gare TGV en place sur la dynamique socio-économique de leur commune, et de comprendre leurs projets de développement en lien avec celle-ci. 36 entretiens ont ainsi été menés auprès de différents élus (maires et adjoints au maire, présidents de collectivités territoriales, d'intercommunalités ou encore de chambres consulaires) ;
- Reconstitution de l'historique du choix de la localisation de la gare, de l'évolution des limites institutionnelles et zonages périphériques, et des aménagements connexes, sur la base d'entretiens, d'analyse d'articles de la PQR, d'informations contenues dans différents types de diagnostics, de traitements de données ;
- Formalisation de la systémogénèse du territoire en jeu à l'aide de différents outils graphiques, frises temporelles, graphes causaux, modélisation graphique, cartographie dynamique et docuweb.

En retraçant la systémogénèse des limites en place, en étudiant le discours des acteurs locaux, en analysant les contradictions et les points d'articulation des points de vue, en les confrontant à la réalité socio-économique locale, il est ainsi possible de structurer les connaissances de manière à fournir des éléments d'aide à la décision afin d'accompagner les démarches d'aménagement

Résultats et discussion

Plusieurs types de résultats peuvent être présentés dans le cadre de cette démarche :

- Les grilles de lecture déployées pour rendre compte de la dynamique du territoire en jeu sont efficientes, mais nécessitent d'être affinées de manière à pouvoir déployer des questionnaires plus opérationnels.
- L'enquête mise en place révèle des informations qualitatives très intéressantes, notamment sur les jeux d'acteurs locaux inscrits dans le temps long, il reste que

leur mise en forme et leur représentation dans le cadre spatial donné du territoire en jeu, demeure complexe.
- Les différents outils graphiques utilisés fournissent une connaissance tout à fait remarquable, mais leur articulation demeure en questionnement dans le cadre d'une restitution vers les acteurs, afin de constituer une aide à la décision efficiente.
- Le DocuWeb mis en place à l'issue de ce travail de terrain, tente de rendre compte des dimensions spatiales, historiques, mais également idéelles du territoire, sans parvenir pour autant à en restituer la dynamique complexe de manière intégrée.

L'ensemble de ces observations tend à montrer l'intérêt de mettre en place des outils qui intègrent les différentes dimensions d'un territoire, et permettent d'en restituer le fonctionnement. Ceci étant, la combinaison des différentes dimensions et leur restitution de manière simple et lisible par les élus et les citoyens demeure difficile, il s'agit de continuer de s'interroger sur la combinaison des solutions graphiques dans le cadre de supports en accès internet, et sur la mise en place de processus d'analyse qui intègrent des étapes clairement articulées d'acquisition de données et d'informations pour produire une connaissance de systèmes territoriaux complexes.

Références

Agence d'urbanisme de Bordeaux métropole d'Aquitaine, 2007, Les effets du TGV sur l'aménagement des quartiers de gare : Quelques expériences d'agglomérations françaises, Rapport, 87.

Carrouet, G., 2013, Du TGV Rhin-Rhône au "Territoire" Rhin-Rhône : réticularité, mobilité et territorialité dans un espace intermédiaire, thèse de Doctorat en géographie,

Chapelon L., Lebihan A., Shishmanova E., xx, Localisation des gares TGV, éléments d'arbitrage, Réseau Ferré de France,

Facchinetti-Mannone V., 2006, Gares exurbanisées et développement urbain : Le cas des gares TGV bourguignonnes, Revue Géographique de l'Est [En ligne], vol. 46 / 1-2 | 2006, URL : `http://rge.revues.org/1221`

Facchinetti-Mannone V., Richer C., 2008, Gares centrales et gares TGV bis en France : L'enjeu du doublement de la fonction ferroviaire, III jornada europea sobre alta velocidad y territorio Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real.

Lardon S., Piveteau V., 2005, Méthodologie de diagnostic pour le projet de territoire : une approche par les modèles spatiaux, Géocarrefour, Vol. 80/2, pp. 75-90.

Mignerey P., 2013, Les Effets territoriaux de la grande vitesse ferroviaire en France. Paris ? : Datar, La Documentation française, 96 p.

Moine A., Sorita S., 2015, Pour une refondation du travail social au cœur des territoires : Méthode et outils, à paraître aux Presses de l'EHESP.

Plassard, F., « Les villes et le TGV », transports urbains, n° 74, 1992.

Subra P., 2007, Géopolitique de l'aménagement du territoire, coll. Perspectives Géopolitiques, Paris, Armand Colin, 327 p.

Troin, J.-F., « Les gares TGV et le territoire : débat et enjeux », annales de géographie, n° 593-594, janvier-avril 1997.

Troin J-F., 2008, Les gares nouvelles du TGV « exurbanisées » : Fonctionnement et relation au territoire, Rapport réalisé pour la Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires (DIACT), 66 p.

Approche socio-spatiale de l'intermodalité dans les espaces gares

Cyprien Richer[1], Laure Charleux[2], Alexis Conesa[3], Thomas Leduc[4], Joël Meissonnier[5], Arnaud Piombini[6]

[1] CEREMA cyprien.richer@developpement-durable.gouv.fr
[2] University of Minnesota Duluth lcharleu@d.umn.edu
[3] Faculté de Géographie et Aménagement de Strasbourg - LIVE UMR CNRS 7362 alexis.conesa@live-cnrs.unistra.fr
[4] CERMA - UMR CNRS 1563 thomas.leduc@cerma.archi.fr
[5] CEREMA joel.meissonnier@developpement-durable.gouv.fr
[6] Faculté de Géographie et Aménagement de Strasbourg - LIVE UMR CNRS 7362 arnaud.piombini@live-cnrs.unistra.fr

Mots-clefs - Intermodalité, gares, time-geography, visibility studies, comportements de mobilité

Contexte et objectif de l'étude

Cette proposition méthodologique a pour but de présenter une approche socio-spatiale de l'intermodalité dans les espaces gares. Elle repose sur l'intégration de plusieurs méthodes d'analyse spatiale réunissant des équipes de géographes, sociologues, urbanistes et architectes. L'objectif est de proposer des pistes de transformation des gares et des espaces environnants pour améliorer l'accès fluide de la population à certaines ressources et services afin de participer à l'émergence d'une mobilité moins motorisée. À cette fin, ce projet de recherche participera à la production de connaissances sur l'efficacité et la qualité d'usage des espaces gares à différentes échelles (gare, îlot, quartiers-gare, ville, région...).

L'inégalité d'accès croissante aux ressources urbaines, associée notamment à l'étalement urbain et à la spécialisation fonctionnelle des espaces, questionne le fonctionnement des réseaux de transports et les flux de personnes qu'ils accueillent. La question d'un accès facilité et plus équitable à ces ressources, composante fondamentale de la justice spatiale (Lefebvre, 1968) et de la durabilité des systèmes urbains, constitue un enjeu de société important, déjà identifié, mais difficile à atteindre. Dans cette optique d'équité socio-spatiale, le rôle des espaces gares est intéressant car ils constituent un élément central, un lieu public attracteur de déplacements et susceptible d'être fréquenté par une grande diversité d'usagers. Les gares peuvent donc assumer pour tous un rôle d'interface, de continuité de services entre l'espace « statique » du quartier et celui de connexion à un espace de mobilité à plus vaste échelle. Or, si ces espaces des gares constituent traditionnellement des lieux denses, parfois bien pourvus en activités commerciales, leur usage par les individus en situation d'intermodalité (en correspondance, à l'arrivée ou au départ) est encore insuffisant et peu connu car peu étudié.

L'intermodalité est aujourd'hui une pratique clé des politiques de transport de voyageurs dans l'optique d'une mobilité plus durable. Elle doit renforcer la performance du système de déplacement et réduire l'impact environnemental des transports par le report modal qu'elle est censée susciter. Pourtant, au-delà de ses qualités supposées, que sait-on vraiment des usagers de l'intermodalité ? Si l'on se réfère à la littérature scientifique, le concept serait surtout au cœur d'un paradoxe : l'intermodalité permet d'optimiser la capacité rela-

tionnelle des réseaux, c'est à dire son potentiel d'accessibilité, alors qu'elle pèse, par la rupture de charge induite, sur les pratiques de mobilité. Elle est en effet souvent perçue comme une épreuve inconfortable et pénalisante, notamment quand on la compare aux modes motorisés individuels. L'intermodalité est donc à la fois une force pour l'accessibilité des réseaux et une fragilité pour la mobilité des personnes qui l'appréhendent comme une pénalité temporelle et cognitive (Wardman, Hine, 2000 ; Hine, Scott, 2000 ; Litman, 2008).

Dans la mesure du possible, les politiques de transport tentent donc de minimiser la rupture de charge par l'aménagement des pôles d'échanges et la synchronisation des horaires, favorisant ainsi le passage d'un transport à un autre en un temps réduit. Pourtant, on peut interroger cette assimilation des réseaux de transport et des lieux de l'intermodalité à de simples vecteurs de vitesse. Les transports collectifs doivent-ils uniquement obéir à un idéal de vitesse ? La correspondance doit-elle nécessairement « gommer » le territoire traversé (Kaufmann 2002, 2011) ? S'il est désormais habituel d'appréhender l'efficacité des transports selon des approches multicritères, les pratiques intermodales sont encore trop souvent définies selon la stricte approche temporelle. De ce fait, les connaissances sont relativement restreintes dans le domaine du temps actif et fonctionnel de l'intermodalité qui peut être un levier de revalorisation de la rupture de charge et des espaces qui les accueillent (Chang et al, 2001 ; Yoh et al, 2011).

L'idée soutenue ici est d'optimiser les mobilités existantes en offrant la possibilité d'intercaler, dans les espaces-temps de l'entre-deux mobilités, des activités qui sont réalisées à d'autres moments et en d'autres lieux. Ainsi, les activités effectuées dans les lieux de mobilité ferroviaire permettraient de maximiser l'utilité du déplacement effectué. En général, le déplacement est vu comme un moyen, une obligation dans la mesure où il s'agit d'une demande résultant de l'offre d'activités de plus en plus inaccessibles dans les espaces proches. Nous postulons au contraire que l'activité peut être le résultat d'un déplacement au cours duquel une certaine quantité de temps disponible peut être investie et, de facto, optimisée. L'organisation quotidienne en chaîne d'activités permettrait ainsi de minimiser les déplacements segmentés à motif unique. Pour favoriser ce chaînage, la gare doit donc être aménagée de façon à devenir un espace ressource où se déploie une offre de services et d'activités mobilisables car compatibles avec le budget-temps, les contraintes cognitives et les attentes des usagers.

Si les gares assurent la connexion entre différents modes de transport, favorisent l'efficacité des correspondances (accessibilité des différents modes les uns par rapport aux autres), elles doivent aussi remplir une fonction urbaine plus large (services proposés aux usagers, accès à la ville et à ses aménités). Cette communication a pour objectif de présenter les contraintes et opportunités urbanistiques (agencement des lieux), organisationnelles (coordination des horaires), cognitives (intelligibilité des espaces) et comportementales (usages et perceptions de l'espace-temps) à l'enrichissement du temps de la correspondance et à une réappropriation collective de ces lieux si particuliers.

Données et méthodes

La méthodologie proposée mobilise principalement des approches géographique, sociologique, urbanistique et architecturale. Dans un premier temps, un état des lieux permettra d'aborder l'enjeu des services dans les espaces gares à l'interface de l'urbanisme, des transports et des comportements de mobilité (1). Une analyse quantitative du potentiel et de l'intensité nodale sur la base des fiches horaires (2) des différents modes de transport permettra d'établir des statistiques fines sur les temps d'attente. Sur la base de ce temps « disponible » et contraint, une approche basée sur la time-geography permettra de déterminer les potentiels de ressources accessibles (commerces, services). Cet espace théoriquement accessible fera l'objet de calculs

d'intervisibilité (3) menant à une ergonomie visuelle des lieux dans et autour de la gare et ouvrant la voie à une compréhension de espaces fréquentés par les usagers (mouvement naturel, syntaxe spatiale). Ces approches seront complétées par une enquête auprès des usagers (4) qui mobilisera plusieurs méthodes pour établir un état des lieux de la correspondance et proposer des pistes de réflexion prospective.

(1) L'enjeu de l'accès aux services dans les espaces gares

Il s'agit de questionner l'enjeu de l'accès aux services en gare, notamment en termes d'équité socio-spatiale. Un état de l'art sur les expériences innovantes en France et en Europe sera réalisé au regard des enjeux définis dans le cadre des politiques publiques. Parallèlement, les services présents dans les gares étudiés seront recensés et une étude urbanistique de la configuration des quartiers gare sera mise en œuvre. Pour cela, un calcul multiscalaire des proximités inter-immeubles et inter-commerciales sera mis en œuvre afin de déterminer le potentiel d'attraction commerciale des espaces. Nous utiliserons et redévelopperons l'outil REMUS (Predit GO6 2009-2012) qui a pour objectif d'analyser et de caractériser, par modélisation, la contribution des morphologies urbaines, en tant que support des déplacements, aux mobilités urbaines. REMUS constituera également un outil d'aide à la décision pour la localisation de nouveaux services proposés aux usagers. Enfin, le public fréquentant les espaces gares sera identifié à partir des Enquêtes ménages déplacements (EMD). Les origines, destinations, motifs, etc. des déplacements ainsi que les caractéristiques socio-économiques des usagers actuels des gares seront analysés.

(2) L'espace-temps de la correspondance

La méthode de mesure du potentiel et de l'intensité nodale (Richer et Vuidel, 2011) vise à mesurer la plus ou moins bonne combinaison de l'offre horaire de transport potentiellement connectée dans les pôles d'échanges. À partir des fiches horaires, cette méthode permettra d'affiner les temps moyens de correspondance en fonction des offres de transports collectifs connectées ainsi que les différentes plages horaires où l'intermodalité est possible. Ce travail quantitatif est un préalable à l'analyse des ressources accessibles via le cadre conceptuel formalisé par la Time-geography (Hagerstrand 1970, Lenntorp 1976, Charleux, 2013). En partant des acquis méthodologiques du projet ANR MIRO2 (Modélisation Intra-urbaine des Rythmes quOtidiens, ANR « Villes Durables », 2009-2013), l'ambition est de modéliser un environnement spatiotemporel réaliste. Celui-ci permettra de situer, dans le temps de la correspondance, différentes activités potentielles les unes par rapport aux autres et ainsi de déterminer les conditions d'un chaînage entre ces activités. Les indicateurs proposés rendront compte des différents aspects de l'accessibilité en combinant des caractéristiques spatiales (nombre, type et disposition des aménités, type de correspondance) et temporelles (tranche horaire concernée, contraintes d'arrivée et de départ dans le pôle d'échanges, temps de la correspondance, temps minimal nécessaire à la réalisation d'une activité).

(3) L'accessibilité visuelle et cognitive des espaces gares

L'espace physiquement accessible doit aussi être caractérisé selon une approche sensible liée à la perception des individus en mouvement. La caractérisation visuelle de l'espace intra et extra-gare est en partie liée au concept de mouvement naturel qui postule que les déplacements des individus dans l'espace sont déterminés par la structure du réseau et plus particulièrement par des règles de visibilité (Jiang et Claramunt, 2000). Dans ce but, l'espace ouvert de déambulation du piéton sera caractérisé par un certain nombre d'indicateurs 2D et 3D du registre des visibility studies (Benedikt, 1979 ; Conroy, 2001) et pour parti déjà implémentés par les auteurs dans le SIG GearScape (projet PIRVE Ambioflux - Woloszyn et al., 2011). Ces indices seront notamment utilisés pour étudier les comportements des piétons relevés par les enquêtes (Piombini, 2014).

(4) La séquence de la mobilité intermodale

La séquence de la mobilité intermodale portera sur l'analyse des comportements des usagers en correspondance. La réalisation d'enquêtes socio-spatiales permettra de mettre en relation les potentiels, définis dans les autres tâches du projet, et les pratiques spatiales réelles. Plusieurs méthodes seront utilisées afin d'augmenter la validité de l'étude et d'améliorer la compréhension des pratiques d'intermodalité : (i) observation directe des comportements, (ii) suivi des différents types d'usagers (voyageurs habituels / épisodiques, routiniers / exploratoires, avec des budgets-temps très variables) par des parcours commentés, (iii) enquête permettant de reconstruire finement « l'emploi du temps » de la correspondance (espaces fréquentés, activités réalisées – planifiées ou non) et de déterminer, dans une démarche prospective, les activités qui seraient potentiellement repositionnables dans le temps de l'intermodalité pour les différentes catégories d'usagers. Au final, il s'agira de mieux comprendre les freins psychologiques, sociologiques, temporels ou spatiaux à l'enrichissement de l'usage du temps de l'intermodalité pour des usagers aux profils variés (catégories socio-économiques, habitués ou occasionnels, localisation résidentielle, type de rupture modale...)

Le projet s'articule ainsi en plusieurs étapes qualifiant un potentiel de valorisation du temps intermodal de plus en plus délimité par des facteurs discriminants. On mesurera en effet l'accessibilité morphologique, spatio-temporelle, visuelle puis individuelle des usagers (des exemples concrets seront présentés). L'enquête permettra de confronter ces potentiels théoriques aux usages collectifs et individuels observés, définissant ainsi un potentiel spatio-temporel plus « réaliste ». Ces méthodologies complémentaires permettront d'analyser finement les interactions entre les usagers et leur environnement intermodal.

Principaux résultats obtenus

A ce stade, les résultats existants reposent sur les approches monodisciplinaires développées par les auteurs de la présente proposition. Des exemples associés à ces approches seront présentés mais la communication s'articulera également autour des avancées scientifiques issues du croisement des méthodes proposées :

- Recensement des services existants et analyse des enquêtes EMD pour établir un bilan de l'accessibilité socio-spatiale des espaces gares étudiés
- Proximité inter-commerciales et time-geography pour mettre en évidence le rôle des morphologies urbaines dans les opportunités spatiales
- Potentiel nodal et time-geography pour étudier le rapport entre une offre de transport et les budgets espace-temps individuels disponibles
- Time-geography et visibility studies pour croiser les espaces-temps a priori accessibles et un phénomène physique, la visibilité, qui détermine la perception des individus
- Proximité inter-commerciale et visibility studies pour concevoir des graphes de proximités commerciales intégrant l'appréhension visuelle des espaces urbains
- Enquêtes, modèles de choix discrets, time-geography et visibility studies pour analyser finement les comportements des usagers dans leur environnement de correspondance

Notre approche donc est transdisciplinaire et multiscalaire, à la croisée des sciences de l'ingénieur, de l'espace et de la société, et porte sur l'agencement et l'aménagement des lieux de l'intermodalité ferroviaire. Elle a pour objectif d'améliorer la connaissance sur l'utilisation du temps actif et fonctionnel des passagers dans les situations d'intermodalité. Le but est de comprendre ce qui peut contribuer à enrichir le temps très spécifique de la rupture modale. La spécificité de notre approche repose sur l'utilisation de plusieurs méthodes quantitatives

et qualitatives, rarement associées et appliquées sur cette thématique. L'intérêt réside dans la mise en perspective d'un potentiel, borné par des contraintes spatiales et temporelles, avec des pratiques observées et questionnées.

Références

Benedikt M.L., 1979, « To take hold of space : isovists and isovist fields », *Environment and Planning B : Planning and Design*, 6(1), pp. 47-65

Chang S.K.J., Hsu C.L., 2001, « Modeling passenger waiting time for intermodal transit stations », *Transportation Research Record*, vol.1753, pp. 69–79

Charleux L., 2013, *PPAToolbox, A toolbox to derive accessibility measures from an ArcGIS Network, based on the Potential Path Area concept or its cumulative variation*, the Daily Potential Path Area, ArcGIS, url : `http://www.arcgis.com/home/item.html?id=06e3bc6e935341e4a2b2d79bea46d368`

Conroy R., 2001, *Spatial Navigation In Immersive Virtual Environments*, The faculty of the built environment, University College London, London, U.K. Retrieved from `http://discovery.ucl.ac.uk/1111/`

Hagerstrand T., 1970, « What about people in regional science ? », *Papers of the regional science association*, N°24, pp. 7-21

Hine J., Scott J., 2000, « Seamless, accessible travel : users'views of the public transport journey and interchange », *Transport Policy*, N°7, pp. 217-226

Jiang B., Claramunt C., 2000, « Extending space syntax towards an alternative model of space within

Kaufmann V., 2002, « Temps et pratiques modales : le plus court est-il le mieux ? », *Recherche Transports Sécurité*, N°75, Juin, pp. 131-143

Lefebvre H., 1968, *Le Droit à la ville*, Paris, Anthropos

Lenntorp B., 1976, « Path in Space-Time Environments. A Geographic Study of Movement Possibilities of Individuals », *Meddelanden fran Lunds universitets geografiska institution*, Avhandlingar, Lund

Litman T., 2008, « Valuing Transit Service Quality Improvements », *Journal of Public Transportation*, 11(2), pp. 43-63

Piombini, A., Leduc, T., Woloszyn, P., 2014, « Usage de la morphométrie dans la révélation des préférences de mobilité. Application aux cheminements piétons ». *Revue Internationale de Géomatique*, vol.24, N°1, pp. 101-130

Richer C., Vuidel G., 2012, « L'intensité nodale, une évaluation de la performance de l'intermodalité dans les pôles d'échanges », *Actes de ThéoQuant 2011*

Wardman M., Hine J., 2000, *Costs of interchange : a review of the literature*, Working paper 546, Institute for Transport Studies, University of Leeds

Woloszyn P., Albisser E., Depeau S., Leduc T., Luckel F., Piombini A., 2011, « Caractérisation interdisciplinaire et intersectorielle des attracteurs paysagers des ambiances piétonnes du quartier de Hautepierre à Strasbourg ». *ESO Travaux et documents*, N°31, pp. 7-17

Yoh A., Iseki H., Smart M., Taylor B.D., 2011, « Hate to wait : effects of wait time on public transit travelers' perceptions », *Transportation Research Record*, vol.2216, pp. 116–124.

Analyse et optimisation de la mobilité durable en ville : le cas des transports en commun couplés aux vélos libre-service

Nicolas Ovtracht, Tien Dung Tran, Yves Crozet

Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon

nicolas.ovtracht@let.ish-lyon.cnrs.fr

Mots-clefs - accessibilité en milieu urbain, vélo en libre-service (VLS), transport en commun, analyse spatiale, webmapping

Contexte et objectifs

Aujourd'hui, dans une optique de développement durable, les politiques de transport doivent satisfaire les besoins de mobilités des individus tout en intégrant les aspects environnementaux et d'aménagement du territoire urbain et périurbain. De nos jours la congestion du trafic urbain génère des impacts négatifs sur l'économie locale, l'environnement et de manière globale sur la qualité de vie des citadins. Les déplacements domicile-travail dans les grandes agglomérations européennes, effectués principalement en mode véhicule particulier, sont sources de stress, de fatigue et de pollution due notamment à la forte congestion automobile aux heures de pointes. Pour cela le Grand Lyon aimerait optimiser la mobilité des citadins vers une mobilité urbaine plus équilibrée et plus fluide et plus respectueuse de l'environnement. Le Grand Lyon souhaite aider les habitants à optimiser leurs comportements de mobilité (confère les projets Optimod et Opticities). La part modale des déplacements quotidiens des habitants de Lyon-Villeurbanne en 2006 (source EMD 2006) est de 27% pour la voiture, 20% pour les transports en communs et 2% pour les vélos. Cette part modale augmente pour les TC et les vélos et est en baisse pour la voiture. De ce fait, le Grand Lyon à travers des projets comme Optimod souhaite développer des conseils de mobilité à travers le calcul d'indicateurs d'accessibilité, afin de montrer qu'il est possible de se déplacer de manière intelligente en tenant compte des principes du développement durable.

Depuis 2005 dans la ville de Lyon a été mise en place un système de vélos en libre-service (VLS). Ce système remporte un franc succès depuis sa mise en place. Il contribue à la croissance de la part modale des modes doux à Lyon-Villeurbanne. La ville de Lyon veut développer la pratique des modes doux et favorise l'usage du vélo en centre-ville pour diminuer la part modale de la voiture. Actuellement, il y a plus de 30 systèmes de VLS en France. Dans cette recherche, nous voulons montrer la complémentarité entre le système VLS et les transports en commun comme un système très performant pour se déplacer en milieu urbain.

Données et méthodologies

Le système VLS lyonnais en 2014, comprend 4000 vélos pour 343 stations, il est le deuxième système VLS par sa taille après Paris. Les stations sont localisées à Lyon et Villeurbanne. Nous utilisons la géolocalisation précise des stations Vélo'V. Cela donne un maillage important sur la zone de Lyon-Villeurbanne avec une distance moyenne de 300 mètres entre les stations. Ce système est disponible 7 jours sur 7 et les abonnés des transports en commun et du VLS bénéficient pour chaque trajet de 60 premières minutes gratuites au lieu de 30 pour un abonné VLS standard.

La ville de Lyon possède le 2ieme réseau de transport en commun de France, après celui de Paris. Ce réseau comprend 4 lignes de

métros, 5 lignes de tramways et plus de 100 lignes de bus. Nous intégrons l'ensemble des tables horaires et les connexions entre les lignes et le réseau TER.

Les indicateurs d'accessibilité sont calculés à l'aide de la plateforme de modélisation MOSART (Modélisation et Simulation de l'Accessibilité aux Réseaux et aux Territoires). Cette plateforme est composée d'un modèle de transport associé à un SIG et d'une application webmapping. Elle permet la modélisation et le calcul d'indicateurs d'accessibilité dans les différents modes : véhicules particuliers, transport en commun, TER, VLS, vélo et vélos avec assistance électrique. Les résultats obtenus sont combinés à des couches socio-économiques permettant de mieux analyser la performance des réseaux de transport sur le territoire. Nous étudions certains pôles et certaines zones de l'agglomération lyonnaise étant moins bien desservies par les transports en communs. Dans notre recherche nous utilisons les calculs d'accessibilité isochrones pour simuler les différents scénarios d'accessibilités monomodale et bimodale.

Nous voulons montrer qu'il est possible de se déplacer en combinant plusieurs modes ou en modes doux dans l'agglomération lyonnaise en période de pointe de manière intelligente. Les résultats obtenus sont intégrés avec une application webmapping pour visualiser de manière dynamique les indicateurs d'accessibilité.

Principaux résultats

Nous avons testé plusieurs scénarios d'accessibilité bimodale sur des périodes de pointe et des périodes creuses. Nous avons réalisés les calculs sur la ligne de tramway T1 qui va du Campus de la Doua à la station Debourg en passant par les 2 gares principales de Lyon (Part-Dieu et Perrache). Les résultats nous montrent que la combinaison de TC et VLS pour un budget temps identique, permet une forte croissance de l'accessibilité aux emplois (plus de 50 %) par rapport à l'accessibilité TC couplé à la marche à pied.

	Tramways + 10 mn MAP	**Tramways + 10 mn VLS**	**Tramways + 15 mn MAP**	**Tramways + 15 mn VLS**
Nb emplois	103 315	178 394	137 581	229 610
Variation % avec VLS	72%		67%	

Source : INSEE 2010

Après avoir effectué les calculs à partir de certains pôles de Lyon, nous voyons que l'accessibilité bimodale TC avec VLS est plus nettement améliorée pour accéder aux emplois et aux services du centre urbain (cf. table 1). L'exemple analysé concerne la ligne 1 du tramway qui est l'une des lignes de TC de Lyon ayant le plus de fréquentation (94 000 voyageurs / jour, source Sytral 2013) Dans un contexte de diminution du trafic automobile et de la pollution, ce type de mobilité durable peut s'avérer comme une solution pertinente de déplacement en milieu urbain. En combinant avec le TC, les VLS peuvent se montrer complémentaires aux transports en commun urbain et peuvent améliorer la desserte des zones ou les TC sont moins performants. Il faut néanmoins avoir un bon maillage du système VLS dans la ville, ce qui est le cas de la ville de Lyon. De plus si on regarde le coût de ce type de déplacement, cela s'avère très intéressant (abonnement annuel au VLS 25 euros).

Conclusion

Cette recherche nous a montré la potentialité d'améliorer l'accessibilité en milieu urbain en combinant le transport en commun et le vélo en libre-service.

Ce type d'accessibilité en milieu urbain avec l'association des modes de transports

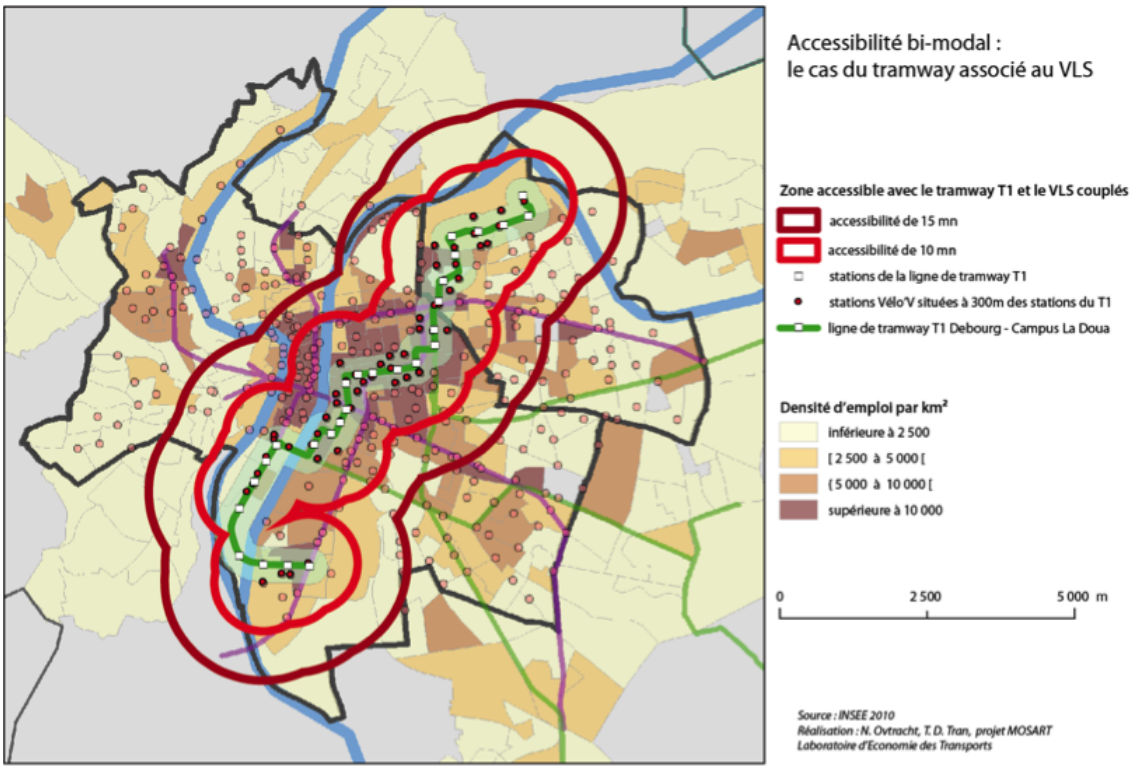


FIGURE 1 – amélioration de l'accessibilité bimodale (TC+VLS) par rapport à l'accessibilité TC standard avec la ligne de tramway T1

en commun et des vélos libre service peut-être considéré comme un exemple de mobilité urbaine de demain. Elle a l'avantage d'être performante et d'améliorer l'accessibilité des transports en commun dans les centres villes.

Références

Crozet, Y., et Mercier, A., et Ovtracht, N., 2013. MOSART : Les politiques de mobilité urbaine à la lumière de l'accessibilité, *Transports*, 479, 9-16.

Crozet, Y., Mercier, A., Ovtracht, N., 2012, "Accessibility : a key indicator to assess past and future of urban mobility. PART V, Chapter 15", In Geurs, K.T., Krizek, K.J.,Reggiani, A. (Eds.), *Accessibility Analysis And Transport Planning. Challenges for Europe and North America*. : , p. 263–279. (NECTAR Series on Transportation and Communications Networks Research).

Dueker K. J., Butler J. A., 2000, A geographic information system framework for transportation data sharing, *Transportation Research Part C*, vol. 8 : pp. 13-36

Genre-Grandpierre C., Foltête J.C., 2003. Morphologie urbaine et mobilité en marche à pied. *Cybergeo*, article 248.

Geurs, K.T., van Wee, B., 2004, Accessibility evaluation of land-use and transport startegies : reveiew and research directions, *Journal of Transport Geography*, 12, 127-140

Gutierrez J., Urbano P., 1999, the impact of orbital motorway on intra-metropilitan accessibility : the case of Madrid's M-40, *Journal of Transport Geography*, 4, 1-15

Jensen P., Rouquier J.B., Ovtracht N., Robardet C., 2010, Characterizing the speed and paths of shared bicycle use in Lyon, *Transportation Research Part D*, vol. 15D, pp 522-524

Tran T. D., Ovtracht N. , Faivre d'Arcier B., Developping the bike sharing system

system to promote urban sustainable mobility : the case of Lyon city, Polis annual conference 2014, Madrid, 27-28 nov.

Analyse des aires de rabattement des stations de transport en commun à l'aide de la désagrégation spatiale de flux de mobilité du recensement

Cyril Pivano[1], **Olivier Bonin**[2], **Jean-Paul Hubert**[3]

[1] Université Paris Est – IFSTTAR – LVMT UMR T 9403, France cyril.pivano@enpc.fr
[2] Université Paris Est – ENPC – LVMT UMR T 9403, olivier.bonin@ifsttar.fr
[3] Université Paris Est – IFSTTAR – DEST, jean-paul.hubert@ifsttar.fr

Mots-clefs - Evaluation des politiques de transports, Aire de rabattement, déplacements domicile-travail, désagrégation

La performance, l'efficacité et la rentabilité d'un système de transport collectif sont des objectifs nécessitant une forte connaissance de l'état du réseaux et des besoins des usagers, notamment dans le contexte actuel de crise des financements. Un nouveau projet de ligne, l'extension d'une ligne, ou encore le renforcement de la fréquence ou de la capacité d'une ligne existante ne se justifient que si la demande locale de transport en commun est suffisante. De même, le tracé optimal d'une ligne, c'est-à-dire le choix des arrêts de bus ou des stations, doit être effectué de manière à optimiser le service, et nécessite de connaître le nombre d'usagers susceptibles de monter et descendre à chaque arrêt. En l'absence de ligne existante, il est impossible de s'appuyer sur des données de fréquentation pour établir ce diagnostic : on s'appuie généralement sur des analyses de population au voisinage des stations. Les questions sont donc les suivantes : Combien d'individus sont-ils captés par une station de transport en commun ? Quelles sont leurs distances d'accès ? Opèrent-ils des de ?placements contraints ? Peut-on capter de nouveaux usagers ? Ces questions impliquent de connaître finement les aires de rabattement autour des stations de transport en commun. Une population importante n'incitera à développer les transports en commun que dans la mesure où les déplacements de ces individus peuvent être effectués sur ce réseau. Ainsi, si la majeure partie de la population travaille dans des zones d'emploi non desservies par le réseau, l'ajout d'une station ne permettra pas de report modal effectif de la voiture vers le transport en commun. De même, une proximité spatiale à vol d'oiseau ne permettra pas nécessairement des rabattements rapides et sûrs, dans le cas où il serait nécessaire de franchir de grandes infrastructures par exemple. Les études classiques d'accessibilité (Konig 1974, Ben-Akiva et Lerman 1979) ne peuvent généralement pas aborder ces questions, et recourent à des notions synthétiques comme l'accessibilité généralisée à l'emploi depuis une zone, ce qui se justifie dans la mesure où l'infrastructure de transport devra également satisfaire des besoins de mobilité future.

Une aire de rabattement est un concept a priori surfacique, il s'agit de la zone à l'intérieur de laquelle tout les individus peuvent utiliser la station de transport en commun attachée à cette zone. Cette définition sous-entend que les usagers utilisent systématiquement la station la ? plus proche et que les aires de rabattement ne se superposent pas. Il est illusoire de prétendre qu'un ensemble d'individu prend systématiquement la station de transport la plus proche. Le processus de sélection s'effectue en considérant également la destination et les possibilités offertes par le réseau, ce qui peut justifier une dépense en budget temps plus élevée pour accéder à une station d'entré lointaine mais offrant un gain sur la totalité du déplacement. L'analyse des aires de chalandises et du potentiel d'attraction des sta-

tions sont donc des objets de connaissances complexes. Elle nécessite de connaître les couples origine / destination des déplacements des habitants de la zone à l'échelle spatiale la plus fine possible, idéalement à l'adresse. Il est clair qu'il n'existe pas de source de données de ce type, à la fois pour des raisons de possibilité de collecte des données, et de protection de la vie privée. Selon le principe de parcimonie, nous proposons de partir des données existantes et des méthodes standard (recensement, zones tampons, isochrones), et de raffiner les méthodes de calcul d'aires de rabattement progressivement. De cette manière nous quantifions les gains obtenus par la mise en place de méthodes complexes, et évaluons si elles peuvent être remplacé par des méthodes moins coûteuses.

La détermination des aires de rabattement des stations de transport en commun nécessite des informations sur les mobilités à une échelle fine. Pour la demande de mobilité existante, nous devons connaître les origines et destinations des déplacements avec une précision géographique importante. L'acquisition de ces informations passe par des enquêtes ménages- déplacements coûteuses et espacées dans le temps puis par des traitements lourds de modélisation de trafic pour palier le taux de sondage spatial faible de ces enquêtes. Quant à la question du zonage mobilisé, la chaîne de traitement doit faire des compromis entre les multiples contraintes méthodologiques et les multiples questions de recherches à étudier. La mise en place de modèle à quatre étapes sur une agglomération se fait en général pour l'ensemble des motifs et des modes de transports. Le zonage est alors rarement centré sur les stations. Il est le plus souvent construit pour facilité l'étape de génération de trafic. Ces traitements sont lourds et coûteux ce qui explique que seuls les grandes agglomérations s'offrent ces solutions ponctuellement dans le temps. Il existe des méthodes plus simple pour évaluer l'aire de chalandise des stations de transport. En effet, en l'absence d'enquête ménage-déplacement et de modèle de trafic, les chercheurs et professionnels utilisent seulement les informations relatives à la localisation résidentielle. Une première méthode consiste à effectuer des zones tampons calibrées suivant des distances à l'appréciation du modélisateur. Il s'agit des cartes isochrones couramment réalisées (Di Salvo, 2004). Il est aussi possible de dessiner des polygones de voronoï (Mabrouk, a., et Boulmakoul,2008) autour des stations de transport. Ensuite il convient de comptabiliser la population à l'intérieur de ces zonages. Il est donc sous-entendu que les individus ont tendance à utiliser les stations les plus proches de leur domicile ce qui a tendance à surestimer les résultats. Il est alors possible d'imputer des destinations probables à l'aide des informations du recensement à l'échelle communale et de pondérer le comptage de population en fonction de destinations probables. Par exemple, en sachant que 24 % des actifs travaillent dans la commune A, et que la station considéré ne dessert pas la commune de travail A (en temps raisonnable) alors nous pouvons supprimer 24 % des actifs du comptage. Ce travail sous-tend une variabilité homogène des communes d'emplois dans la commune. Cette hypothèse est critiquable, il est légitime de supposer qu'il existe des poches de spécialisation liées à l'accessibilité facilitée ou amoindrie par les infrastructures de transport et donc que l'estimation des lieux de travail localisés aux lieux de résidence doit être le fruit d'un travail plus contraints. De plus, ces méthodes sont dans l'impossibilité d'estimer la fréquentation des stations de sorties. En effet, nous disposons d'aucune information sur le nombre d'individus ayant comme terminus la station étudiée.

Nous sommes donc en présence de méthodes soit sophistiquées pour celles issues de la modélisation de trafic, coûteuses et non applicables sur tout le territoire car il faut disposer d'enquête ménage-déplacements ; ou soit plus reproductibles mais ayant des faiblesses quant à la représentativité des résultats. Afin d'étudier plus spécifiquement la question des aires de rabattement sans mise en place d'enquête de terrain et sans modèle à quatre étapes mais

en considérant la problématique des lieux de destination nous proposons une méthode à l'aide de données librement accessible et donc aisément reproductible sur l'ensemble du territoire.

Nous proposons d'évaluer les aires de rabattement à l'aide des données du recensement de population décrivant les déplacements domicile-travail des actifs occupés de plus de 15 ans. Précisons qu'en 2010, la part des déplacements effectués en transport collectif ayant pour motif le domicile-travail est de 35 % et atteint 51 % en ajoutant les déplacements domicile- étude. (Fiches EGT 2010). Le recensement de population offre de nombreux avantages. Il recouvre le territoire national, il est annualisé, il offre de nombreuses informations sur les ménages, il a un taux de sondage élevé et il est libre d'accès et gratuit. Cependant, il offre une information moindre sur les déplacements des individus. L'Insee diffuse le fichier « Mobilité professionnelles » décrivant la commune de résidence et de travail des actifs occupées de plus de 15 ans et leur mode de transport le plus fréquemment utilisé pour aller travailler. En l'état cette information est trop imprécise géographiquement pour traiter de la question des aires de rabattement. Nous proposons de désagréger les flux du recensement afin de disposer de données à une échelle suffisamment fine. Nous désagrégeons spatialement les lieux de résidence et de travail à l'intérieur des communes tout en préservant les contraintes socios-spatiales de localisation résidentielle expliquant l'organisation spatiale des déplacements domicile-travail. De cette manière nous disposons d'une population synthétique localisée résidentiellement et dont on connaît l'établissement économique de travail et le mode de transport. A partir de ces informations il est alors possible d'appliquer un algorithme de recherche d'itinéraire sur le réseau de transport en commun et d'extraire des indicateurs relatifs aux distances d'accès aux stations de transports. Cette population synthétique étant globalement représentative de la population, nous pouvons étudier les éventuels effets sociaux (PCS, âge, niveau d'éducation) et spatiaux (localisation fine dans le quartier) sur des zones dotées de stations de transport en commun, pour tenter d'inférer le potentiel de report modal sur une nouvelle zone similaire morphologiquement et socialement mais non desservie.

La méthode de désagrégation de flux du recensement consiste dans un premier temps à coupler les fichiers détails du recensement afin de disposer de l'IRIS de résidence des actifs décrits dans le fichiers des mobilités professionnelles. De cette manière nous préservons la connaissance sur les ménages, et nous passons de l'échelle communale à celle des IRIS dans le cas des communes de plus de 10 000 habitants. Une deuxième étape consiste à ventiler ces ménages sur le carroyage de référence de l'Insee de 200 m de côté avec une méthode de calage aux marges. La dernière étape consiste à sélectionner un établissement économique à l'aide du répertoire SIRENE. Nous choisissons un établissement économique en fonction du secteur d'activité des actifs qui a été affiné en 17 postes à l'aide de la première étape de couplage. Le choix du lieux de travail s'effectue ensuite à l'aide d'un tirage de Monte-Carlo pondéré par les classes d'effectifs décrient dans le répertoire SIRENE.

Ainsi, la méthode de désagrégation offre une information sûre pour la localisation résidentielle à l'IRIS, la localisation infra-iris ou infra-communale pour les communes de moins de 10 000 habitants est quant à elle dépendante de la méthode de calage aux marges. Toutefois, au vue de la taille des IRIS et des communes de moins de 10 000 habitants les marges d'erreurs sont à notre sens acceptable. Le niveau de certitude quant aux choix des lieux de travail est plus importante. La marge d'erreur est proportionnelle à l'espacement des établissements de même secteur d'activité au sein des communes.

Disposant de la localisation résidentielle et d'un lieux d'emploi nous sommes en mesure de construire et d'appliquer ces déplacements sur le réseau et d'extraire des indicateurs relatifs aux stations comme la distance moyenne d'accès, l'effectif journaliers

des usagers,etc.

Ces indicateurs sont quantifiables lorsque une station de transport en commun existe, ce travail de désagrégation permet de plus d'inférer une estimation sur le taux d'utilisation d'une station et/ou d'une ligne de transport collectif en projet. En ayant une information sur l'ensemble de notre population synthétique nous pouvons comparer les trajets entre celui décrit par le recensement et un autre fictif qui utilise la station en projet et ainsi nous évaluons le plus performant pour chaque individu et donc nous pouvons estimer un indicateur agrégé sur le surplus apporté par l'aménagement testé à la manière des indicateurs d'accessibilité généralisé (Neuberg, 1971). De plus, ces indicateurs peuvent être corrigés à l'aide d'une étude comparative entre la zone de chalandise précédemment calculée et une zone dont on connaît déjà la structure spatiale de l'aire de rabattement et dont on connaît la structure sociale de la population. Ainsi, nous améliorons la prédiction effectuée par une comparaison de coût généralisé des itinéraires mais en imputant le comportant d'une zone similaire à la zone étudiée. Nous prenons donc en compte la diversité des seuils de bifurcation modale, il est légitime de considérer qu'a gain identique en coût généralisé une nouvelle infrastructure ne poussera pas de la même manière un cadre qu'un ouvrier à changer de mode transport.

L'analyse des aires de rabattement des stations de transports collectifs proposée dans cette communication considère donc les différences de comportement induits par les profils socio- économiques. Il est possible de les considérer grâce au processus de désagrégation spatial des flux de mobilité. Ce traitement apporte des informations nouvelles qui permet de traiter la problématique des aires de rabattement à une échelle fine à l'aide de données librement accessibles.

Références

Ben-Akiva, M., et Lerman, S. R. (1979). Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. *Behavioural travel modelling*, 654-679.

Di Salvo, M. (2006). Calculs d'accessibilité : impact des spécifications du réseau routier sur les calculs d'accessibilité. Données sources méthodes.

Koenig, G. (1974). Théorie économique de l'accessibilité urbaine. *Revue économique*, 275- 297.

Mabrouk, a., et Boulmakoul, A. (2008). Diagramme de Voronoï des réseaux spatiaux appliqués au problème de l'accessibilité-conception et implémentation.

Neuburger, H. (1971). User benefit in the evaluation of transport and land use plans. *Journal of Transport Economics and Policy*, 52-75.

Atelier 16

Géovisualisation et cartographie

Géovisualisation des temporalités des territoires : analyse comparative de la diversité des productions

Jean-Yves Blaise, Paule-Annick Davoine, Lahouari Kaddouri, Hélène Mathian, Cécile Saint-Marc

helene.mathian@ens-lyon.fr

Contexte et objectifs

L'information géographique est aujourd'hui au cœur de notre société et de notre système économique. « On est passé de l'ère de la localisation de l'information à l'ère de l'information localisée » (Joliveau T., séminaire PUCA 5/02/2014). Avec l'accumulation des données au cours du temps, et le développement de l'acquisition des données en temps réel, le temps est devenu une dimension intrinsèque de l'information géographique. On est ainsi passé d'une information géographique à une information spatio-temporelle. La dimension temporelle est déployée différemment et ne plus être seulement utilisée à des fins d'estampillage pour donner un état « à jour » du territoire, mais aussi à des fins d'observation des évolutions des territoires. Cette démarche est à mettre en regard de celle engagée depuis longtemps dans d'autres domaines, (histoire, archéologie, littérature, environnement,...) qui tentent de reconstruire le temps d'une information historique sur la base de documents anciens issus d'archives, et qui aujourd'hui y associe une composante géographique sur la base de données historiques (annuaires, recensement d'évènements ...) via des outils de géocodage (*gazeetters*), ou des méthodes de géoréférencement (cartes anciennes) ou d'extraction de contenus géographiques ou cartographiques. Ainsi depuis une vingtaine d'années, un certain nombre d'avancées technologiques ont constitué le socle de changements d'usages de l'information géographique. Ces changements touchent tant les moyens d'acquisition, la diffusion des données, que la production d'environnements donnant à voir ces données, allant jusqu'à permettre la participation des utilisateurs à leur acquisition ou leur observation. Dans le domaine de la cartographie, ces changements ont marqué une véritable révolution dans les usages à différents niveaux :

- l'innovation dans les échelles représentées (sous tendue en partie par les globes virtuels tels que Google Earth et Google Maps) et la masse des nouvelles données et leurs temps d'acquisition (open data, données de tracking, ...)
- Proximité inter-commerciales et time-geography pour mettre en évidence le rôle des morphologies urbaines dans les opportunités spatiales
- de nombreux développements cartographiques « dynamiques » et une démocratisation accrue de ces productions, allant de la simple carte « en ligne » permettant quelques interactions à l'utilisateur, à de véritables outils d'exploration se rapprochant des domaines du type Visual Analytics (Andrienko & al. 2010).

Depuis une vingtaine d'année, l'évolution des technologies de l'information et de la communication a offert à la cartographie a connu un renouveau en permettant de nouvelles façons de publier et de représenter la dimension temporelle de l'information géographique. Aujourd'hui, compte tenu du volume et de la diversité des données disponibles et de ces nouvelles potentialités technologiques, on est tenté de vouloir cartographier dynamiquement des évolutions, des changements, des mouvements, de mettre en relation les données afin d'en déduire les dynamiques des structures et des relations spatiales, ou tout simplement de donner à voir des phénomènes

spatio-temporels et de les interroger en dynamique. La carte est devenue essentiellement numérique, intégrée dans un environnement informatique plus ou moins complexe et performant. L'animation et l'interactivité ont permis un essor exceptionnel de ces représentations, en particulier par les possibilités qu'elle offre pour « dérouler le temps » pour la représentation des temporalités. Ces techniques ont facilité la prise en compte de la dimension temporelle (date, durée, cycle ...), la diversité des échelles d'observation que ce soit sur le plan géographique (locale, globale, intermédiaire), temporel (période annuelle, mensuelle, journalière... et fréquence d'observation).

Aujourd'hui, les environnements de cartographies dynamiques ou de géovisualisation explosent. Initialement il s'agissait d'interfaces de visualisation cartographique permettant à l'utilisateur de zoomer, de se déplacer sur la carte, de décomposer l'information, d'animer ... Puis par le couplage de ces interfaces avec des bases de données, ces cartes « actives » sont devenues « dynamiques » et ont permis aux utilisateurs de formuler leurs propres interrogations sur le territoire avec des accès directs à la base de données mise à jour. Ces environnements de plus en plus innovants et complexes, émanent de besoins et d'objectifs différents comme notamment :

- des applications de visualisation de données en temps réel (info trafic, suivi de flotte, ..)
- des applications synthétisant des données en temps réel, avec stockage et traitement des données (sécurité navales, gestion de trafic, surveillance, criminologie ...)
- des applications donnant à voir de grosses masses de données dynamiques (sorties de simulations individus centrés, enquêtes ménages - déplacements ...)
- des applications traitant et synthétisant des données spatio-temporelles archivées pour l'exploration et la compréhension de l'évolution de systèmes spatiaux (observation des irruptions volcaniques, des évènements catastrophiques passés, SIG archéologique et Système d'information Géo-historique ...).

Parallèlement à ces développements, les spécialistes de la cartographie travaillent simultanément à développer des cadres conceptuels et à analyser cette production (Kraak, 2000) (Sillere, Robert 2007) (Harrower, Fabrikant, 2008)(Kaddouri, 2008) (Cunty & al 2011) (Roth & al, 2013). En effet, dans bien des cas la représentation du changement dans sa dimension temporelle, reste difficile à instrumenter : on tend encore à voir le temps comme linéaire, et à l'exploiter comme un simple mécanisme de remplacement d'un état de l'espace par un autre. Et c'est sans doute notamment dans le franchissement de cette limite que les technologies et méthodologies contemporaines doivent être questionnées pour aider à explorer les temporalités d'un phénomène – vitesse, rythmes, densités, cycles, etc.

Le projet PUCA « État des lieux des représentations dynamiques des temporalités des territoires » (2014), a été l'occasion de confronter différents aspects de ces questions. Nous proposons d'en rendre compte en partant des usages : dans un premier temps nous présentons un jeu de repères chronologiques croisés, illustratif des différentes démarches historiques, sans avoir l'ambition d'être exhaustif ni représentatif. Les exemples s'articuleront autour des deux catégories que représentent l'entrée par l'espace et l'entrée par le temps. Nous détaillerons quelques cas emblématiques de représentations spatio-temporelles, en faisant le lien avec la manière dont cela a été traité dans d'autres disciplines. La question que l'on peut alors se poser est si l'ensemble de ces legs constitue les fondements des explorations cartographiques.

Dans un deuxième temps une analyse d'un corpus de sites proposant des visualisations dynamiques sera présentée. Ce corpus est analysé au regard des fonctionnalités proposées, des innovations sémiologiques et des services rendus. L'ensemble restitué par

l'intermédiaire d'une interface de type « dataviz ». D'une part on rapproche ces caractéristiques de la description qui aura été faite précédemment des legs méthodologiques ; d'autre part on propose de les positionner dans le cadre du modèle conceptuel des usages que constitue le « cube » proposé par MacEachren (1995).

Références

Andrienko G., Andrienko N., Demsar U., Dransch D., Dykes J., Fabrikant S., Jern M., Kraak M-J, Schumann H., Tominski Ch. (2010) Space, time and visual analytics, International Journal of Geographical Information Science, 24 :10, 2010, p. 1577-1600. http://www.geo.uzh.ch/~sara/pubs/andrienko_etal_ijgis10.pdf (acc 19 06 2014)

Cunty C., Mathian H., Groupe Cartomouv Représenter le changement : animations cartographiques et usages sur le web, (Colloque SAGEO 2011)

Harrower, M., Fabrikant, S. (2008), The Role of Map Animation for Geographic Visualization, in Geographic Visualization : Concepts, Tools and Applications (eds M. Dodge, M.

McDerby and M. Turner), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, pp 49-65 http://www.geo.uzh.ch/~sara/pubs/harrower_fabs08.pdf (acc 30 05 2014)

Kaddouri L. (2008), "Réflexion sur la sémiologie graphique animée des flux", Mappemonde, no 89, p. 1-12. (article en ligne : mappemonde.mgm.fr/num17/articles/art08103.pdf)

Kraak M-J, (2000), Web Cartography : Developpments and Prospects Taylor & Francis

Mac Eachren A.M., (1995), How maps work ? Representation, Visualization, and Design, The Guilford Press , 513 p.

Sillere G., Robert S. (2007), Les cartes animées, Mappemonde, vol. 2, n°86 http://mappemonde.mgm.fr/num14/edito.html (acc 30 05 2014)

Roth R.E., Donohue R.G., Sack C.M., Wallace T.R.,Buckingham T.M.A, (2013), Process for Assessing Emergent Web Mapping Technologies, International Conference of Cartography 2013

L'ESPACE COMMUN ET COLLECTIF DANS LA VILLE INFORMELLE À TRAVERS LA CARTOGRAPHIE MULTICRITÈRE ET PARTICIPATIVE *CARACAS*

Amanda A. Márquez M.

amandamarquez@gmail.com

ANTÉCÉDENTS

On utilise le terme « informel » pour désigner des faits et des processus matériels et idéels qui ne sont pas fondés sur des règles fixes mais qui s'appuient plutôt sur des dynamiques spontanées et variables. Si le système formel correspond à ce qui est « légal », c'est-à-dire à ce qui relève de la loi et donc du gouvernement, le système informel est au contraire, structuré par des mécanismes économiques, sociaux, politiques et géographiques non institutionnels. Ce projet de thèse visera à agir et à étudier dans le contexte informel de Caracas.

Caracas est une capitale latino-américaine stratifiée et partagée entre plusieurs réalités : la ville du gouvernement, celle des grandes tours de bureaux, des ensembles de luxe, des centres commerciaux, des cages dorées, des autoroutes, le centre colonial et enfin, les quartiers des ranchos, c'est-à-dire la ville informelle. Nous avons choisi, sur la base de ce qui précède et d'accord au modèle culturel du barrio informel, de concentrer cette recherche sur l'analyse des espaces «communs» ou «collectifs» de la ville informelle. Ces espaces peuvent être improvisés ou même privés mais utilisés de manière publique. Les caractéristiques qui définiront « la collectivité » de ces espaces seront déterminées par leurs utilisation. Nous aborderons l'étude de ces espaces en tenant compte des aspects suivants : la morphologie, les fonctions, les pratiques sociospatiales, la sécurité urbaine et la qualité.

PROBLÉMATIQUE

Selon Ayanya Roy, bien que l'informalité urbaine se manifeste dans des secteurs distincts, elle répond toujours à une logique d'organisation. Cette logique établie des règles du jeu, détermine la nature des transactions entre les individus et les institutions, ainsi que son fonctionnement même au sein des institutions (Roy, 2004). Les lieux informels se caractérisent par le passage d'un urbanisme planifié par les institutions (AlSayyad, 2004) à une prise en charge de l'aménagement de manière auto organisée par la société civile. Les « quartiers informels » sont isolés des quartiers formels, non seulement géographiquement mais aussi par leurs conditions de vie difficiles (taux de criminalité élevés et logements insalubres) où la loi est supposée et non établie. À cet égard les espaces collectifs, objet de cette recherche, souffrent directement du manque d'infrastructures, d'équipements et de services, de taux de criminalité élevés, d'une pollution importante, d'un contrôle inefficace et d'une qualité médiocre des lieux.

Les bidonvilles correspondent à un type d'occupation du sol qui est partie constitutive des mécanismes concrets de l'extension des villes contemporaines. Leur cartographie constitue un élément fondamental de connaissance. Alors que dans le passé, les gouvernements ont voulu s'opposer à la reconnaissance des réalités informelles, il convient plutôt aujourd'hui de les intégrer dans l'univers des connaissances urbaines. Lucien Kroll nous rappelle qu'« Il est urgent que l'architecture renonce à démontrer le pouvoir de ses mer-

cenaires, mais qu'au moyen des techniques les plus contemporaines, elle se fasse mosaïque d'intentions coopérantes » (Lucien Kroll, 2012).

La ville de référence analysée dans le cadre de cette recherche est Caracas, ville qui fait l'objet actuellement et depuis plusieurs années d'une expansion incontrôlée. L'explosion démographique commence dans les années 30 et s'accentue avec la chute des dictatures et l'arrivée de nouveau régime en 1959. Il développe une politique capitaliste qui exclut la majeure partie de la population installée dans les quartiers informels. Celui-ci accentue les inégalités en distribuant les richesses de manière déséquilibrée.

Le Département du Risque de la municipalité a affirmé en 2007 que la population de Caracas était 5.457.897 millions d'habitants et que 2.036.701 habitaient dans des quartiers informels, c'est-à-dire la moitié.

Nous chercherons à établir des lignes directrices à travers le « mapping » collectif (cartographies réalisées collectivement avec les habitants) afin d'améliorer les quartiers informels grâce au relève de ces aspects informels et problèmes internes.

Nos questions sont résumées comme suit :
- Quels sont les aspects qui rendent les espaces collectifs des quartiers informels des lieux vivables ? Quelles sont les carences ?
- Est-il possible de relever le niveau de sécurité urbaine à travers les cartographies collectives ?
- Quels sont les aspects morphologiques et les dynamiques sociales des espaces collectifs des barrios ?
- Est-il possible de relever les économies et activités informels dans les cartographies ?
- Quels usages déterminent la collectivité d'un espace (privé, semi-privé ou public) dans le barrio ?
- Est-ce que les pratiques culturelles de ces espaces collectifs pourraient potentiellement intégrer le patrimoine culturel (agriculture, danse, fêtes) ?
- Est-ce que la collaboration continue des habitants à la conduite de cette recherche est possible ? Comment combiner le « savoir faire » local avec la démarche académique ?

HYPOTHÈSE

Notre hypothèse est que l'espace public de la ville informelle représente un élément structurant et multifonctionnel assurant continuité et sécurité. Il constitue également un espace d'expérimentation collective, de réunion, d'échange et de sauvetage des traditions.

Notre étude se focalisera sur la caractérisation des aspects et des problèmes à l'intérieur des réalités informelles. La recherche abordera l'étude de la relation entre les éléments construits et les éléments non construits, entre les habitants et leur mode de vie, entre les connexions verticales et horizontales, entre les aspects économiques et sociaux, entre l'espace public et l'espace résidentiel. Cette analyse cherchera à révéler les identités et à valoriser les opportunités existantes à l'échelle locale. L'étude des composantes de ces réalités informelles nous permettra de mieux comprendre dans quelle mesure la « spontanéité » constitue un élément de la ville contemporaine.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'étude des problèmes des villes en voie de développement constitue le cœur de notre recherche. Les enjeux liés à la sécurité urbaine ou encore à la réutilisation, à la mobilisation de l'espace public seront abordés d'un point de vue multidisciplinaire. Par ailleurs, l'identification des réseaux d'acteurs et d'associations sera fondamentale et la participation des habitants, essentielle.

Notre proposition de recherche est structurée par les objectifs suivants :
- L'individuation des principaux éléments des espaces communs à l'intérieur des quartiers informels.

– L'identification des structures spatiales, matérielles et immatérielles, et des modes d'appropriation de l'espace commun.
– L'étude et la cartographie sensible de la sécurité urbaine dans le quartier informel choisi comme cas d'étude.
– L'analyse des logiques de quartier dans la ville informelle, les dynamiques sociales qui s'y développent, à travers une approche ethnographique, subjective et factuelle des usages de l'espace public.
– L'identification du barrio en tant que patrimoine culturel et valorisable.

MÉTHODES D'APPROCHE

Cette recherche vise à proposer une étude approfondie des réalités informelles à travers leur analyse et leur « mapping ». Cette étude complexe comprend d'autres disciplines et la participation des habitants. La méthodologie adoptée est qualitative pour permettre une vision large et subjective des réalités rencontrées ; et quantitative pour une approche plus objective du fonctionnement des barrios. Elle est également ethnographique, parce qu'elle est construite à partir des échanges constants entre le chercheur et les habitants au cours du travail du terrain. Une attention particulière est portée aux éléments interactifs qui composent ces sociétés, aux dynamiques informelles et aux usages des espaces communs. Le cas d'étude de notre projet de recherche sera le quartier informel Julián Blanco, lequel est inscrit dans le programme de recherche sur les barrios du laboratoire « Villes pour les Habitants » (Centro Ciudades para la Gente) de la faculté d'architecture et urbanisme de l'Université Centrale du Venezuela (FAU-UCV).

Le « mapping » ou cartographies multicritères

La compréhension d'un phénomène tel que les bidonvilles ou barrios est fondamentale pour développer des connaissances approfondies des processus spatiaux. Le « mapping » ou l'action de « cartographier » est, en fait, un moyen pour approcher ces processus et dynamiques du barrio, soit du point de vue physique des espaces collectifs, soit du point de vue des modes d'appropriation de ces espaces. Dans le cadre de cette recherche nous proposons de réaliser des cartes hybrides qui combinent les aspects créatifs et les qualités spatiales des secteurs « invisibles »de la ville, c'est-à-dire qui ne sont pas cartographiés. Elles permettront une meilleure compréhension du fonctionnement de l'espace urbain. Ces cartes-paysages pourront influencer la manière de penser et le design urbain. Elles enrichiront la lecture de la ville informelle qui, très souvent, est faite sur la base de données incomplètes à l'initiative d'une seule entité.

Ces outils apportent une vision multidimensionnelle du sujet traité parce qu'ils sont codés par des couches de données techniques et abstraites qui reflètent les circonstances juridiques, environnementales, économiques et sociales des villes. Ces nouvelles cartes constituent des synthèses des conditions présentes et futures dans une ville. Elles doivent être spatiales, suggestives, séductrices, informatives et révélatrices des invisibles de la ville (Amoroso, 2010).

Nous chercherons à :

1. Identifier et classer les espaces collectifs.
2. Relever les espaces collectifs improvisés ou non et les jardins informels.
3. Conduire des enquêtes auprès des habitants.
4. Identifier les économies informelles dans le barrio : les vendeurs ambulants, les « perros calienteros » (vendeurs de hot dog), etc.
5. Expérimenter la réalisation d'une cartographie collective (ateliers ouverts et collectifs) qui permettra de réunir les différents points de vue. À travers cette pratique réflexive – dont les habitants seront les protagonistes - nous réaliserons des cartes narratives qui viseront à montrer le dynamisme des espaces collectifs du barrio.

La cartographie montrera : espaces verts, écoles, rues improvisées, toits actifs, sécurité, espaces d'agrégation. Les enquêtes avec les habitants nous aideront à comprendre les dynamiques sociales et le « mapping » collectif nous permettra d'adopter une vision moins statique et plus participative des modes d'appropriation des espaces communs dans les barrios.

Elaboration des cartes

1. Traduction des données obtenues pendant le travail de terrain (cartographies collectives) et cartographies analytiques.
2. Croisement et recoupement des données obtenues de façon à créer des cartes analytiques comparant et localisant les différentes réalités spatiales et sociales.
3. Traduction des données en cartographies uniformes qui montrent les aspects sensibles et les dynamiques d'usage des espaces communs (temporalité, spatialité, socialité, sécurité urbaine).

PREMIERS RESULTATS

En Mai 2014 j'ai travaillé avec la photographe Diana Rangel sur une expérimentation dans un quartier informel de Caracas. La Cruz se situe au centre de la ville au sein d'un des plus riches districts : Chacao. On y accède par une seule entrée qui donne sur la rue principale qui innerve des ruelles secondaires.

Nous avons alors procédé à une exploration de La Cruz en groupe. Il est apparu que les enfants du quartier ne connaissaient pas les noms des rues ou la configuration de leur propre milieu de vie. Nous leur avons fourni des marqueurs et du papier afin de procéder à une reconnaissance systématique de chaque rue ; pour cela, nous avons pris une série de deux photos de chaque rue : l'une avec les enfants tenant les papiers avec le nom de la rue et l'autre de l'espace vide.

Cette exploration a permis la construction du plan de cette partie de ville. Nous avons cherché ainsi à représenter un des lieux invisibles de la ville. Cette marche urbaine a aidé à mieux connaître le quartier et la compagnie des enfants a contribué à pacifier les relations avec la communauté.

Nous avons successivement développé une autre activité, celle de cartographier les activités informelles qui se trouvaient à la Gran Vereda les samedis. Nous avons identifié chaque vendeur informel et chaque kiosque.

Nous avons tracé des chemins avec des fils colorés qui débouchaient sur les petites places qui se forment à l'intersection des ruelles. Il leurs a été demandé de dessiner au sol avec des craies de couleurs les espaces identifiés : places parking des motos, les bouches d'égout ou simplement d'écrire leurs envies pour le barrio.

AU DELÁ DES SPATIALITÉS, CARTOGRAPHIER LE SENSIBLE

Cette première expérience nous a permis d'approcher un des barrios de Caracas et de tester l'apport de la cartographie collective en tant qu'outil central de production de connaissances spatiales. Le potentiel représenté par l'implication des enfants dans ce travail est prometteur et s'inscrit dans une perspective de recherche-action doublement formatrice. Nous considérons également que cet outil est fondamental pour le développement de notre travail multidimensionnel reliant les aspects spatiaux aux dispositifs sociaux. En effet, la participation est essentielle à la compréhension des évolutions et des dynamiques internes des quartiers informels.

La connaissance et la reconnaissance des barrios sont un préalable nécessaire à toute réhabilitation et amélioration contextuelle. Rendre visible l'invisible c'est, en fait, le

moyen de retranscrire les réalités informelles dans toutes leurs multiplicités et leur sédimentations complexes. Continuer à occulter leur présence dans la ville et leur rôle dans son fonctionnement ne fait que renforcer les problèmes de pauvreté auxquels ils sont confrontés.

Ce travail de terrain sera prolongé et enrichi par de nouvelles enquêtes que nous mènerons entre janvier et avril 2015 dans le quartier informel de Julián Blanco. Celles-ci nous permettront d'approfondir notre réflexion cartographique et de mieux comprendre la complexité du fonctionnement des barrios en fonction de leur environnement d'insertion. Le résumé que nous proposons n'est donc pas définitif. Il sera susceptible d'évoluer et de s'affiner au grès des résultats de nos futures enquêtes...

ANEXES

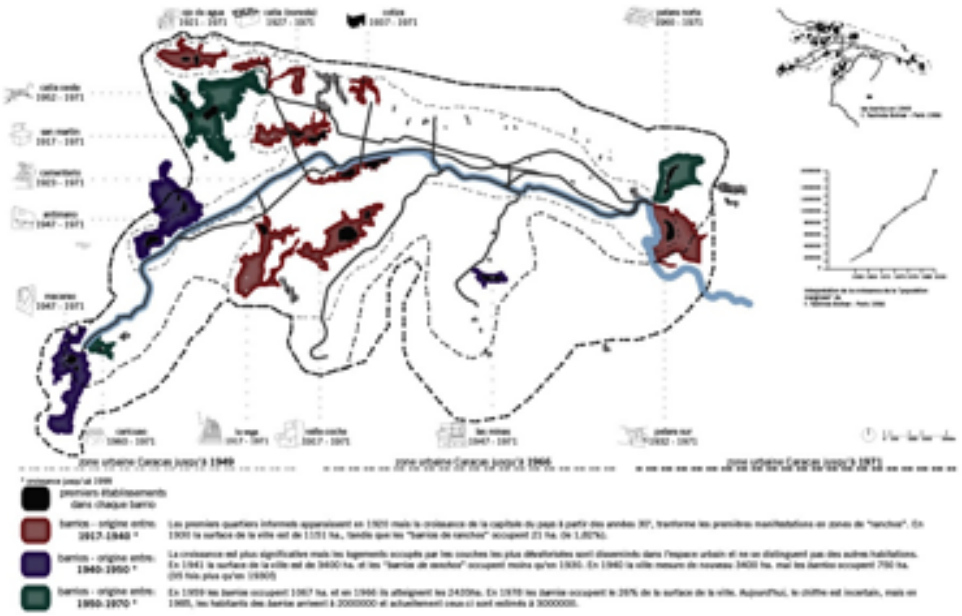


FIGURE 1 – Croissance des barrios jusqu'à 1971. Réalisé par l'auteure

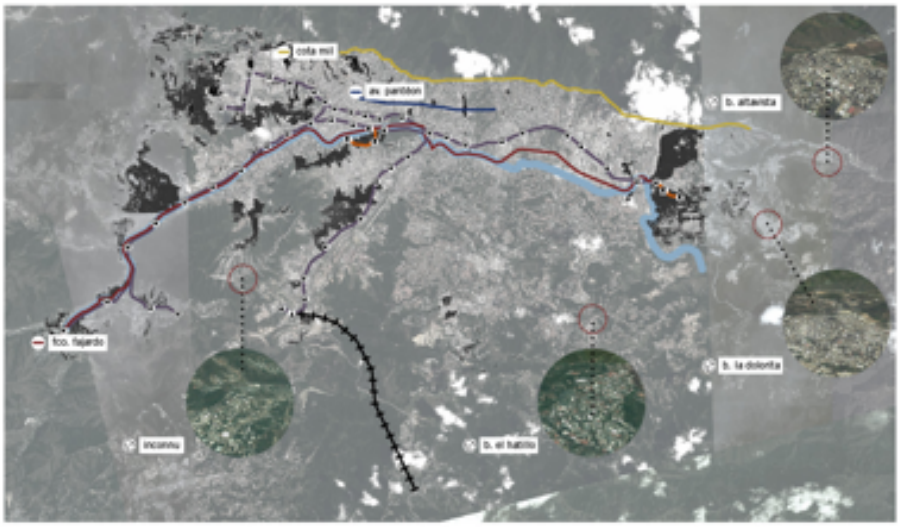


FIGURE 2 – Barrios aujourd'hui. Les circles représentent les invisibles de la ville. Réalisé par l'auteure.

FIGURE 3 – Carte des rues du barrio La Cruz. Réalisée par l'auteure. Source des données : cartographie collective.

FIGURE 4 – Activités informelles dans la rue principale du barrio La Cruz. Réalisée par l'auteure. Source des données : cartographie collective.

Références

Janet Abrams et Peter Hall (edité par). *Else/where : mapping : new cartographies of networks and territories*. Minneapolis : University of Minnesota Press – 2006.

Nadia Amoroso. *The Exposed City*. Mapping the urban Invisibles. Routledge. Oxon, 2010.

Marcello Balbo (édité par). *Le cittá inclusive*. Argomenti per la città dei PVS. F. Angeli. Milan, Italie - 2002.

Biennale di Venezia. *Città, architettura e società : 10. Mostra internazionale di architettura : La Biennale di Venezia*. Venise : Marsilio, 2006 (catalogue de l'exposition Venise, 2006-2007).

Teolinda Bolivar (sous la direction de Henri Coing). *La production du cadre bâti dans les barrios à Caracas... un chantier permanent !*. Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de docteur de troisième cycle en urbanisme e aménagement. Institut d'Urbanisme, Paris Val-de-Marne, 1986.

Francesco Careri. Walkspaces. *Camminare come pratica estetica*. G. Einaudi. Turin, Italie - 2006.

Centro de Estudios de Vivienda y Habitat (CEVIHAB). *Vivienda y Habitat. Retos y soluciones*. Ediciones Universidad Metropolitana. Caracas, 2002.

Denis Cosgrove (edité par). *Mappings*. Reaktion Books. London, 2002.

Mike Davis. P*lanet of Slums*. Verso. Londres, 2006.

De Soto Hernando. *The Mystery of Capital : Why capitalism triumphs in the West*

and fails everywhere else. Basic Books, 2000.

David Drakakis-Smith. *Third World Cities*. Routledge Cop. New York, 2000.

Giuseppe Imbesi, Elisenda Vila. *Caracas. Memorias para el futuro*. Gangemi Editore. Rome, 1995.

Lucien Kroll. *Tout est paysage*. Sens & Tonka éditeurs. Paris, 2012.

Henri Lefebvre. *La production de l'espace*. Ed. Anthropos (4eme édition). Paris, 2010.

Bernard Marchand. *Les ranchos de Caracas. Contribution a l'étude des bidonvilles*. Extrait de la revue "Les Cahiers d'Outre-Mer" tome XIX (1966) p. 105-143.

Thierry Paquot. *L'espace public*. La Découverte. Paris, 2009.

Samuel Rémy. *Intervenir dans un quartier populaire autoproduit*. Barrio Julián Blanco – Caracas, Venezuela. Projet de fin d'études. ENSAPLV - Paris, 2007

Ananya Roy et Nezar AlSayyad (édité par). *Urban Informality. Transnational Perspectives from the Middle East, Latin America and South Asia*. Lexington Books. Maryland, 2004.

Una Sampablera por Caracas y La Parada Poética. *Miradas y Palabras sobre Caracas. Para bien o para mal*. Temática Artes Gráficas. Caracas, 2013.

Bernardo Secchi. *La città dei ricchi e la città dei Poveri*. Editori Laterza. Bari, Italie - 2013.

Mariana Zapata. *Programa de Dotación de Direcciones en Zonas de Barrios : Toponimia Informe Barrio Julián Blanco, Sector Pamplona*. Rapport du project Toponimia (Mariana

Zapata Arquitecto). *Caracas*, 2013.

INE. Instituto Nacional de Estadistica. Census 2011 : `http://www.ine.gov.ve`

IMUTC Alcaldia Metropolitana de Caracas. Plan Caracas 2020 : `http://imutc.alcaldiametropolitana.gob.ve`

Mapping ecosystem services trade-offs and synergies in the Amazonian pioneer fronts

Solen Le Clec'h[1], Johan Oszwald[1,2] , Simon Dufour[1], Nicolas Jegou[3], Thierry Desjardins[4] et Michel Grimaldi[4]

[1]*L* Laboratoire LETG Rennes – COSTEL (UMR CNRS 6554), Université Européenne de Bretagne - Rennes 2
[2] Laboratoire ECODIV (UPRES-EA 1293) , Université de Rouen ; 76821 Mont Saint Aignan, France
[3] Département de Mathématiques Appliquées au Sciences Sociales, Université Européenne de Bretagne
[4] UMR IRD iEES Paris, Centre IRD Ile de France

solen.leclech@uhb.fr ; johan.oszwald@uhb.fr ; simon.dufour@uhb.fr

Mots-clefs - Ecosystem services mapping ; synergies and trade-offs ; statistics ; Brazilian Amazon

Introduction

At its beginning, the notion of ecosystem services (ES) ambitioned to underline the societal dependence to natural environments (Daily et al., 1997). The ecosystems provide simultaneously multiple ecosystem services in interrelation (Bennett et al., 2009). A policy on one ecosystem service could thus have unintended consequences on the other ecosystem services and, therefore, on human well-being (Bennett et al., 2009 ; Viglizzo et al., 2012). Therefore, in spite of all the interests the use and study of individual ES, mainly in an educational or heuristic objective, ES can really be useful in policy when their interrelations are taken into account. However, most of the scientific papers make monothematic map (Kienast et al., 2009 ; Rutledge et al., 2010) and the policies focus on one single ES, without any idea of the consequences on other ES.

In this article, we analyze the spatial distribution of multiple ecosystem services on three localities of the pioneer fronts in the Brazilian Amazon. Our specific objectives were (1) to reveal the trade-offs and synergies between indicators of ecosystem services, (2) to map in a synthetic way the trade-offs between ES (3) to determine the relative influence of land use factors on the one hand and of topographical factors on the other hand on the implementation of trade-offs or synergies.

Materials and methods

If the Amazonia is known for the important number of provided ES, it is also famous since the 1970s for very high deforestation rates, especially in Pará. The three sites had been colonized within the last five decades by smallholders and present in 2007 from 40 to 70% of their initial forest cover (Silva Costa et al. 2012). Each of these three areas has various institutional contexts and situations (distance to roads, public policies, socio-economic characteristics of the farmers).

Eight proxies of ES were studied : carbon stored in vegetation and soil, water infiltration rate into soil, soil macroporosity, available water for plants and chemical quality, total biodiversity, bees and earthworms specific richness. Information about these ES were sampled during AMAZ research program (coord. : Patrick Lavelle). For more information about the proxies, see Grimaldi et al., 2014. We used remote-sensing data to characterize land-cover dy-

namics of the 135 points for the period 1990-2007 (Oszwald et al., 2011). We used five Landsat TM images (30-m spatial resolution). These images were used to build a land-cover classification and a historical trajectory of the land cover during all the period and to obtain two vegetation index, the NDVI and the NDWI. Then, the treatment of the MNT ASTER give us data about topography (altitude, slope, a synthesis of topography and distance to the rivers).

We first performed normalized PCA to identify the trade-offs and synergies between the ES indicators and to map these interrelations. The PCA was performed on the 135 sampling plots and the pixels of the satellite image were projected as supplementary individuals. The map was made from the coordinates of the supplementary individuals.

Moreover, we used a redundancy analysis (RAD) to decompose the variability in the ES matrix. Notably, we tried to distingue the influence of the environmental factors, inherent, i.e. proprieties that cannot readily be changed without significant modification of its environment, or without involving prohibitive costs (Dominati et al., 2010) or manageable proprieties, i.e. that can readily be changed without significant modification of its environment (Dominati et al., 2010) and their interaction to assess the degree of influence of the environmental factors in the interrelations between ES.

Results

ES variation at the plot scale

The PCA enables the understanding of how the seven ES variables are correlated. The analysis is limited to the two first factorial plans which represent around 71% of the total inertia. The first factorial plan explains 39% and the second plan explains 32% of the total inertia. The first axis is correlated with total biodiversity index and to a lesser extent with the richness in soil engineers. This group of variables related to biodiversity is not correlated with any other proxies (Fig 1).

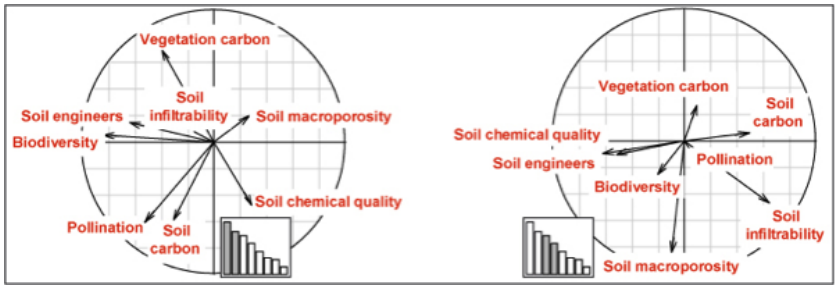


FIGURE 1 – Correlation circles for the two first axes of the PCA

This result is consistent with the literature, which is based on the assumption or shows that biodiversity is not correlated to other services. Axis 2 opposes chemical soil quality with the carbon in vegetation. This opposition is not surprising since carbon is mostly stored in forest areas whose soils are chemically poor.

Maps of interrelations between ecosystem services

The map resulting from the PCA takes into account the interrelations showed by the first axis. The positive values correspond to the biodiversity and pollinators hotspots and the negative values correspond to the area poor in biodiversity and whose soil macroporosity is quite high. The positive values correspond mainly to the forest areas and the negative value correspond to the non forest areas.

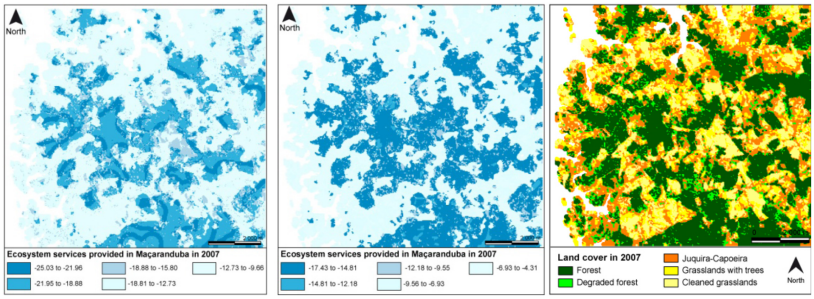


FIGURE 2 – Maps resulting from the PCA, a. axis 1 and b : axis 2, and map of land cover. a. The darkest blue stand for high values of biodiversity. B. The darkest blue correspond to high values of carbon stored in vegetation

Influencing environmental factors

The total variability of the ES matrix explained by the four effects (modifiable proprieties, inherent properties and combined effect of the two previous factors and site effect) is R=0.33. The total variability of the ES matrix excluding the site effect is 28%.

	Variance	R^2	
Total	4.31***	0.33	100%
Site effect	0.99***	0.08	24%
Total explained without site effect	2.51***	0.28	100%
Pure effect of topography *(slope, altitude, topography and distance to water)*	0.72*	0.08	29%
Pure effect of modifiable proprieties *(vegetation index, current & historical land cover)*	1.73***	0.19	68%
Combined effect vegetation + topography	1.73	0.01	3%

Table 1 : Importance of each matrix in the explanation of the variations in the ES matrix

Two thirds of the variability of the ES matrix is not explained by the factors considered in the analysis. The part of non- explained variance may be due to the failure to take into account the specific diversity of vegetation types (different species in the forests and crops), the lack of consideration of the duration of the cultivation or grazing or the limits on the nature / composition of the soils.

The pure effect of changes in land cover accounts for 68 % of the total explained variability, excluding the site effect. The pure effect of the inherent properties and the combined effect (inherent and modifiable properties) are respectively 29% and 3%. This analysis shows that even if the landscape contributes significantly to the spatial variability of SE, it is impossible to attribute this variability to these factors alone.

Discussion

In this article, we analyzed the spatial distribution of multiple ecosystem services on three localities of the pioneer fronts in the Brazilian Amazon. Our study addresses a set of regulating and supporting ES on which farmers depend to support them on the land that they have cleared. These ES are critical, especially in the Brazilian Amazon where the deforestation dynamics are high. We revealed the trade-offs and synergies between eight indicators of ecosystem services, mapped the interrelations between these indicators and their bundles. Finally, we determined the influence of modifiable environmental factors on the implementation of trade-offs or synergies.

The PCA analysis enables us to take into account the interrelations between the dif-

ferent proxies in the spatial representation. The comprehension of the interrelations between ES seems to be necessary to do and understand the multiple ES maps. However, in spite of this strong interest, the PCA, since the maps made from this analysis is pretty hard to interpret, shows high limitations for the visual communication. Moreover it does not enable us to get a map showing the correlations between the proxies, since the representation is made one axis after another. Then, a cluster analysis could complete the PCA analysis. Indeed, it would enable us to synthesize the interrelations into groups that are easy to represent and explain (UNEP-WCMC, 2011). It is then a very interesting political and educational tool. Obtaining a map of bundles from the PCA would be easy by implementing a cluster analysis on the coordinates of the supplementary individuals. Boxplots and Kruskal-Wallis rank-sum tests were used to understand the composition of the bundles, i.e. groups of ES that co-vary. However, nowadays, these two methods are still rarely used in the scientific bibliography.

With a RDA analysis, this study aimed to identify the environmental factors that influence the creation of trade-offs and synergies between ES, and especially to quantify the part of modifiable proprieties of ecosystems. It enables us to identify lacks in the dataset, to give keys to stakeholders and politicians to understand the impact of an action on the components of the ecosystem. This analysis is a essential preliminary to the cartographies based one environmental factor, such as land cover classifications. The choice of the land cover types may be personal or political. On the contrary, the inherent properties are difficult to modify. Policies cannot easily or in a short term, action on these properties.

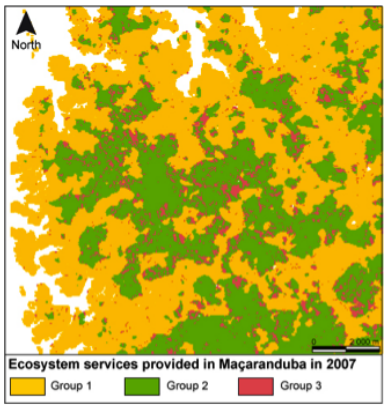


FIGURE 3 – Maps resulting from the cluster analysis

Spatial information on ES trade-offs and synergies are an important tool to help decision making (e.g. van Jaarsveld et al,. 2005). Several authors now deal with the question of interrelations between ES (Cork et al., 2005 ; Bennett et al., 2009 ; Carpenter et al., 2009 ; Raudsepp-Hearne et al., 2010). However, the identification and the quantification of these interrelations still raises conceptual and methodological challenges. Indeed, many of the methods used in the bibliography, although interesting, are still insufficient to understand the interactions between a wide range of SE and to understand the influence of different environmental factors on the formation of trade-offs and synergies. Some methods study the relations between ES in pairs (Raudsepp-Hearne, 2010), in particular using Spearman correlations (Holland et al., 2011 ; Locatelli et al., 2013 ; Felipe-Lucia, 2014) or boxplots (Naidoo et al.,. 2008). Methods such as factor analysis (Turner et al.,. 2014) or spider diagram (Rodriguez, 2006) remain marginal . From a cartographic point of view, there is still little space studies on

multiple SE (Seppelt et al., 2011 ; Crossman et al., 2013). Existing studies are based on a variety of techniques to represent multiple SE or their interrelationships. However, each of these techniques is characterized by advantages and disadvantages.

If mapping multiple ES addresses thematic issues (knowing the spatial distribution for educational, heuristics and political purposes), it also addresses methodological issues (how to represent interrelationships, what data and methodology to use). There are several ways to represent multiple ES and each of them presents interests regarding what the map was made for.

Références

Bennett EM, Peterson GD, Gordon LJ, 2009. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters* 12(12) :1394-1404

Carpenter, S. R., H. A. Mooney, J. Agard, D. Capistrano, R. S. DeFries, S. Díaz, T. Dietz, A. K. Duraiappah, A. Oteng-Yeboah, H. M. Pereira, C. Perrings, W. V. Reid, J. Sarukhan, R. J. Scholes, and A. Whyte. 2009. Science for managing ecosystem services : beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 :1305-1312. `http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0808772106`

UNEP-WCMC, 2011. *Developing ecosystem service indicators : Experiences and lessons learned from sub-global assessments and other initiatives. Secretariat of the Convention on Biological Diversity*, Montréal, Canada. Technical Series No. 58, 118 pages

Cork, S., G. Peterson, G. Petschel-Held, J. Alcamo, J. Alder, E. M. Bennett, E. R. Carr, D. Deane, G. C. Nelson, T. Ribeiro, C. Butler, E. M. Mendiondo, W. Olouch-Kosura, and M. Zurek. 2005. Four scenarios. Pages 223-294 in S. R. Carpenter, P. L. Pingali, E. Bennett, and M. Zurek, editors. *Ecosystems and human well-being : scenarios.* Millennium Ecosystem Assessment, and Island Press, Washington, D.C., USA.

Crossman N. D., Burkhard B, Nedkov S, Willemen L, Petz K, Palomo I, Drakou EG, Martın-Lopez B., McPhearson T, Boyanova K, Alkemade R, Egoh B, Dunbar MB, Maes J, 2013. A blueprint for mapping and modelling ecosyste m services. *Ecosystem services 4.*

Daily G., (1997). *Nature's Services : Societal Dependence on Natural Ecosystems.* Island Press, Washington.

Dominati E, Patterson M, Mackay A (2010) A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics* 69(9) :1858-1868

Felipe-Lucia M.R., Comin F.A. Bennett E.M., 2014. Interactions Among Ecosystem Services Across Land Uses in a Floodplain Agroecosystem. *Ecology and scoiety* 19 (1) :20

Grimaldi M., Oszwald J., Doledec S., Hurtado M. D., Miranda I. D., de Sartre X. A., de Assis W. S., Castaneda E., Desjardins T., Dubs F., Guevara E., Gond V., Lima T. T. S., Marichal R., Michelotti F., Mitja D., Noronha N. C., Oliveira M. N. D., Ramirez B., Rodriguez G., Sarrazin Max, da Silva M. L., Costa L. G. S., de Souza S. L., Veiga I., Velasquez E., Lavelle P., 2014- Ecosystem services of regulation and support in Amazonian pioneer fronts : searching for landscape drivers. *Landscape Ecology*, 29 (2), 311-328

Holland R.A., Eigenbrod F., Armsworth P.R., Anderson B.J., Thomas C.D., Gaston K.J. , 2011. The influence of temporal variation on relationships between ecosystem services. *Biodiversity Conservation.* 20 :3285-3294. Doi 10.1007/s10531-011-0113-1

Kienast F., Bolliger J., Potschin M., De Groot R.S. Verburg P.H., Heller I., Wa-

scher D.R., Haines-Young R., 2009. Assessing Landscape Functions with Broad-Scale Environmental Data : Insights Gained from a Prototype Development for Europe. *Environemental Management*. 44 :1099-1120. Doi 10.1007/s00267-009-9384-7

Locatelli B., Imbach P, Wunder S., 2013. Synergies and trade-offs between ecosystem services in Costa Rica *Environmental conservation* 41 (1) : 27-36.

Naidoo R, Balmford A, Costanza R et al (2008) Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(28) :9495-9500

Nassauer JI, Opdam P (2008) Design in science : extending the landscape ecology paradigm. *Landscape Ecology* 23(6) :633-644

Oszwald J, Gond V, Dolédec S, Lavelle P (2011) Identification d'indicateurs de changement d'occupation du sol pour le suivi des mosaïques paysagères. *Bois et Forêts des Tropiques* 307(1) :7-21

Raudsepp-Hearne, C., G. D. Peterson, and E. M. Bennett. 2010. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 :5242-5247. *http ://dx.doi.org/10.1073/pnas.0907284107*

Rodríguez, J. P., T. D. Beard, Jr., E. M. Bennett, G. S. Cumming, S. J. Cork, J. R. B. Agard, A. P. Dobson, and G. D. Peterson. 2006. Trade-offs across space, time, and ecosystem services. *Ecology and Society* 11(1) : 28. `http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art28`

Rutledge D.T., Price R., Ross C., Hewitt A., Webb T., Briggs C., 2010. Thought for food : impacts of urbanisation trends on soil resource availability in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 72, pp. 241–246

Seppelt, R., Dormann, C. F., Eppink, F. V., Lautenbach, S., & Schmidt, S. (2011). A quantitative review of ecosystem service studies : Approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of Applied Ecology*, 48, 630–636.

Silva Costa LG, Miranda IS, Grimaldi M, Silva Jr ML, Mitja D, Lima TTS (2012) Biomass in different types of land use in the Brazil's arc of deforestation. *Forest Ecology and Management* 278(0) :101-109

Turner KG., Odgaard MV, Bocher PK, Dalgaard T., Svenning J-C., 2014. Bundling ecosystem services in Denmark : Trade-offs and synergies in a cultural landscape *Landscape and Urban Planning* 125 (2014) 89–104

Viglizzo, E.F., Paruelo, J.M., Laterra, P., Jobbagy, E.G., 2012. Ecosystem service evaluation to support land-use policy. Agriculture, *Ecosystems & Environment* 154, 78–84

van Jaarsveld, A.S., Biggs, R., Scholes, R.J., Bohensky, E., Reyers, B., Lynam, T., Musvoto, C., Fabricius, C., 2005. Measuring conditions and trends in ecosystem services at multiple scales : the Southern African Millennium Ecosystem Assessment (SAfMA) experience. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences* 360, 425–441

Atelier 17

Risques naturels et vulnérabilité

Représentations cognitives et spatiales du risque sismique à Mendoza (Argentine)

Elise Beck[1], Tangui Trémel[2], Beatriz Vila[3], Mercedes Bustamante[3], Ludvina Colbeau-Justin, Silvia Quiroga[3]

[1] Politiques Publiques, Action Politique, Territoires - Université de Grenoble-Alpes
[2] Université du Mans
[3] Centro de Estudios Territoriales y Estratégicos para el MERCOSUR - Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

elise.beck@ujf-grenoble.fr

Mots-clefs - représentations cognitives, risque sismique, cartes mentales, Mendoza.

Contexte – objectifs

Située au pied des Andes argentines, la ville de Mendoza est caractérisée par une sismicité élevée : en 1861, la ville a été rasée par un séisme d'intensité IX, causant 6000 morts, 1/3 de la population de cette époque (INPRES 2014). Suite à cet événement catastrophique, le centre de la ville a été déplacé à 1km à l'ouest de son site originel et la ville s'est reconstruite. Aujourd'hui, la population de l'agglomération du Grand Mendoza dépasse le million d'habitants (INDEC 2010). Si la ville est régulièrement frappée par des secousses, le dernier séisme fort date de 1985. Une génération entière n'a donc pas vécu de véritable tremblement de terre. Dans ce contexte, il est nécessaire de faire le point sur la connaissance et la représentation du risque et sur les stratégies de préparation de la population, afin de guider les politiques de prévention. C'est également l'occasion d'identifier les facteurs de vulnérabilité sociale spécifiques au contexte de Mendoza.

Méthodologie

Protocole d'enquête

Une enquête a été menée entre fin avril et début 2014 auprès de 420 habitants de Mendoza Capital, l'une des 6 communes de l'agglomération. Le questionnaire était composé de 58 questions et d'une carte. Les questions portaient sur les représentations et la connaissance du risque sismique, la connaissance des attitudes à adopter en cas de séisme, l'expérience de séismes et les comportements adoptés, la confiance dans les autorités et dans le bâtiment habité. Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet plus large visant à étudier la vulnérabilité de Mendoza aux séismes à travers plusieurs dimensions. L'un des objectifs est de produire un modèle multi-agents de crise sismique et simuler les comportements des individus piétons après un séisme (Beck et al., 2014). Les résultats de l'enquête devaient aussi alimenter le modèle. Sur la carte, les individus enquêtés étaient amenés à entourer la zone qu'ils considéraient sûre et la zone la plus endommagée en cas de séisme important.

Une seconde enquête a été menée en juillet 2014 auprès de 95 habitants de la commune voisine de Maipu. Si le questionnaire traitait plus particulièrement de l'approche locale de la prévention du risque, il a aussi interrogé les habitants sur leur expérience et leurs représentations du risque, ce qui permet des comparaisons avec l'enquête de Mendoza. Dans les deux cas, l'échantillon a été construit suivant trois caractéristiques : le quartier de résidence, la classe d'âge et le genre, de manière à obtenir un échantillon socio-spatial. Chaque quartier comptait autant d'enquêtés. Les sous-

échantillons étaient ensuite proportionnellement représentatifs (quotas croisés) de la population suivant les critères d'âge et de genre. Les données de recensement de 2010 (INDEC 2010) ont été utilisées pour la répartition sociale.

Traitement des cartes mentales

Les polygones représentés sur les cartes ont été digitalisés à l'aide d'ArcGIS dans deux couches géoréférencées (une couche pour les zones sûres, une pour les zones endommagées). Puis, suivant la méthode de matrice cumulative (Bonnet 2004, Roulier 2013), une grille de carrés de 45 m de côté a été créée (Trémel 2014). Les cartes synthétiques des zones perçues comme sûres et des zones perçues comme endommagées ont été obtenues par jointure spatiale avec cette grille. Des cartes de sous-groupes socialement définis (âge, quartier d'origine) ont permis d'évaluer l'influence de caractéristiques sociales sur les représentations cognitives spatialisées.

Représentations cognitives du risque sismique

Si l'insécurité apparait comme la préoccupation principale des habitants de Mendoza (63% des réponses au rang1, la 2e réponse intervenant bien plus loin avec 8,8% pour les accidents de la route), la perception du risque sismique est relativement bonne : 93% des enquêtés de Mendoza considèrent qu'un séisme important peut survenir, 82% à Maipu. On note par ailleurs l'importance du contexte géographique : la commune de Mendoza Capital est très urbaine, alors que celle de Maipu, connue pour ses terres viticoles, est dotée d'un caractère rural qui surgit dans les résultats de l'enquête : parmi les risques naturels auxquels est exposée l'agglomération, les habitants de Mendoza Capital se sentent davantage exposés au risque sismique (Figure 1 gauche), alors que ceux de Maipu citent en premier lieu le risque de grêle, qui frappe chaque année les cultures (Figure 1 droite).

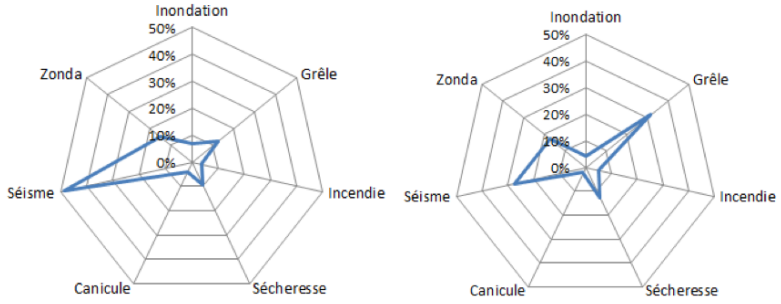


FIGURE 1 – Parmi ces risques naturels, classer les 3 risques auxquels vous vous sentez exposé(e) - premier rang ; gauche : Mendoza Capital ; droite : Maipu.

L'absence d'expérience de séisme fort est notable parmi les plus jeunes, qui sont moins nombreux (proportionnellement) à considérer possible l'occurrence d'un séisme important, connaissent moins bien l'origine des séismes et semblent moins développer des stratégies de préparation pour faire face à un futur tremblement de terre. A l'échelle de l'échantillon de Mendoza, on note par ailleurs l'importance de l'information et de la préparation à l'échelle individuelle (organisation familiale et entre voisins), en opposition avec l'application peu effective des outils de préparation proposés par la Défense Civile (kit d'urgence et plan familial). ? ? Enfin, lorsqu'on s'intéresse à la vulnérabilité sociale, évaluée à partir des réponses à 13 questions de l'enquête sous la forme d'un indice synthétique (Glatron et Beck 2008 ; Beck et al. 2012), on note l'influence de la profession et du niveau de formation, comme cela a déjà été observé

dans d'autres contextes (Grenoble : Beck et al. 2012 ; Beyrouth : Colbeau-Justin et al. 2013).

Représentations cognitives du risque sismique spatialisées

Les cartes obtenues pour les deux communes représentent d'une part les zones sûres et d'autre part les zones les plus endommagées en cas de séisme.

Dans le cas de Mendoza, les zones sûres sont bien identifiées : le parc San Martin, construit à la suite du séisme de 1861 pour procurer un lieu de loisirs aux habitants, apparait clairement. La place centrale ainsi que les 4 petites places ressortent bien : celles-ci ont également été aménagées à la suite du séisme de 1861 dans l'optique de prévoir des espaces ouverts vers lesquels évacuer suite à un tremblement de terre. Cependant, avec l'évolution du parc urbain et la construction d'édifices de plusieurs dizaines d'étages autour de ces places, elles ne constituent plus, en réalité, des espaces sûrs suite à une secousse sismique.

FIGURE 2 – zones considérées comme sûres en cas de séisme (Trémel, 2014).

Toujours à Mendoza, les zones endommagées correspondent aux quartiers les plus touchés par le séisme de 1861, où le musée de l'Area Fundacional retrace l'histoire de la ville autour de cet événement marquant, et participe ainsi au développement d'une mémoire du risque sismique (Figure 3 gauche). D'ailleurs, la dernière évaluation de la vulnérabilité physique en date, réalisée par les ingénieurs de l'INPRES (Castano 1993), bien qu'ancienne, montre de grandes similitudes avec les dommages perçus (Figure 3 droite). Les raisons invoquées par les enquêtés pour justifier la zone identifiée comme endommagée sont l'ancienneté du bâti, la densité de population, la densité de bâtiments. A l'analyse des cartes des sous-groupes, parmi d'autres paramètres, l'influence du quartier de résidence est assez nette : les enquêtés des sections 1, 4 et 5 ont tendance à surévaluer la vulnérabilité de leur propre quartier par rapport aux autres. A l'inverse, les habitants de la section 2 considèrent leur propre quartier plus sûr que le reste de la ville. Dans le cas de Maipu, deux secteurs sont identifiés par les enquêtés comme particulièrement ? vulnérables : le centre de la ville (dense) et la zone de Barrancas, où passe la faille suspectée d'être à l'origine du séisme de 1861 (Figure 4). On note que ces deux mêmes zones sont également identifiées comme les plus

sûres mais pour d'autres raisons : la zone de Barrancas est rurale moins de constructions), et les bâtiments situés dans le centre de la ville sont en meilleur état. Cette coïncidence mériterait des recherches plus approfondies.

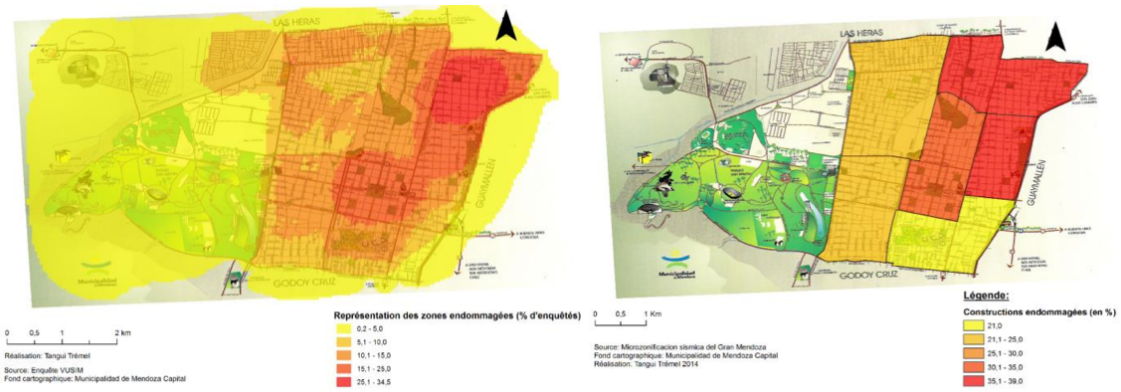


FIGURE 3 – gauche : zones considérées comme endommagées en cas de séisme (Trémel, 2014) ; droite : pourcentage de constructions endommagées en cas de séisme (Trémel 2014, d'après Castano, 1993) selon les Mendociniens.

Conclusion

En conclusion, l'enquête menée à Mendoza permet de dégager des éléments intéressants. D'une part, l'absence d'expérience de séismes par les plus jeunes impacte les représentations et connaissances, ainsi que la propension à se préparer à un événement majeur. Ensuite, l'enquête fait ressortir l'importance de l'éducation et du type d'activité dans la transmission des connaissances sur les risques et sur les stratégies à adopter pour se préparer à faire face à un séisme. Enfin, en termes opérationnels, on note des attentes fortes en termes de préparation à l'échelle locale (famille, voisins) mais une non-adoption des outils actuellement proposés par les autorités provinciales via la Direction Provinciale de la Défense Civile. On peut émettre l'hypothèse que la source des propositions (descendante) est à l'origine de cette absence de préparation individuelle, qui semble cependant un élément clé pour que Mendoza soit prête à faire face à un événement similaire à celui qui a tant marqué son histoire. Ces éléments ont été transmis aux acteurs de la gestion du risque lors d'un atelier de partage des résultats du projet VUSIM et de co-rédaction de propositions pour la gestion. Les acteurs se sont accordés sur la nécessité de davantage travailler sur la communication.

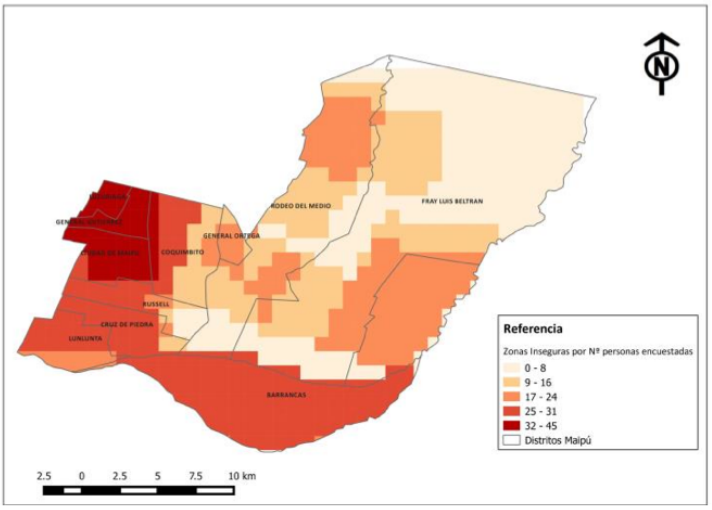


FIGURE 4 – zones considérées comme endommagées en cas de séisme par les habitants de Maipu.

Références

Beck, E., André-Poyaud I., Davoine P.-A., Chardonnel S., Lutoff C. 2012. « Risk Perception and Social Vulnerability to Earthquakes in Grenoble (French Alps) ». *Journal of Risk Research* 15 (10) : 1245 ?60. doi :10.1080/13669877.2011.652649.

Bonnet, E. 2004. « Risques industriels : les territoires vulnérables de l'estuaire de la Seine ». *Mappemonde* 2004.4.

Castano, J.C. 1993. *Microzonificación sísmica del Gran Mendoza*. Publicacion Tecnica 19. INPRES.

Colbeau-Justin, L., E. Beck, S. Cartier, J. Gerard, R. Zaarour, N. Saliba, P.-C. Gerard, et J. Harb. 2013. « Mesure de la vulnérabilité sociale au se ?isme : une analyse de deux quartiers de Beyrouth ». In . Montréal.

Glatron, S., et E. Beck. 2008. « Evaluation of socio-spatial vulnerability of citydwellers and analysis of risk perception : industrial and seismic risks in Mulhouse ». *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 8 (5) : 1029 ?40. doi :10.5194/nhess-8-1029-2008.

INDEC. 2010. « Censo 2010 ». `http://www.censo2010.indec.gov.ar/`.

INPRES. 2014. « Sismologia, Terremotos historicos ». *http ://www.inpres.gov.ar/seismology/historicos*.

Roulier, F. 2013. « Synthèses cartographiques des représentations mentales de l'espace ». *Mappemonde*, no 112 : 16.

Trémel, T. 2014. « L'étude de représentations du risque sismique comme composante de la vulnérabilité sociale à Mendoza (Argentine) ». Mémoire de Master 1. Université de Montpellier.

Vulnérabilité spatio-temporelle des oasis littorales de Gabès : détection par imagerie spatiale

Jouda BEN ARFA[1,2]), Jean Claude BERGES[2], Gérard BELTRANDO[2], Rim KATLANE[2], Fouad ZARGOUNI[2]

[1] Université Tunis El Manar, unité de recherche de Géomatique, Géologie Structurale et appliquée Université El Manar – Tunis
[2] Université Diderot, Sorbonne Paris-Cité, UMR 8586 du CNRS (PRODIG)

jouda.benarfa@gmail.com, Katlanerim@yahoo.fr , fouadzargouni@yahoo.fr, beltrando@univ-paris-diderot.fr, Jean-Claude.Berges@univ-paris1.fr

Mots-clefs - représentations cognitives, risque sismique, cartes mentales, Mendoza.

Introduction

Les oasis côtières de la Tunisie, unique ensemble oasien maritime du Maghreb, sont localisées au sud-est du pays, elles s'étendent sur une partie du littoral du golfe de Gabés sur plus de 7000 hectares avec 300 000 palmiers dattiers disséminés sur plusieurs sites dont Oudref, Metouia, Ghannouch, Bouchamma, Chot el Salem, Cheneni Nahal, Teboulbou, El M'dou, Kettena, Mareth et El Hamma (Bensalah, 2011). Ces oasis sont soumises à un climat régional de type méditerranéen à nuance aride. Ces espaces connaissent une dynamique importante et n'ont plus une vocation essentiellement agricole, ils ont progressivement été transformé en « ville-oasis » avec une étendue plurifonctionnelle où les activités industrielles et tertiaires se sont fortement développées. Cet espace est donc, plus que dans le passé, caractérisé par une occupation du sol et des fonctions de type urbain et ces évolutions économiques ont affecté les ressources en eau. Alors qu'auparavant il y avait des sources permanentes avec des débits relativement importants, ces dernières années l'eau est prélevée par forage et elle est distribuée avec des débits faibles et à tour de rôle entre les agriculteurs. De même, l'installation du complexe industriel littoral de Ghannouch, créateur de milliers d'emplois et de ressources financières régionales, a généré des besoins croissants en eau douce. Cette concurrence sur les ressources en eau a amené certains paysans à abandonner leurs parcelles suite aux problèmes de salinisation des eaux d'irrigation et aux intrusions marines qui modifient la qualité des sols. L'agriculture de type urbain (arbres fruitiers, cultures basses) occupe aujourd'hui une bonne part des espaces oasiens : les pratiques maraichères destinées à l'exportation sont les plus spectaculaires.

Les oasis de Gabès se transforment en villes-oasis, elles subissent des interactions multiformes d'origine multiples qui les touchent dans leur différents aspects : écologique, hydrologique, urbain, sociologique et économique et qui amplifient leurs dynamiques environnementales. La complexité de ces systèmes a intéressé plusieurs spécialistes (Bechraoui, 1980 ; Mamou, 1995 ; Abdedaiem, 1997 ; Bensalah et al., 2001 ; Hatira et al., 2007 ; Haddad, 2007). Dans ce contexte, nous proposons une approche géographique et cartographique pour étudier cette dynamique environnementale et ces conséquences sur la vulnérabilité des oasis. Les analyses visent à produire des images NDVI qui montrent la distribution et l'évolution de l'occupation de sol des oasis. Les variations spatiotemporelles sont évaluées par la comparaison de trois images multispectrtales à résolution moyenne enregistrées le 08/11/1972, le 08/10/1987 et 08/02/2011. Différentes applications multi capteurs ont été cen-

trées sur l'apport des indices de végétation dans la surveillance des couverts forestiers (Meneses-Tovar, 2011 ; Ghorbani et al., 2012), dans la détection des changements de la végétation et de l'occupation des sols (Silleos et al., 2006 ; Mihai et al., 2006 ; Huong Hoang et al., 2009 ; Dandan et al., 2014 ; Mancino et al., 2014) dans la gestion des prairies de montagne (Maskova et al., 2008).

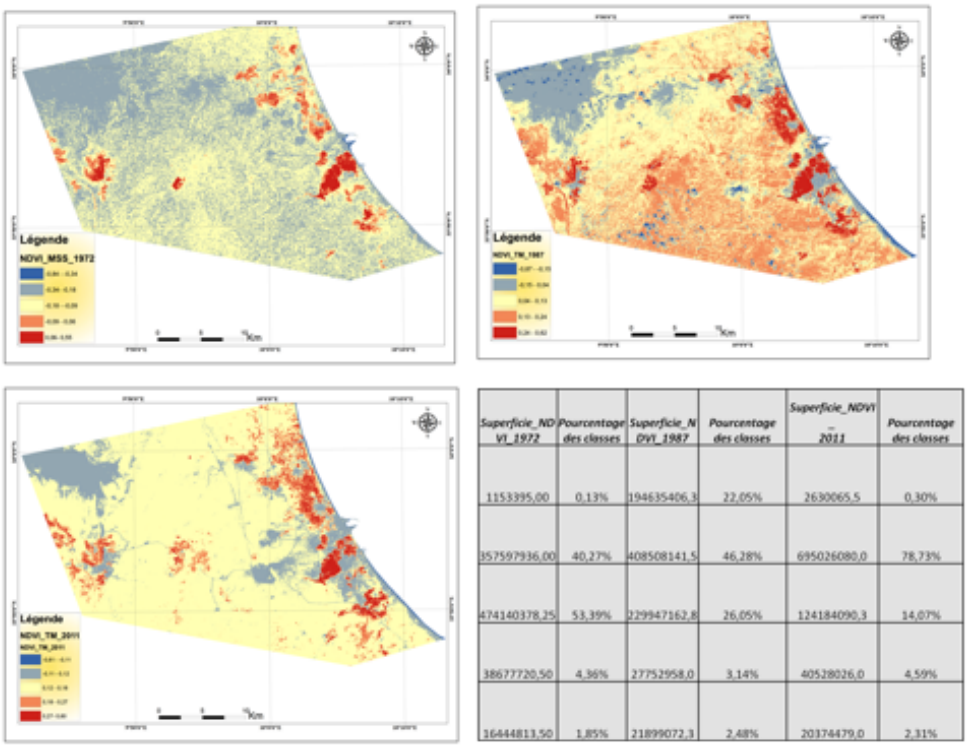
Données et méthodes

La série de données évaluée comprend trois images enregistrées à partir de deux capteurs différents de la même plate forme d'observation : LANDSAT sur une période de plus de 30 ans. L'acquisition de données s'est faite via le site earthexplorer.usgs.gov. Les images sont issues du capteur Landsat Multispectral Scanner (MSS) et Landsat Thematic Mapper (TM) respectivement en 08/11/1972 et 08/10/1987 et 20/01/2011 à résolution spatiale 60m et 30m. L'analyse des images a inclus le prétraitement et l'extraction de l'information dans les agro-écosystèmes oasiens. Le prétraitement a considéré d'abord en une correction géométrique qui a apporté chacune des trois images à un système de référence commun (WGS84 avec la projection UTM 32 Nord), une résolution spatiale et une couverture de la zone d'étude communes. L'extraction de l'information consiste d'abord à calculer et classifier les images NDVI, donner par l'équation (PIR-R/PIR+R), afin de quantifier les changements en termes d'aires. La méthode de classification utilisée est Natural Breaks (Jenks) sous ArcGIS (Nath, 2014). Les cartes d'occupation de sol obtenues ont été analysées statistiquement sous le logiciel ENVI via le module Class Statistics. Deuxièmement, l'image de différence de NDVI a été appliquée afin de détecter les changements spatio-temporels entre 1972 et 2011.

Principaux résultats

La méthode de classification des images NDVI a été appliquée pour comparer l'évolution de la végétation au cours des différentes dates (figure 1). Les outputs générés montrent des variations de valeurs de NDVI. Les teintes bleues correspondent aux valeurs de NDVI les plus faibles, tandis que celles en rouge coïncident avec les valeurs les plus fortes. A partir de cette cartographie, cinq classes ont été générées correspondent respectivement aux classes dites ici de non végétation (1), non végétation (2), végétation faible, végétation moyenne et végétation dense qui sont par la suite analysés statistiquement. Les pourcentages des classes générées sont calculés par rapport à l'ensemble de la zone analysée. Cette analyse montre que le pourcentage des classes végétation moyenne et végétation dense augmente en 2011(4,59% et 2.31%) par rapport à 1972 (4,36% et 1,85%). Cette dynamique des superficies peut-être expliquée par l'évolution des systèmes de cultures occupant la place des oasis traditionnelles. La deuxième classe non végétative a atteint 78,73% en 2011 qui peut être expliquée par l'extension de plusieurs facteurs anthropiques tels que l'extension des bâtis.

L'évolution spatio-temporelle de l'occupation de sol a été estimée par l'élaboration d'une image montrant la différence d'occupation entre 1972 et 2011 (figure 2). Cette image a été classifiée en trois zones : zones stables (pixels qui existent aux deux dates), zones de régression (pixels qui existent en 1972) et zones de progression (pixels qui existent en 2011) dont les taux de changement sont respectivement proches de zéro, négatif et positif. Cette image montre une dynamique très importante dans l'ensemble du système oasien qui nous permet de corroborer l'hypothèse d'un accroissement de l'anthropisation dans la région.



Superficie_NDVI_1972	Pourcentage des classes	Superficie_NDVI_1987	Pourcentage des classes	Superficie_NDVI_2011	Pourcentage des classes
1153395,00	0,13%	194635406,3	22,05%	2630065,5	0,30%
357597936,00	40,27%	408508141,5	46,28%	695026080,0	78,73%
474140378,25	53,39%	229947162,8	26,05%	124184090,3	14,07%
38677720,50	4,36%	27752958,0	3,14%	40528026,0	4,59%
16444813,50	1,85%	21899072,3	2,48%	20174479,0	2,31%

FIGURE 1 – Images NDVI de : MSS_08/11/1972, TM_08/10/1987, TM_20/01/2011 et tableau comparatif de l'évolution des superficies des classes NDVI.

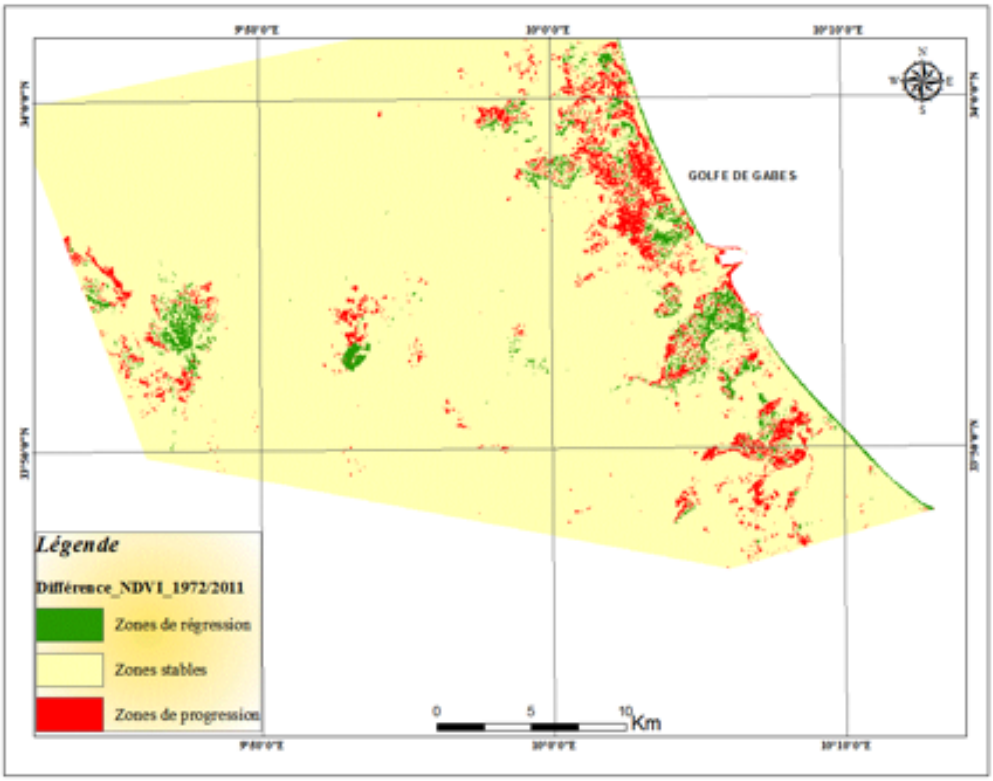


FIGURE 2 – Image de différence de NDVI entre MSS_08/11/1972 et TM_20/01/2011

Conclusion

Cette analyse des oasis de Gabès à partir de l'indice NDVI montre, avec une bonne résolution, la dynamique spatiale des aires végétalisées durant les dernières décennies. Les zones de progression s'expliquent par le développement de nouveaux périmètres irrigués et les zones de régression par la suppression des oasis traditionnelles. L'étude du changement de l'occupation de sol en calculant l'image de différence peut être expliquée par plusieurs facteurs aussi bien naturels qu'anthropiques. Une validation à partir du terrain va être réalisée afin de valider et mieux comprendre la dynamique de ce système.

Références

Abdedaiem S., (1997). *La gestion de l'eau et son impact sur la dynamique des systèmes de production dans les oasis littorales du sud tunisien. Cas de l'oasis de gabes*, Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des techniques agricoles des régions chaudes, CNEARC, Montpellier, 90p.

Bechraoui A., (1980). *La vie rurale dans les oasis de Gabes*, Thèse de doctorat de géographie, université de lettres de Tunis, 301p.

Bensalah M., Ferchichi A. et Jeder H., (2001). *Etude de la biodiversité végétale dans l'oasis de Chenini Gabès*, ASOC, PNUD-FEM/PMF, 87p.

Bensalah M., (2011). *La palmeraie de Gabès.* Issued by Phoenix Project, France-Italy, 1-7.

Dandan Xu, Xulin Guo., (2014). Compare NDVI Extracted from Landsat 8 Imagery with that from Landsat 7 Imagery. *American Journal of Remote Sensing.* Vol. 2, No. 2, pp. 10-14. Doi : 10.11648/j.ajrs.20140202.11.

Ghorbani A., Mirzaei Mossivand A. and Esmali Ouri. A., (2012). Utility of the normalised difference vegetation index (NDVI) for land/canopy cover mapping in khalkhal county (Iran). *Annals of Biological Research*, 3 (12) :5494-5503.

Haddad M., (2007). *Les systèmes de production et les techniques culturales en milieu oasien (oasis de Gabès, Tunisie).* New Medit, N. 2, pp. 40-43.

Hatira A., Baccar L., Grira M. et Gallali T. (2007). Analyse de sensibilité du système oasien et mesures de sauvegarde de l'oasis de Métouia (Tunisie). *Revue des sciences de l'eau / journal of water science*, vol. 20, n° 1, pp. 59-69.

Huong Hoang K., Bernier M. and Villeneuve J-P., (2009). *Les changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière Cau (Viêt-Nam).* Télédétection, éditions scientifiques gb, 8 (4), pp.227-236. <hal-00545765>.

Mamou A., (1995). *Incidence de l'exploitation des nappes du sud tunisien dans les oasis sur la qualité chimique de leurs eaux.* Sols Tunisie, 16, pp. 30-40.

Mancino G., Nolè A., Ripullone F. and Ferrara A., (2014). *Landsat tm imagery and ndvi differencing to detect vegetation change : assessing natural forest expansion in basilicata*, southern italy. iForest 7 : 75-84. doi : 10.3832/ifor0909-007

Maskova Z., Zemek F., Kvet J., (2008). Normalized difference vegetation index (NDVI) in the management of mountain meadows. *Boreal Environment Research.* Vol.13. P 417-432.

Meneses-Tovar C.L., (2011). L'indice différentiel normalisé de végétation comme indicateur de la dégradation. *Unasylva*, 238, vol. 62, pp. 39-46.

Mihai B., Savulescu I., Sandric I. and Oprea R., (2006). Application de la détection des changements à l'étude de la dynamique de la végétation des monts de Bucegi (Carpates Méridionales, Roumanie). *Télédétection*, vol. 6, n°3, pp. 215-231.

Nath B., (2014). Quantitative assessment of forest cover change of a part of Bandarban Hill Trast using NDVI techniques. *Journal of Geosciences and Geomatics*, Vol. 2, No.1, 21-27. Available online at `http://pubs.sciepub.com/jgg/2/1/4`.

Silleos N.G., Alexandridis T.K, Gitas I. Z. & Perakis.K., (2006). Vegetation indices : advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. *Geocarto international*, vol. 21, no. 4.pp. 21-28.

Les comportements humains face aux catastrophes : les comprendre pour mieux les prévenir

Damienne Provitolo[1], Edwige Dubos-Paillard[2], Nathalie Verdière[3], Valentina Lanza[3], Rodolphe Charrier[4], Guillaume Cantin[3], Cyrille Bertelle[4], M.A. Aziz-Alaoui[3]

[1] Géoazur (UMR 7329), CNRS, Université Nice Sophia Antipolis
[2] Géographie-Cités (UMR 8504), Université Paris1, Panthéon-Sorbonne
[3] Laboratoire de Mathématiques Appliquées du Havre, Université du Havre
[4] Laboratoire d'Informatique et du Traitement de l'Information et des Systèmes, Université du Havre

Mots-clefs - comportement humain, panique, catastrophe, modélisation conceptuelle, modélisation systémique, modélisation mathématique, équation différentielle

Contexte

L'étude des comportements humains est un domaine de recherche ancien qui, longtemps, est resté du ressort de la philosophie et de la médecine. Depuis le XIXe siècle et surtout le XXe siècle, différentes disciplines ont fait progressé la connaissance en ce domaine parmi lesquelles l'éthologie, la psychologie, les neurosciences mais aussi plus récemment certains secteurs de la sociologie, de l'anthropologie, de l'économie, de la géographie et des sciences de l'éducation. Ainsi de nombreuses recherches ont été menées en économie pour mieux comprendre les comportements du consommateur afin d'identifier les attentes des clients, en psychologie et sociologie pour appréhender les comportements en milieu de travail et identifier d'éventuels dysfonctionnements professionnels ou encore, pour prendre un dernier exemple, en neuropsychologie afin d'étudier les relations entre le cerveau, les fonctions cognitives et le comportement. En revanche, dans le domaine des risques et catastrophes, l'analyse des comportements humains est restée longtemps le parent pauvre de la recherche ; les travaux scientifiques ayant longtemps privilégié l'étude du risque sous le seul angle de l'aléa. Or, mieux comprendre les comportements humains et le rôle des interactions durant un événement catastrophique constituerait une avancée appréciable pour la gestion des crises et la protection des populations civiles.

Les rares recherches sur les comportements humains en situation de catastrophes et donc de stress portent soit sur i) l'observation des réactions lors d'un événement spécifique (on peut citer, sans volonté d'exhaustivité, les travaux réalisés sur le tremblement de terre de Loma Prieta en 1989 (Bourque et Russel 1994 ; Mileti 1991) ; sur l'éruption volcanique du Karthala (Morin et al., 2009) ; sur le World Trade Center en septembre 2001 (A. Ripley, 2008) ; sur le cyclone Katrina (Barsky et al., 2006) ou la crue de septembre 2002 dans le Gard (Ruin, 2010)), soit sur ii) l'analyse d'un comportement type tel que le pillage ou la panique (Hagenauer et al., 2011, Quarantelli, 2008, Helbing et al., 2000, Provitolo). Les objectifs scientifiques sont alors différents : dans le 1er cas, il s'agit d'appréhender le panel de réactions comportementales pouvant se produire et de mettre en perspective les comportements les uns par rapport aux autres Dans l'autre cas, il s'agit d'identifier, voire de démontrer, la récurrence d'un comportement lors d'événements différents, d'en révéler les causes et mécanismes généraux, et d'en décrire les différentes formes.

Ces analyses reposent essentiellement sur une recherche empirique basée sur des recueils d'information issus soit des écrits

des historiens, soit des témoignages (écrits d'écrivain pour les événements anciens, réalisation d'enquêtes avant et/ou après un désastre contemporain), soit de l'observation effectuée par des sauveteurs sur le terrain ou par l'analyse de photos ou vidéos permettant d'identifier les réactions humaines lors de désastres. Les catastrophes, en augmentation depuis les années 70 (SwissRe, 2011) mais avec une stagnation du nombre depuis une dizaine d'années et une décroissance des pertes humaines (Dauphiné, Provitolo, 2013) font malheureusement de la planète un véritable laboratoire in vivo. Mais, à l'inverse des Géosciences qui, de part l'augmentation des capacités d'observation physique, peuvent instrumenter la Terre et obtenir ainsi des données continues et en temps réel sur nombre d'aléas (notamment sur les tremblements de terre grâce aux capteurs sismiques), il est plus malaisé d'instrumenter en continu l'être humain dans l'attente d'un éventuel événement catastrophique, ou dans l'espoir d'en éviter un, sauf à se projeter dans le monde futuriste de Cardon [1]. De même, il est difficile de manipuler l'environnement (au sens de créer une perturbation) et d'analyser les réponses comportementales, leur évolution en fonction des manipulations observées. Enfin, en sus des limites inhérentes au recueil de l'observation, se pose le problème que cette récolte d'information sur les comportements individuels et collectifs des personnes, fournit essentiellement une information statique, ponctuelle et contextualisée. Elle permet difficilement d'embrasser la diversité des réactions humaines, adaptées ou non à la situation, pouvant se produire lors d'une catastrophe et surtout de considérer les séquences comportementales. Or, les recherches en neurosciences enseignent que l'être humain reste rarement figé dans un seul type de comportement, on assiste plutôt à un enchaînement de réactions comportementales. Les premières relèvent le plus souvent de réactions instinctives (Laborit, 1994), ces dernières laissant ensuite la place aux réactions raisonnées (Georges et Gamond, 2011) en fonction des régions du cerveau impliquées dans le traitement de l'information (cerveau reptilien, limbique ou néo-cortex) (Noto et al., 1994 ; Soussignan 2011 ; Brosch et Sander 2011).

Objectifs

Ce sont justement ces séquences comportementales, ces enchaînements de comportements instinctifs ou raisonnés provoqués par un événement catastrophique qui retiennent notre attention. Se pose alors la question : comment mieux cerner ces réactions humaines, qui complexes et difficiles à reproduire artificiellement (Crocq, 1994), sont hors de portée des démarches expérimentales de type in vivo (expérimentation réalisée dans un organisme vivant) ou in vitro (expérimentation qui s'effectue dans des conditions artificielles, dans un tube, en laboratoire, en dehors de l'organisme d'origine). Face à ce constat, notre choix s'est porté vers des méthodes alternatives, basées sur les approches mathématiques et les méthodologies in silico. Il s'agit de créer des modèles mathématiques à partir desquels on simule des scénarios d'évolution en faisant varier tels ou tels paramètres, telles ou telles conditions initiales. L'ordinateur devient alors le laboratoire virtuel du chercheur et la simulation s'entend comme une expérimentation sur un modèle, une expérience numérique (Colonna, 1993).

Dans le cadre de cet communication, nous présenterons nos résultats de recherche relatifs à la modélisation conceptuelle et mathématique des différentes « séquences » de

1. Dans son livre « La véridique histoire des compteurs à air », JA Cardon nous projette dans un cauchemar universel où l'air devient un produit économique, une denrée rare et chère. Sa consommation sera réglementée grâce à un compteur à air qui, greffé nuit et jour sur le dos de l'être humain, tel une excroissance de soi même, transforme l'air en bien marchand.

2. Un comportement collectif est ici entendu au sens de Crocq (1994) : « ces comportements, similaires ou complémentaires, sont déclenchés par une même situation, intéressent toute la communauté, sont liés par leur signification et présentent un caractère d'ensemble qui tranche par rapport à la disparité des occupations individuelles de la phase antérieure ».

comportements humains collectifs [2] susceptibles de se produire lors d'un événement catastrophique.

Méthodologie et Résultats

Dans une première partie, nous présenterons les différentes réactions humaines pouvant être observées lors d'un événement catastrophique et proposerons une typologie permettant d'organiser cette connaissance. Cette typologie (Figure 1) est organisée au regard de deux critères que sont respectivement i) les phases temporelles de la catastrophe et de l'annonce -ou non- de l'événement et ii) les zones cérébrales impliquées dans les réponses comportementales. On a ainsi dissocié les comportements instinctifs des comportements acquis et intelligents, ces deux catégories permettant d'aborder les réactions humaines sous l'angle des séquences comportementales. En effet, lors d'un événement imprévu et brutal (type séisme, tsunami local), les réactions premières s'inscrivent dans le champ des comportements instinctifs. Elles laissent ensuite place, selon une temporalité plus ou moins longue, à des comportements acquis et intelligents.

Dimension temporelle / Principaux types de comportements	Phase préalable au choc	Choc		Phase postérieure au choc
	Danger distant annoncé	Danger imminent annoncé et personnellement menaçant	Danger présent prévu ou imprévu	Immédiat post-impact
Comportements instinctifs				
° Fuite panique		x	x	x
° Sidération			x	x
° Lutte instinctive			x	
° Agitation		x	x	x
° Comportement d'automate		x	x	x
Comportements acquis et intelligents				
° Evacuation/Fuite	x	x	x	x
° Confinement/Mise à l'abri	x	x	x	x
° Lutte réfléchie contre les effets du désastre (envisagés ou réels)	x	x	x	x
° Immobilisme contraint ou réfléchi		x	x	x
° Recherche des proches	x	x	x	x
° Recherche des secours			x	x
° Entraide (Assistance, secours d'urgence)		x	x	x
° Curiosité			x	x
° Comportements déviants (pillage, vol, violence...)				x
° Retour sur le lieu d'habitation/de travail				x

X Comportement observable

© Provitolo, Dubos-Paillard, 2012

FIGURE 1 – Typologie des comportements humains en fonction des phases de la catastrophe

Pour remédier aux limites inhérentes à toute typologie, à savoir notamment leur aspect statique, et atteindre nos objectifs, ceux de rendre compte de la complexité des comportements humains, nous présenterons dans un deuxième temps le modèle mathématique que nous avons construit. Ce modèle, représenté à la figure 2 sous son formalisme graphique, est régi par un système d'équations différentielles ordinaires. Ces dernières permettent de favoriser l'analyse des dynamiques et séquences comportementales (au sens d'enchaînements de réactions) lors d'un événement catastrophique et d'introduire ainsi le temps dans cette question de géographie sur les interactions nature/société. Le modèle que nous proposons porte sur 3 types de comportements : Réflexes (x(t)), de panique (z(t)) et Contrôlés (y(t)). Ces 3 comportements sont interdépendants, avec des phénomènes de déphasages et de passage de l'un à l'autre. Nous posons comme hypothèse qu'au moment où l'événement se produit, du fait de

sa nature soudaine et imprévue (cas d'un tsunami local), l'ensemble de la population impactée va adopter une réaction comportementale de type « Réflexes» (x) qui va trancher avec les comportements des occupations quotidiennes (Q) de la phase antérieure. Le déclenchement de l'aléa s'exprime par une fonction de forçage (γ(t) qui est représentée par un pic gaussien pour caractériser la brutalité et la rapidité de l'événement catastrophique

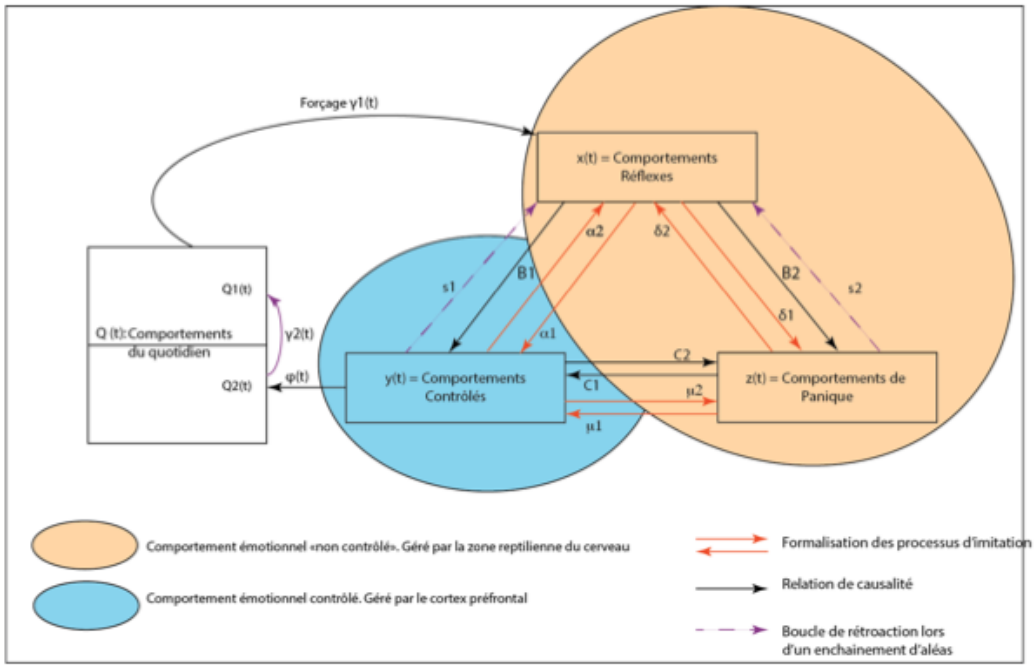


FIGURE 2 – Formalisation graphique des trois méta-comportements en situation exceptionnelle de catastrophe- Modèle PCR

Cette formalisation permet :

1. de prendre en compte les contraintes de la situation dans laquelle les réactions comportementales vont se situer,
2. d'analyser les réactions comportementales au regard du continuum temporel de l'événement mais aussi à celui de la dynamique temporelle propre à chaque type de réactions humaines,
3. de mieux comprendre et prévoir la production de comportements qui se propagent à l'ensemble d'une foule à partir de réactions individuelles et des processus d'interaction et d'imitation entre les individus.

Enfin, dans le dernier volet de cette communication, nous présenterons quelques résultats de simulation obtenus pour différents types de scénarios : avec et sans enchaînement de catastrophe dans une société où la culture du risque peut tout aussi bien être prégnante que faire défaut.

Remerciement

Les auteurs remercient vivement la Mission pour l'Interdisciplinarité du CNRS pour le financement, dans le cadre du PEPS HuMaIN (Humanité-Mathématiques-Sciences de l'Information), du projet exploratoire «Les comportements de foule en situation de catastrophe : les comprendre pour mieux les prévenir ».

Références

Barsky L., Trainor J., Torres M., 2006, *« Disaster realities in the aftermath of Hurricane Katrina : Revisiting the looting myth. »*, Natural Hazards Center Quick Response, Report Number 184.

Bourque L., Russell L., 1994, Experiences During and Responses to the Loma Prieta Earthquake, Governor's Office of Emergency Services, 368p.

Brosch et Sander 2011, « Les effets cognitifs des émotions », L'essentiel Cerveau et Psycho : *Les émotions au pouvoir*, N° 7, août-octobre 2011.

Colonna J.F., 1993, « Expériences virtuelles et virtualités expérimentales », *Réseaux*, vol. 11, N° 61, 79-96.

Crocq L., 1994, "La psychologie des catastrophes et des blessés psychiques", in Noto R., Huguenard P. et Larcan A. (eds.), *Médecine de catastrophe*, Paris, Masson, 580p.

Dauphiné A., Provitolo D., 2013, *Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Paris, A. Colin, 412 p.

George N. et Gamond L., 2011, « Premières impressions », *L'essentiel Cerveau et Psycho : Les émotions au pouvoir*, N° 7, août-octobre 2011.

Hagenauer J., Helbich M. and Leitner M., 2011, « Visualization of crime trajectories with self-organizing maps : a case study on evaluating the impact of hurricanes on spatio-temporal crime hotspots », *25th Conference of the International Cartographic Association*, Paris, 3-8 July 2011.

Helbing D., Farkas I., Vicsek T., 2000, « Simulating dynamical features of escape panic », *Nature*, vol. 47, 487-490

Laborit H., 1994, *La légende des comportements*, Paris, Flammarion.

Mileti D. S. and Paul W. O'Brien, 1991, *Public Response to the Loma Prieta Earthquake Emergency and Aftershock Warnings : Findings and Lessons*, Fort Collins, CO : Colorado State University, Hazards Assessment Laboratory.

Morin J., Lavigne F. , Bachèlery P. , Finizola A. , Villeneuve N., 2009, "Institutional and peoples response in the face of volcanic hazards in island environment : Case of Karthala volcano, Comoros Archipelago. Part I - Analysis of the May 2006 eruptive crisis", SHIMA *The International Journal of Research into Island Cultures*—, vol. 3, Issue 1, 33-53.

Noto R., Huguenard P., Larcan A., 1994, *Médecine de catastrophe*, Masson, Paris.

Quarantelli E.L., 2008, « Conventional beliefs and counterintuitive realities », *Social research*, vol 75, N°3.

Ripley A., 2008, *The unthinkable. Who survives when disasters strikes – and why*, New York, Three Rivers Press

Ruin I. 2010, « Conduite à contre-courant et crues rapides, le conflit du quotidien et de l'exceptionnel », *Annales de géographie*, vol 4, N° 674.

Soussignan R., 2011, Un monde d'émotions, *L'essentiel Cerveau et Psycho : Les émotions au pouvoir*, N° 7, août-octobre 2011.

Atelier 18

Occupation, utilisation de sols

Topographic networks : a new approach to topographic position analysis and modelling of topographic ontologies.

Zoran Cuckovic

Laboratoire Chrono-environnement (UMR 6249)
Université de Franche-Comté

cuckovic.zoran@gmail.com

Keywords - Topographic networks, surface networks, topographic ontologies, archaeology

The Earth's surface or terrain is most commonly represented in Geographic Information Systems as a gridded matrix, the raster. Somewhat less often, so called triangulated irregular networks (TIN) are used as well. These two data structures are ideal for efficient local calculations (e.g. slope, aspect etc.) but they are less appropriate for the simplification of the overall structure of the terrain and the extraction of units which are closer to human understanding (e.g. a hill, a crest, recessed valley etc.). In the proposed communication a representation of terrain in hierarchical trees, i.e. as a special case of directed graph, will be discussed. This data structure lends itself naturally to the graph-analytical approach which is particularly effective for analysis of the structural relationships in complex surfaces and, eventually, the development of terrain ontologies.

The background for the research lies in the discipline of archaeology which has a long history of interest in modelling human spatial experience. Topography is often the basic type of continuous spatial data at ready disposal to archaeologists – ancient environmental data are usually of rather poor quality for spatial modelling, while the cultural landscape is typically known from punctual material traces of habitation, economic activities and some ritual practices such as the building of funerary monuments. Two common approaches used in archaeological studies to model human spatial experience, namely the visibility analysis and cost surface modelling, relate to direct perceptual engagement with the terrain (cf. Conolly and Lake 2006). There are some attempts to model sonoric environments as well, which would fit into the same perceptual approach (idem). However, we can attempt to model human understanding of the landscape on a higher, conceptual level. It is not too hazardous to postulate that some basic notions of the terrain, such as the existence of hills, valleys or slopes, are more or less culturally universal (cf. Gibson 1983) – except, perhaps, for societies which live in completely flat and enclosed areas such as tropical rainforests. Other topographic elements, such as water in particular, can be added to this basic model. One of inspirations for modelling humanly meaningful topographic units comes from the human geography as well. Mark and Smith (2004) discuss the "ontology of mountains", the possibility to define such a vague but nevertheless essential concept for human understanding, and continue further to consider prospects for the implementation of their ideas through digital approach. This research has been extended towards the semantics of landscape or ethnophysiography as well, which deals with culturally embedded and linguistically disparate terms and conceptualisations of landforms (Turk and Mark 2011).

By topographic networks we denote a series of directed tree graphs (termed trees or surface trees in the following text) that have for their points of origin all terrain summits (Figure 1). A summit is an element of the data structure, a pixel if a raster grid is

used, that has higher value than any of its immediate neighbours. Therefore, the number of trees will correspond to the number of summits on a given terrain. Each tree is branching downwards and connecting to all pixels that are incorporated in the slopes of this structure. Eventually, the trees get delimited by areas where no lower values are available.

Surface trees have very convenient mathematical properties. First of all they are spatially delimited in an unambiguous way, which is usually a particular problem for topographic feature detection. That is to say that perimeters of these entities will follow channels which separate one summit from the other. Furthermore, each element of the DEM (i.e. all pixels in our case) gets attributed to a single entity and is immediately set into relation with the other elements inside the entity, due to the use of a graph structure. Finally, particularly interesting property of surface trees is in the potential use to construct so called surface networks (Rana 2010).

Surface networks have a long, if troubled history in the geographical modelling. First described in the 19th century by Clayey and Maxwell from the mathematical point of view, they proved elusive for the geographical modelling (see Rana 2004 for general overview). The idea is simple : any surface can be simplified to a set of peaks (isolated high values), pits (isolated low values) and passes (points with at least two high and two low values on opposing sides, they can be imagined as "saddles"). Now, to describe a surface we only need to connect peaks and pits to passes : connections leading to peaks will correspond to ridges and those to pits to valley channels. There has been a continuous interest in modelling these networks since the 1970's (Pfaltz 1976 ; Mark 1977 ; Rana 2010), but today none of major GIS software packages offer such a functionality [1].

The basic problem seems to be in accounting for the complexity of terrain through standard approaches based on the value matrix. Normally, the characteristic points are defined first (peaks, pits and passes), and then some kind of watershed algorithm is applied to connect them (i.e. an algorithm which follows the lowest heights, thus simulating water flow ; Wood 2000). However, such an approach is prone to errors, especially regarding the connection to ambiguous passes. We propose a different, much simpler technique. The procedure consists of two repetitions of topographic network extraction, first as described above and then on reversed terrain model, i.e. where peaks are transformed into pits and vice versa (which is achieved by multiplying all the z values by -1). Now, we remember that perimeters of surface trees correspond to channels – which become ridges in the reversed mode. The following step is to simply combine ridge and valley channels in a single network. However, this approach is not ideal, neither. In some cases ridgelines and valley channels may correspond to each other, typically in situations when two peaks are adjacent to two pits (Figure 2). Therefore, further research is required.

In the proposed communication the potential of topographic network modelling will be discussed on the basis of an analysis of topographical position archaeological sites from the region of Franche-Comté and Bourgogne. The main question is whether a relationship between the conceptually important elements of the landscape such as ridges or hilltops and the placement of archaeological sites can be shown to exist. In particular, the position of funerary places will be examined because it can be hypothesised that these sites occupy particular topographic settings (Figure 3). As a precursor to the analysis it is necessary to construct a basic classification of landforms, i.e. a topographic ontology. Rather than defining a priori a set of terrain classes, an approach taking into account the inherent fuzziness of landform boundaries will be preferred (Fisher and Wood 1998). In other words, each element

1. The only software claiming a surface network algorithm is the LandSerf by Jo Wood (cf. Wood 2000). However, it did not give us any usable result upon several tests.

of the terrain can be ascribed a certain likelihood level of its membership to a certain landform type. The possibilities offered by graph theoretical measures will be explored, such as centrality measures or network flow modelling. For instance, in a perfectly symmetrical surface tree the highest point should be the one with the maximum closeness centrality, but in most of surface trees modelled on the real-world terrain a certain shift between the topographical summit and the canter of gravity of the surface tree can be expected – and measured. Accordingly, each archaeological site can be viewed in terms of its distance to different centres of gravity within its tree-network : summit of the hill, closeness centrality index, high flow nodes etc.

A specific problem in the proposed approach is the correlation between the shape of terrain and many other factors which can be presumed to have influenced the placement of archaeological sites, such as soil and geology to begin with. Following an earlier work on the impact of visibility indices on the placement and organisation of funerary areas in Croatia, a particular attention will be paid to the relationship between the visibility index and the indices of membership in surface-tree (?u ?kovi ? in press.). This problem is particularly interesting because of heavy use of visibility analysis in archaeological spatial studies : it may be asked to which extent are visibility indices actually emulating other topographical indices (cf. Llobera 2001) ? When looking at Figure 3, one begins to understand that good visibility potential may not be the only reason behind the placement of a funerary monument : the shape and size of the topographical feature, as well as its relationship with surroundings (e.g. isolation) may all have been perceived and conceptualised in the ancient times as equally auspicious.

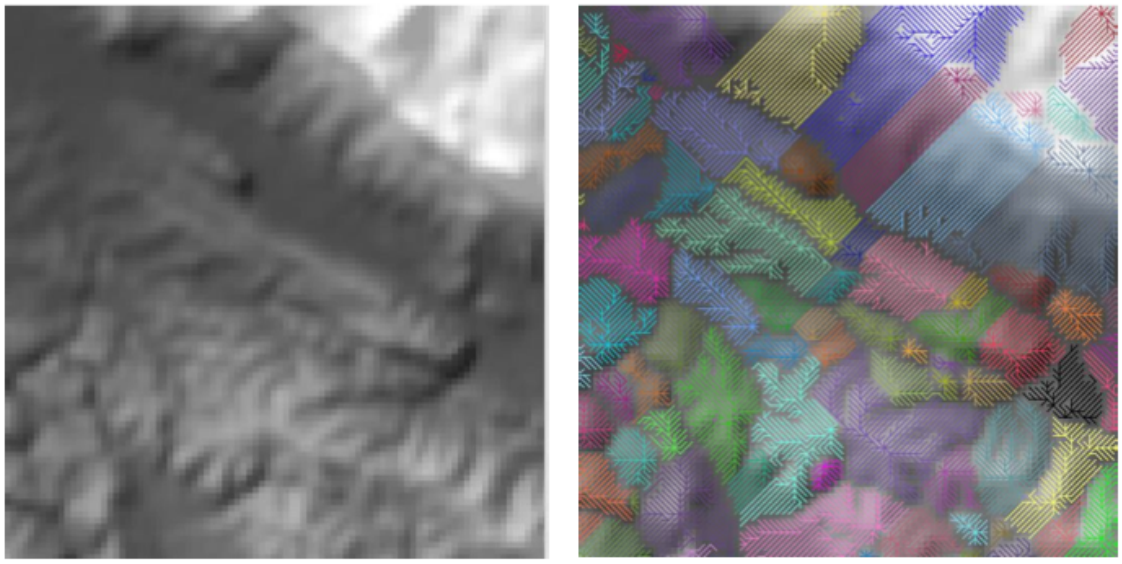


FIGURE 1 – An example of terrain classification into discrete entities using topographic networks

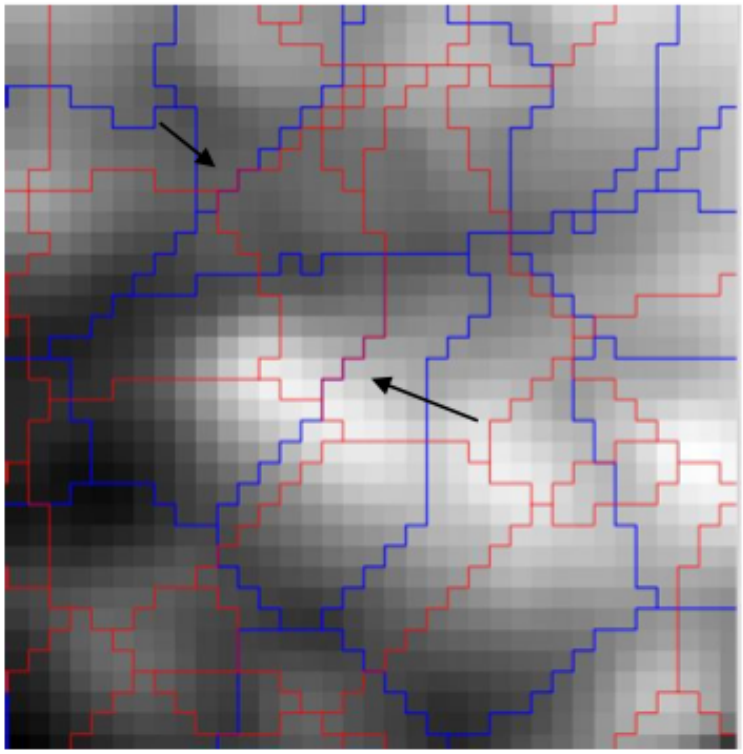


FIGURE 2 – Surface network (red : ridges, blue : valleys). Arrows indicate ambiguous situations when ridgelines correspond to valley channels.

FIGURE 3 – Maskerada (Istria – Croatia), a Bronze Age stone cairn on top of a small hill, probably with funerary function.

Références

Conolly J. et Lake M. (2006). *Geographical Information Systems in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge Manuals in Archaeology.

Cuckovic in press. De l'analyse de visibilité à la culture visuelle : un apport des systèmes d'information géographique (SIG) à l'archéologie sociale. Journée d'études APRAB, Paris, 28 février 2014.

Fisher, P., and Wood, J. (1998). What is a

Mountain ? Or The Englishman who went up a Boolean Geographical Concept but Realised it was Fuzzy. *Geography* 83(3), 247-256.

Gibson, J. J. (1986). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Hillsdale (N.J.) & London : L. Erlbaum.

Llobera M. (2001). Building Past Landscape Perception With GIS : Understanding Topographic Prominence. *Journal of Archaeological Science* 28, 1005-1014.

Mark D. M. (1977), *Topological Randomness of Geomorphic Surfaces*, PhD thesis, Simon Fraser University, Vancouver (`http://summit.sfu.ca/item/2864`)

Mark, D. M., and Smith, B. (2004). A science of topography : From qualitative ontology to digital representations, in Bishop, M and Shroder, J. F. (eds.) *Geographic Information Science and Mountain Geomorphology*, Springer Praxis Books, 75-100.

Turk, A. G. and Mark, D. M. (2011), Ethnophysiography, in Mark, D. M., Turk, A. G. Burenhult. N., Stea, D. (eds.), *Landscape in Language. Transdisciplinary perspectives. Culture and Language Use* 4, John Benjamins Publishing company, 25-45.

Pfaltz, J., 1976, Surface networks. *Geographical Analysis* 8(1), 77-93.

Rana, S. S. 2010. *Surface Networks : New techniques for their automated extraction, generalisation and application*. PhD thesis, submitted in 2004, Department of Geomatic Engineering, University College London, University of London. (`http://ced.berkeley.edu/faculty/ratt/readings/sanjayranaphdthesis2004-revisedmay2010-100522100953.pdf`)

Wood J. (2000). Constructing Weighted Surface Networks for the Representation and Analysis of Surface Topology, Presentation given at the 5th International Conference on GeoComputation, Chatham, UK, September 23-25th, 2000. (Previously available at : `http://www.gicentre.net/jwo`)

Réalisation d'un MOS à grande échelle à partir de la BD-Topo et du RPG : méthode et limites

François Pierre TOURNEUX, Damien ROY

Laboratoire ThéMA – UMR 6049 CNRS

Cette expérience s'inscrit dans le cadre de recherches sur les réseaux écologiques, les paysages et la consommation des espaces agricoles, qui figurent parmi les nombreuses applications des modèles d'occupation du sol (MOS) à grande échelle. Les MOS utilisés sont fréquemment issus de classifications d'images aériennes ou satellitaires : ils ont pour avantage de couvrir systématiquement le territoire étudié, mais pour inconvénient d'être peu reproductibles, et difficilement comparables entre eux dans l'espace et le temps. Pour lever cette difficulté, le laboratoire ThéMA conçoit un outil pour la génération de MOS à grande échelle, qui exploite la BD-Topo de l'IGN et le registre parcellaire graphique (RPG), ressources mises à disposition des acteurs publics dans le cadre de la directive INSPIRE et de l'open data. Pratiquement, cet outil est construit comme un ensemble de scripts qui assemblent, agrègent et apparient les différentes sources pour produire des MOS comparables entre eux. Il peut donc offrir une solution de travail dans l'attente de la réalisation et de la diffusion de la BD OCS GE annoncée par l'IGN.

Précisément, l'objectif est de produire un MOS systématique (couvrant l'ensemble du territoire observé), sous la forme d'entités surfaciques discrètes 2D (en d'autres termes, une couverture vectorielle de polygones), dont l'échelle d'utilisation puisse varier du 1 :10.000 au 1 :25.000, avec une unité minimale de collecte de 2000 m ? et une largeur minimale de 5 m. La nomenclature initiale est sommaire, avec 9 catégories, incluant un type « non renseigné » correspondant aux espaces pour lesquels la BD-Topo et le RPG n'indiquent pas d'occupation du sol. Cette nomenclature initiale peut être développée par la suite. De même, les lacunes « non renseignées » font l'objet d'un traitement ultérieur. La méthode employée consiste à construire en un premier temps un squelette polygonal, formé par les éléments les mieux connus, pour ce qui est de leur actualité et de leur exhaustivité : en l'occurrence, il s'agit des réseaux routiers et ferrés, ainsi que des surfaces en eau. Les phases suivantes permettent de greffer peu à peu les autres éléments sur ce squelette, en suivant un ordre dépendant également de l'actualité et de l'exhaustivité des sources, et de leur formalisation. Des opérations de filtrage et d'accolement permettent de résoudre progressivement une partie des problèmes d'appariement géométrique des données sources. La dernière étape consiste à assurer l'unité et la largeur minimale de collecte, et à créer les entités lacunaires.

La qualité des résultats est évaluée de deux façons. En premier lieu, par comparaison avec d'autres MOS ou inventaires d'occupation du sol, par exemple Urban Atlas et TerUti. En second lieu, en analysant la part du territoire non renseignée par le MOS, en considérant trois indicateurs : la part de superficie en lacune, et les pourcentages de lacunes de superficie inférieure à 2 fois ou 5 fois l'unité minimale de collecte. Pour la part de superficie lacunaire, les résultats varient assez fortement selon les régions observées : 15% pour des régions comportant de grands espaces semi-naturels (espace montagnard alpin, par exemple), 1% pour des périphéries métropolitaines dynamiques (est francilien), ou moins de 5% pour des espaces moins artificialisés (Franche-Comté). Les indicateurs de pourcentages de lacunes de superficie inférieure à 2 fois ou 5 fois l'unité

minimale de collecte varient par contre très peu suivant l'espace observé, avec des valeurs de 36% et de 70%, qui témoignent de la fragmentation des espaces non renseignés en très petites lacunes.

Comparer et modéliser l'utilisation des sols dans les aires métropolitaines espagnoles

Maxime Lenormand[1] , **Miguel Picornell**[4] , **Oliva G. Cantú-Ros**[4] , **Thomas Louail**[2,3] , **Ricardo Herranz**[4], **Marc Barthelemy**[2,6], **Enrique Frías-Martínez**[5], **Maxi San Miguel**[1], **et José J. Ramasco**[1]

[1] IFISC (CSIC-UIB), Campus Universitat de les Illes Balears
[2] Institut de Physique Théorique, CEA-CNRS (URA 2306)
[3] Géographie-Cités, CNRS-Paris 1-Paris 7 (UMR 8504)
[4] Nommon Solutions and Technologies
[5] Telefónica Research
[6] Centre d'Analyse et de Mathématique Sociales, EHESS-CNRS (UMR 8557)

Mots-clefs - Utilisation des sols ; Téléphones mobiles ; Modèle de Schelling.

contexte et objectif

L'utilisation des sols dans l'environnement urbain joue un rôle majeur dans le ressenti que les résidents et les visiteurs ont d'une ville (Humphries, 2012). Il a un effet sur l'habitabilité d'un quartier et même sur la santé de ses habitants (Sallis et al., 2009). Les différents types d'utilisation des sols composant le paysage urbain ont aussi un impact sur la mobilité. En effet, le lien entre utilisation des sols et transport est bien connu (Badoe and Miller, 2000 ; Cervero, 2002 ; Krygsman et al., 2004) et a donné lieu au développement des modèles LUTI (Land Use Transport Interaction) (Cervero and Kockelman, 1997 ; Waddell et al., 2007).

Cependant, la méthode utilisée pour identifier les différents types d'utilisation des sols dans les villes reste un problème majeur. Dans le passé, les études et enquêtes commandées par les mairies, et les images satellites étaient les principales méthodes utilisées pour identifier les types d'utilisation des sols. L'émergence des données géolocalisées, issues des usages des technologies de l'information et de la communication, nous permet de mesurer directement l'usage que les citoyens font de l'espace urbain, et ainsi construire une nouvelle science des villes (Batty, 2013). Parmi les différents types de données géolocalisées, les données générées par l'utilisation de téléphones portables nous offrent la possibilité d'étudier la distribution spatiale des individus dans les villes avec une haute résolution spatio-temporelle. Il est ainsi possible d'utiliser ces données pour étudier la structure spatiale des villes (Louail et al., 2014) mais aussi pour identifier les zones d'une ville activent au même moment de la journée et ainsi définir différents types d'utilisation des sols (Reades et al., 2009 ; Toole et al., 2012 ; Noulas et al., 2013 ; Pei et al., 2013 ; Grauwin et al., 2014).

L'objectif de cette communication est de présenter une comparaison de l'organisation spatiale des différents types d'utilisation des sols détectés dans les cinq plus grandes aires métropolitaines espagnoles à l'aide de données générées par l'utilisation de téléphones portables.

Données et méthodes

Pour cette étude nous disposons d'une base de données composée de relevés d'appels effectués à partir de téléphones portables durant une période de 55 jours s'étendant de septembre à novem- bre 2009. A chaque fois qu'un utilisateur passe ou reçoit un appel, l'événement et l'antenne à laquelle l'appel est associé sont enregistrés. La position des antennes est géo-référencée. Cela

nous permet d'agréger temporellement et spatialement les données dans le but d'associer à une zone géographique spécifique une distribution temporelle d'activités. Cette dernière est représentée par la probabilité moyenne d'y observer un utilisateur utilisant son portable en fonction de l'heure et du jour de la semaine. Nous avons ainsi divisé les cinq plus grandes aires métropolitaines d'Espagne (Madrid, Barcelone, Valence, Séville et Bilbao) en cellule de 500 ? 500 m2 auxquelles nous avons associé une distribution temporelle d'activités (Figure 1). Nous calculons ensuite le coefficient de corrélation de Pearson entre les distributions temporelles pour chaque paire de cellule. Nous obtenons ainsi une matrice de corrélation décrivant le degré de similarité entre les différentes cellules. Le coefficient de corrélation prend des valeurs entre -1 et 1. En considérant seulement des valeurs positives supérieur à l'écart type de la distribu- tion, nous définissons un réseau pondéré non-dirigé qui est ensuite analysé avec une technique de détection de communauté : Infomap (Rosvall and Bergstrom, 2008). Infomap identifie des communautés dans le réseau en utilisant des flux de probabilité basés sur des marches aléatoires censées représenter des flux d'informations et ensuite décompose le réseau en groupes de points parmi lesquelles l'information circule facilement. L'intérêt de ce type de méthodes est qu'elles ne nécessitent pas de fixer le nombre de communautés a priori. Dans notre cas les communautés obtenues représentent les différentes parties d'une ville "activent" au même moment correspondant à différents types d'utilisation des sols.

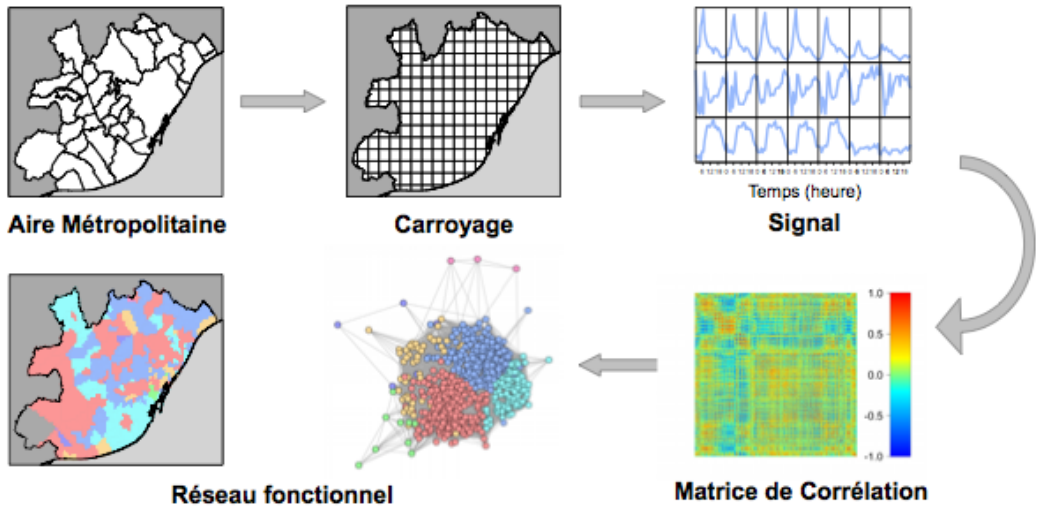


FIGURE 1 – **Illustration de la méthode utilisée pour identifier les différents types d'utilisation des sols.**Nous calculons pour chaque cellule la proportion d'utilisateurs en fonction de l'heure et du jour de la semaine. Une matrice de corrélation entre les activités des cellules est ensuite calculée. En conservant seulement les corrélations positives supérieures à un seuil nous obtenons un réseau non dirigé pondéré qui est ensuite analysé avec une technique de détection de communauté.

Nous calculons pour chaque cellule la proportion d'utilisateurs en fonction de l'heure et du jour de la semaine. Une matrice de corrélation entre les activités des cellules est ensuite calculée. En conservant seulement les corrélations positives supérieures à un seuil nous obtenons un réseau non dirigé pondéré qui est ensuite analysé avec une technique de détection de communauté.

Résultats

En appliquant la méthode décrite dans la section précédente aux aires métropolitaines nous avons identifié quatre communautés dans les cinq réseaux. La Figure 2 présente la distribution temporelle de la proportion d'utilisateurs dans chacune des quatre communautés pour l'aire métropolitaine de Madrid. A noter que des résultats identiques ont été obtenus pour les autres aires métropolitaines. De plus, la proportion de cellules appartenant à chaque communauté est similaire pour les cinq cas d'étude. Chacune de ces communautés peut être associée à un type d'utilisation des sols :

- Résidentiel, caractérisé par une activité faible de 8 heure à 17-18 heure avec un pic vers 7-8 heure et durant la soirée ;
- Commercial, où l'activité est significativement plus forte durant les jours de semaine que durant le week end. L'activité se concentre entre 9 heure et 18-19 heure ;
- Logistique/Industriel, comme pour la communauté Commercial, l'activité est plus forte durant les jours de semaine. On observe un grand pic entre 5 et 7 heure suivit par un petit pic vers 15 heure. Ce groupe est lié au transport et à la distribution de produits : par exemple, "Mercamadrid" et la "Zona Franca" à Barcelone (les plus grandes plates-formes de distribution à Madrid et Barcelone) font partie de ce groupe ;
- Vie nocturne, est caractérisé par une forte activité nocturne particulièrement durant le week end. Durant la semaine, ces zones montrent une forte activité entre 9 et 18 heure comme pour la communauté Commercial, preuve d'un certain niveau de mélange entre les différents types d'utilisation des sols. Par exemple, la "Gran Via" à Madrid et les "Ramblas" à Barcelone où abonde théâtres, restaurants et bars mais aussi bureaux et magasins font partie de ce groupe.

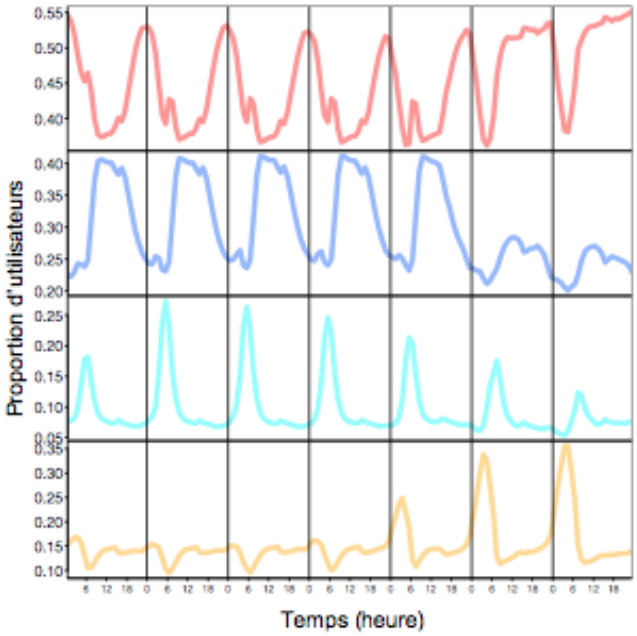


FIGURE 2 – Distribution temporelle de la proportion moyenne d'utilisateurs de chaque com- munautés pour l'aire métropolitaine de Madrid. (En rouge, le type Résidentiel ; En bleu, Com- mercial ; En cyan, Logistique/Industriel ; Et en orange, Vie nocturne).

Une fois que nous avons identifié et caractérisé les différents types d'utilisation des sols, nous pouvons étudier comment les cellules de chaque type sont distribuées dans les aires métropoli- taines. Nous pouvons observer sur la Figure 3 la densité de cellules en fonction de la distance au centre ville pour chaque type d'utilisation des sols et pour chacune des aires métropolitaines. Les aires métropolitaines ont des tailles différentes donc nous avons normalisé la distance au centre ville par la distance maximale. Sur la Figure 3 on observe une certaine similarité entre les aires métropolitaines dans la façon dont les cellules sont distribuées. Les cellules de type Résidentiel sont bien distribuées à travers l'aire métropolitaine avec une densité maximale assez proche du centre ville. Les cellules Commercial sont situées à une distance similaire du centre ville que les cellules de type Résidentiel avec une densité maximale un peu plus éloigné de celui- ci. Les cellules de type Logistique/Industriel sont situées en périphérie alors que la probabilité d'observer une cellule de type Vie nocturne diminue avec la distance au centre ville.

Dans le but d'étudier la distribution spatiale des différents types d'utilisation des sols nous avons utilisé le K de Ripley normalisé, K(r)/A. Le K de Ripley (Ripley, 1976) est un indicateur mesurant l'hétérogénéité spatiale d'un ensemble de points. La fonction K est définie comme suit :

$$K(r) = \frac{A}{n^2} \sum_{i=1}^{n} N_i(r) \qquad (1)$$

où n est le nombre de points, A l'aire de la région contenant les points, r est le rayon et Ni(r) le nombre de points présents à une distance r du point i. Comme les aires me ?tropolitaines ont des surfaces différentes nous avons normalisé le rayon par la distance maximale et la fonction K par son maximum K(∞) = A. On peut observer sur la Figure 4A l'évolution de K(r)/A en fonction de r pour les cinq aires métropolitaines et les différents types d'utilisation des sols. Nous observons une forte similarité entre les différentes courbes. Les courbes extraites des données ont des valeurs supérieures à celles observées dans le cas d'une distribution uniforme des cellules dans l'espace (courbes vertes), ce qui signifie que la distribution observée est plus agrégée qu'une distribution aléatoire quelque soit la distance.

Pour aller un peu plus loin, nous pouvons aussi définir une entropie moyenne pour mesurer le degré de mélange des différents types d'utilisation des sols en fonction de l'échelle. Considérons un rectangle contenant l'aire métropolitaine que nous allons diviser en un nombre D^2 de blocs de même taille, D étant le nombre latérale de divisions. Chacun de ces blocs, B_i, contient une certaine proportion de cellules de chaque type d'utilisation des sols :

$$f_i^R$$

pour le Résidentiel,

$$f_i^C$$

pour le Commercial,

$$f_i^L$$

pour le Logistique/Industriel et

$$f_i^V$$

pour la Vie nocturne. Une entropie, E_i, est ensuite calculée pour chaque bloc B_i :

$$E_i = -\sum_{\alpha} f_i^{\alpha} \ln(f_i^{\alpha}) \qquad (2)$$

où α représente le type d'utilisation des sols. Les valeurs Ei sont ensuite moyennées pour construire une entropie moyenne, pour chaque aire métropolitaine, variant avec l'échelle D. E(D) tend vers 0 quand D tend vers l'infini car dans ce cas un seul type d'utilisation des sols est présent dans chaque bloc. Quand D tend vers 1, E(D) converge vers une valeur fixe décrivant le mélange d'utilisation des sols à l'échelle de l'aire métropolitaine. La Figures 4B nous montre comment l'entropie moyenne évolue en fonction du nombre de division D pour chacune des cinq aires métropolitaines. Les courbes sont très similaires et décroient en suivant une loi de puissance. Ceci est en

accord avec le concept de ville fractale très répandu dans la littérature (Bettencourt et al., 2007 ; Batty, 2008 ; Bettencourt, 2013 ; Youn et al., 2014 ; Bettencourt and West, 2010 ; Batty, 2013 ; Arcaute et al., 2013). Les modèles urbains dans la littérature sont typiquement construits avec des mécanismes très élaborés indispensables pour reproduire la complexité de certain comportement (Wilson, 1969 ; Decraene et al., 2013). Il est cependant intéressant de noter que les formes de K(r)/A et E(D) peuvent être expliquées par un modèle simple inspiré du modèle de ségrégation de Schelling (Schelling, 1971). A l'état initial, un type d'utilisation des sols est assigné de manière aléatoire à chaque cellule d'une grille en respectant la distribution moyenne observée dans les cinq cas d'études tel que la valeur de E(D) lorsque D = 1 coïncide avec les données. On définit ensuite un indice de satisfaction pour chaque cellule, dépendant du type d'utilisation des sols de la cellule et de celui de ses voisins. D'une manière générale, l'indice de satisfaction d'une cellule augmente quand elle est entourée de cellules du même type. Certains types d'utilisation des sols s'attirent l'un l'autre comme les types Résidentiel et Commercial, alors que d'autres se repoussent comme le type Logistique/Industriel et les autres types. En sommant tous les indices de satisfaction des cellules de la grille, on obtient un indice de satisfaction globale que l'on va chercher à maximiser. A chaque itération du modèle, on choisit aléatoirement deux cellules de la grille et on intervertit leur type d'utilisation des sols seulement si cela augmente la valeur de l'indice de satisfaction globale. Le processus s'arrête quand la valeur de l'indice atteint un état stationnaire. En calibrant un paramètre Υ permettant d'ajuster le degré d'attraction entre les types Résidentiel et Commercial on peut reproduire les valeurs de K(r)/A (Figure 4A) et E(D) (Figure 4B) observées dans les données.

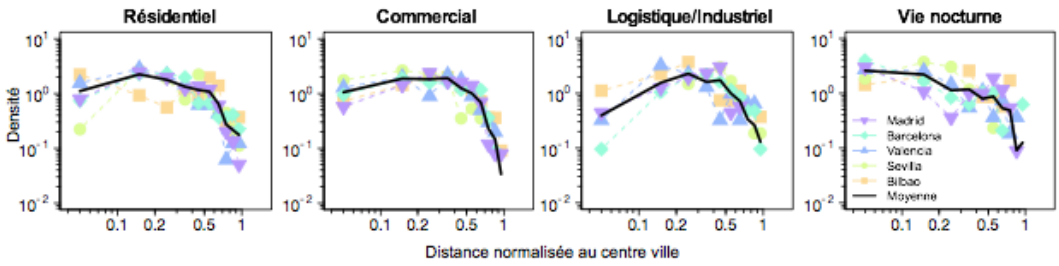


FIGURE 3 – **Distribution de la distance entre les cellules et le centre ville selon le type d'utilisation des sols**. Les distances ont été normalisées par la distance maximum pour chaque aire métropolitaine.

Conclusion

En conclusion, nous avons comparé l'utilisation des sols dans les cinq plus grandes aires métropoli- taines espagnoles. Différents types d'utilisation des sols ont été identifiés à partir de données de téléphones portables. Pour chacune des aires urbaines, quatre types d'utilisation des sols, distribués en proportion similaire, ont été identifiés. Nous avons montré que les différents types d'utilisation des sols sont distribués de façon similaire à travers les aires métropolitaines et qu'il était possible de reproduire ces comportements à l'aide d'un modèle simple s'inspirant du modèle de ségrégation de Schelling.

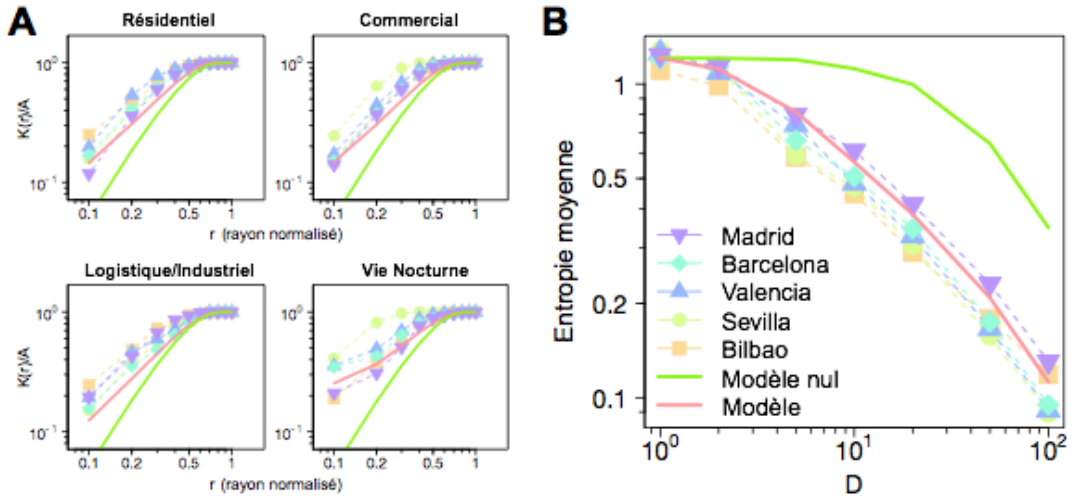


FIGURE 4 – **Comparaison entre les valeurs observées et simulées du K de Ripley et de l'entropie moyenne**.(A) K de Ripley divisé par la surface de l'aire métropolitaine en fonction du rayon. Le rayon a été normalisé par le maximum dans chaque aire urbaine. (B) Entropie moyenne en fonction du nombre latéral de division D. La courbe rouge représente les résultats obtenus avec le modèle et la courbe verte les résultats du modèle nul (distribution aléatoire des cellules). Les valeurs des modèles ont été moyennées à partir de 30 simulations.

Références

Arcaute, E., Hatna, E., Ferguson, P., Youn, H., Johansson, A., and Batty, M. (2013). City boundaries and the universality of scaling laws. Technical report, arXiv preprint 1301.1674.

Badoe, D. and Miller, E. (2000). Transportation and land-use interactions : Empirical findings and implications for modeling. *Transportation Research D : Transport & Environment*, 5D(4) :235–263.

Batty, M. (2008). The Size, Scale, and Shape of Cities. *Science*, 319(5864) :769–771.

Batty, M. (2013). *The New Science of Cities*. The MIT Press.

Bettencourt, L., Lobo, J., Helbing, D., Kuhnert, C., and West, G. (2007). Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(17) :7301–7306.

Bettencourt, L. and West, G. (2010). A unified theory of urban living. *Nature*, 467(7318) :912–913.

Bettencourt, L. M. A. (2013). The Origins of Scaling in Cities. *Science*, 340(6139) :1438–1441.

Cervero, R. (2002). Built environments and mode choice : toward a normative framework. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 7(4) :265 – 284.

Cervero, R. and Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3ds : Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 2(3) :199 – 219.

Decraene, J., Monterola, C., Lee, G. K. K., Hung, T. G. G., and Batty, M. (2013). The emergence of urban land use patterns driven by dispersion and aggregation mechanisms. *PLoS ONE*, 8(12) :e80309.

Grauwin, S., Sobolevsky, S., Moritz, S., G dor, I., and Ratti, C. (2014). Towards a comparative science of cities : using mobile traffic records in new york, london and hong kong. *ArXiv e-print*, arXiv :1406.4400.

Humphries, C. (2012). The science of cities : Life in the concrete jungle. *Nature*,

491 :514515.

Krygsman, S., Dijst, M., and Arentze, T. (2004). Multimodal public transport : an analysis of travel time elements and the interconnectivity ratio. *Transport Policy*, 11(3) :265–275.

Louail, T., Lenormand, M., Garcia Cantú, O., Picornell, M., Herranz, R., Frías-Martínez, E., Ramasco, J. J., and Barthelemy, M. (2014). From mobile phone data to the spatial structure of cities. *Scientific Reports*, 4(5276).

Noulas, A., Mascolo, C., and Frias-Martinez, E. (2013). Exploiting foursquare and cellular data to infer user activity in urban environments. *In Proceedings of the 2013 IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management* - Volume 01, MDM '13, pages 167–176.

Pei, T., Sobolevsky, S., Ratti, C., Shaw, S. L., and Zhou, C. (2013). A new insight into land use classification based on aggregated mobile phone data. *ArXiv e-print*, arxiv :1310.6129.

Reades, J., Calabrese, F., and Ratti, C. (2009). Eigenplaces : analysing cities using the space of time structure of the mobile phone network. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 36(5) :824–836.

Ripley, B. D. (1976). The second-order analysis of stationary point processes. *Journal of Applied Probability*, 13 :255–266.

Rosvall, M. and Bergstrom, C. T. (2008). Maps of random walks on complex networks reveal community structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(4) :1118–1123. Sallis, J. F., Saelens, B. E., Frank, L. D., Conway, T. L., Slymen, D. J., Cain, K. L., Chapman, J. E., and Kerr, J. (2009). Neighborhood built environment and income : examining multiple health outcomes. *Social science & medicine*, 68(7) :1285–1293.

Schelling, T. (1971). Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1.

Toole, J. L., Ulm, M., González, M. C., and Bauer, D. (2012). Inferring land use from mo- bile phone activity. In *Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing*, UrbComp '12, pages 1–8.

Waddell, P., Ulfarsson, G. F., Franklin, J. P., and Lobb, J. (2007). Incorporating land use in metropolitan transportation planning. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 41(5) :382 – 410.

Wilson, A. G. (1969). The Use of Entropy Maximising Models, in the Theory of Trip Distribution, Mode Split and Route Split. *Journal of Transport Economics and Policy,* 3(1) :108–126.

Youn, H., Bettencourt, L., Lobo, J., Strumsky, D., Samaniego, H., and West, G. B. (2014). The systematic structure and predictability of urban business diversity. *ArXiv e-print*, arXiv :1405.3202.