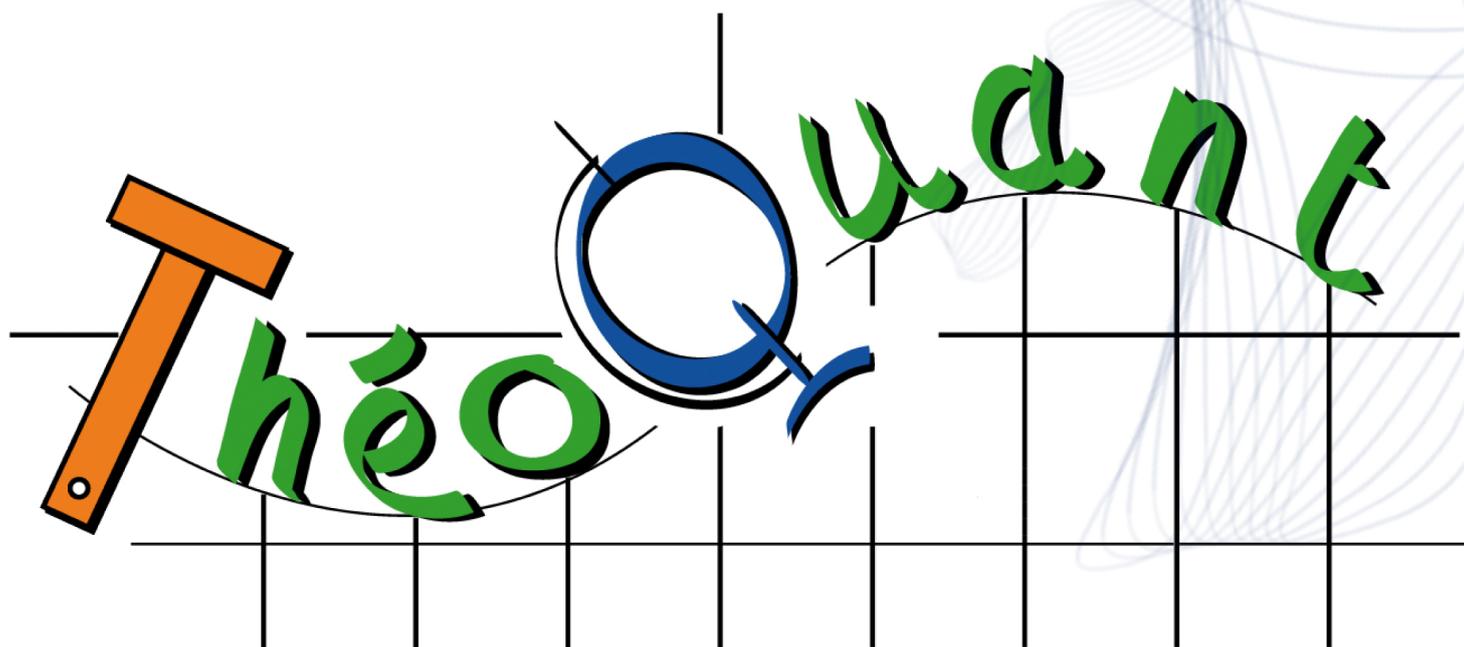


Onzièmes Rencontres de



Besançon, 20-22 février 2013

Nouvelles approches en Géographie
Théorique et Quantitative

Résumés des communications

Sommaire

| | |
|---|-----|
| Conférences en séance plénière | 3 |
| Atelier 1 Représentations et comportement de mobilité | 4 |
| Atelier 2 Développement durable et performance territoriale | 15 |
| Atelier 3 Systèmes de ville et dynamiques urbaines | 27 |
| Atelier 4 Simulation pour des mobilités durables | 42 |
| Atelier 5 Ecosystèmes et impacts environnementaux | 55 |
| Atelier 6 Hiérarchies urbaines : nouvelles approches | 68 |
| Atelier 7 Indicateurs et analyse spatiale | 80 |
| Atelier 8 Epistémologie et ouvertures géographiques | 101 |
| Atelier 9 Modélisation et simulation spatiale | 118 |
| Atelier 10 Données et mobilités quotidiennes | 131 |
| Atelier 11 Diffusions et répartitions spatiales | 141 |
| Atelier 12 Risques naturels et vulnérabilité | 154 |
| Atelier 13 Modélisation et cartographie des mobilités | 163 |
| Atelier 14 Imagerie et mesure en milieu montagnard | 174 |
| Atelier 15 Risques technologiques et résilience | 182 |
| Atelier 16 Trajectoires et dynamiques spatiales | 195 |
| Atelier 17 Retour sur les travaux de Maryvonne Le Berre | 211 |
| Atelier 18 Géographie de la santé | 212 |

Partenaires des Onzièmes Rencontres de Théo Quant

Centre National de la Recherche Scientifique



Laboratoire ThéMA



Université de Franche-Comté



Conférences en séance plénière

Olivier Bonin

LVMT (Marne-la-Vallée)

Conférence mercredi 20 février à 11h00

Approche morphogénétique de la formation des prix immobiliers et des quartiers : à l'interface entre l'économie et la politique

Denise Pumain

Géographie-cités (Paris)

Conférence jeudi 21 février à 09h00

Comment valider des modèles d'évolution pour les systèmes de villes dans différentes régions du monde ?

Céline Rozenblat

Université de Lausanne

Conférence vendredi 22 février à 09h00

Villes et réseaux dans la mondialisation : l'apport de l'analyse spatiale à une approche multi-niveaux et multi-dimensionnelle

Atelier 1

Représentations et comportement de mobilité

La question de l'organisation des chaînes de déplacements au cœur des problématiques de la mobilité quotidienne

KIEFFER Lionel¹, AUDARD Frédéric¹, OLIVEAU Sébastien¹

¹Aix-Marseille Université CNRS
UMR 7300 ESPACE
13621 Aix-en-Provence.

L'évolution des pratiques de mobilité en France est en lien direct avec l'évolution de la structure des villes. L'étalement urbain, la péri-urbanisation ou encore l'éclatement de la localisation des lieux d'activités ont poussé les individus à adapter leurs comportements de mobilité. On observe une complexification des chaînes de déplacements des individus et d'une plus globalement, de l'organisation des emplois du temps personnels. Le traditionnel domicile-travail n'est alors plus une référence, au même titre que le retour au domicile pour le repas du midi (Kaufmann, 2008). Les pérégrinations quotidiennes (Wiel, 1999) n'ont plus la même configuration. Plus qu'une transformation, c'est un bouleversement des habitudes de mobilité où la voiture reste la condition indispensable pour réaliser plusieurs déplacements à la suite. Plus généralement, le véhicule personnel reste le mode de transport le plus « pratique » pour enchaîner les déplacements sans retour au domicile. Ceci a pour conséquence une persistance de la dépendance automobile en particulier pour les personnes résidant hors des zones urbaines.

Dans le cadre de nos recherches, nous disposons des données de mobilités recueillies lors de l'enquête ménages-déplacements (EMD) réalisée sur l'aire métropolitaine toulonnaise (AMT) en 2007-2008. Elle concerne 39 907 déplacements de 11 327 personnes réparties dans 5 707 ménages différents (Soit environ 1,95 % de la population).

Nous choisissons de concentrer nos travaux sur l'étude des sorties (ensemble des déplacements réalisés depuis le domicile jusqu'au retour à celui-ci (figure 1)). Une approche

segmentée est privilégiée pour comprendre les logiques de chaînage.

Ceci permet de formuler l'hypothèse selon laquelle un déplacement effectué au cours d'une sortie dépend de l'arrêt précédent. Toute élaboration d'une chaîne d'activité respecterait une logique spatiale, où un individu serait notamment contraint de se limiter à un espace géographique précis comme le décrit la *time geography*, pour pouvoir enchaîner les activités (Chardonnel, 2001).

Objectifs de l'étude

L'étude de la construction de sorties des individus est un facteur révélateur de l'organisation quotidienne du ménage. Elle permet de comprendre les logiques spatiales et le processus de choix qui régissent les déplacements quotidiens.

Les politiques locales de transports tentent d'inciter les usagers à modifier l'usage des modes de transports, favorisant l'usage des transports en communs urbains. Or, ce mode n'est pas le plus adapté pour le chaînage (contrainte des arrêts, difficultés pour transporter des objets...). La voiture apparaît aux yeux des usagers comme le mode privilégié pour réaliser plusieurs déplacements à la suite (Hani, 2009).

Alors que les collectivités locales veulent apporter des solutions aux problèmes de congestion aux abords de leurs grandes villes, la solution la plus évoquée est souvent celle incitant à ne plus se déplacer en voiture. Or, il est aujourd'hui très difficile, de convaincre les populations vivant aux abords de ces grandes agglomérations,

en zone périurbaines, voire rurales. Considérés comme « captifs » - volontaires? – de l'automobile (Madre, 1995), ils sont les premiers à préférer l'usage du véhicule personnel et ce tout au long de leur sortie.

L'observation de la congestion aux entrées de Toulon le matin est la résultante de ce phénomène de déplacements de masse des migrants pendulaires devant accéder au plus grand bassin d'emploi du département. Une alternative serait alors de proposer aux usagers une pratique alternative au "tout automobile". En se basant sur l'étude segmentée des chaînes de déplacements, l'intermodalité est un compromis judicieux. On choisirait alors son véhicule personnel pour chaîner ses déplacements à l'exception des déplacements principaux dans l'agglomération toulonnaise où un réseau adapté de transports en commun viendrait constituer un substitut viable. Ce principe de report modal déjà étudié par Massot (2004) permettrait donc théoriquement de réduire le nombre de véhicule convergents vers l'agglomération toulonnaise.

Données : Chaînes de déplacements, sorties

La construction au quotidien des sorties relève d'une organisation spécifique du mé-

nage. On distingue deux types de sorties :

- Les sorties « simples », où l'individu se déplace pour un motif unique (aller-retour domicile-activité). Elle n'est composée que de deux déplacements (figure 1). L'analyse de ces dernières peut être réalisée à l'aide d'une étude basée sur une matrice origine-destination.
- Les sorties « à destinations multiples », où sont réalisés successivement plusieurs déplacements autour d'un motif principal (activité où l'individu passe le plus de temps). On dénombre un minimum de trois déplacements (figure 1). Elles constituent le principal centre d'intérêt de notre étude. En effet, plus qu'une simple analyse de matrice origine-destination, c'est une vision segmentée des chaînes de déplacements qu'il faut adopter. Dans le cadre d'une organisation préétablie des pérégrinations quotidiennes, il est alors légitime de dire que chaque lieu d'activité est en lien direct avec le suivant. Qu'ils soient à proximité d'une activité principale (Travail ou études par exemple) ou « sur la route », ces déplacements secondaires (Kieffer et Audard, 2011) englobent un ensemble d'activités réalisées en marge de l'activité principale.

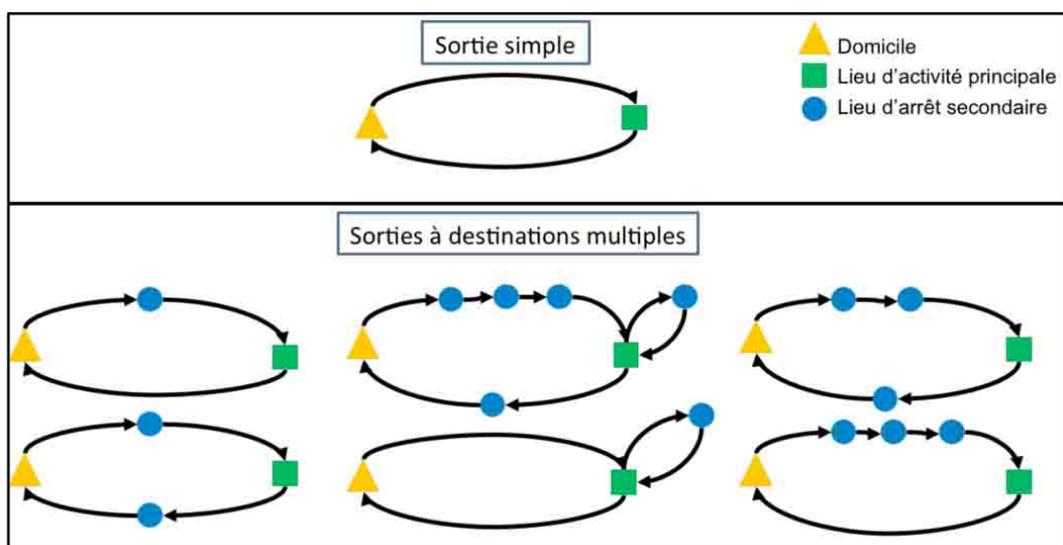


FIGURE 1 – Exemples de configurations possibles pour des sorties

L'analyse de la base EMD montre que 68% des sorties sont simples. Mais elles ne représentent que 52% des déplacements totaux soit une importance relative quand on opte pour une approche qui se base sur le déplacement et les conditions qui l'entoure. Les sorties à destinations multiples constituent donc un peu moins de la moitié des déplacements de l'aire métropolitaine toulonnaise. Toutefois, le fait de réaliser une sortie à destinations multiples peut se révéler plus chronophage. Moins de 6% des personnes en réalisent quotidiennement deux ou plus contre 28% qui réalisent au moins deux sorties simples. Le fait de réaliser une sortie simple ouvre donc plus la possibilité en terme de temps disponible post-retour au domicile pour faire une seconde (simple ou non).

En terme de distribution spatiale des déplacements des sorties, le constat est similaire. Le lieu d'activité principale des sorties simples est dans les deux tiers des cas situé dans la même zone que le lieu de résidence de l'individu alors qu'il ne l'est que dans un cas sur deux en sortie à destinations multiples. Il existe donc une relation entre constructions des chaînes et localisation des activités.

Au-delà du facteur spatial, d'autres facteurs apportent une justification à l'organisation des mobilités quotidiennes que ce soit les caractéristiques de l'individu (Sexe, âge, CSP, type de ménage dans lequel il se trouve...) ou les contraintes matérielles et géographiques (motorisation, zone de résidence...).

Il faut également tenir compte des espaces pratiqués par les individus. Le déplacement sur courtes distances, qui fait référence aux espaces vécus par les individus, intervient également dans les processus de choix des destinations d'activités.

Principaux résultats

L'étude des sorties, plus précisément des chaînes qui les composent, permettent d'observer plusieurs profils de construction des sorties quotidiennes :

- Les « mono-activités » : On en distingue deux types. Les sorties simples réalisées quasi-systématiquement pour une activité principale liée à l'activité professionnelle ou étudiante et dans une moindre mesure pour des achats. Ensuite, celles effectuées toujours pour une seule activité, mais qui avec un retour au domicile pour le repas de midi, totalisant quatre déplacements quotidiens.
- Les « opportunistes » : Une seule sortie à destination multiple courte est effectuée (trois déplacements) avec un arrêt secondaire, généralement sur le chemin du retour. Il y a donc une dimension de mise à profit de la sortie pour réaliser une activité supplémentaire et ainsi ne pas avoir à ressortir de chez soi.
- Les « organisés » : Pratiquent au moins une sortie à destinations multiples, le plus souvent avec quatre déplacements ou plus. Ils font cependant peu de sorties au total (trois au maximum), le caractère chronophage de leurs sorties longues étant un facteur fortement limitant.
- Les « hyper-mobiles » : Regroupent les cas où l'on totalise de nombreuses sorties au cours d'une même journée, souvent simples ou avec un nombre de déplacements limités (quatre ou moins) sur de courtes et moyennes distances. Elles sont dans la plupart des cas réalisées à proximité du domicile qui est souvent fréquenté au cours de la journée.

Ces différents profils de mobilités doivent être considérés différemment, leurs besoins étant parfois diamétralement opposés. La question sous-jacente de cette étude est de savoir s'il serait possible pour une personne réalisant des sorties de type « hyper-mobile » de réduire le nombre d'allers-retours depuis le domicile et de chaîner dans une logique d'optimisation. On voit à travers cette étude qu'une approche fondée sur l'homo economicus ne saurait être réaliste et que la prise en compte des représentations de l'espace que se font les individus (Bailly, 1990) est essentielle pour penser intelligemment les déplacements et leurs potentiels reports aujourd'hui.

Références

BAILLY A. (1990), *Les représentations de la distance et de l'espace : mythes et constructions mentales*, Revue d'économie régionale et urbaine, n°2, pp. 265-270

CHARDONNEL S. (2001) « *La time-geography : les individus dans le temps et dans l'espace* », in Sanders (dir.) *Modèles en analyse spatiale, information géographique et aménagement du territoire*, Hermès science publications, pp.129-156.

HANI M. (2009), *Chaînage des déplacements et pratiques d'achats des familles. Le cas de l'agglomération du Havre*, Geocarrefour, vol.84-1-2009, 9p.

KAUFMANN V. (2008), *Les paradoxes de la mobilité, bouger, s'enraciner*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 115 p.

KIEFFER L., AUDARD F. (2011), *Modélisation des déplacements secondaires : la segmentation des chaînes de déplacements pour une meilleure compréhension des logiques de mobilités*, Dixièmes rencontres de Théo Quant.

MADRE J-L., (1995), « *Les nouveaux captifs de l'automobile* », Cahiers de l'IAURIF, n°122, pp. 29-34

MASSOT M-H. et al. (2004), *Une ville sans voiture : utopie ?*, Revue d'Économie Régionale & Urbaine, 12/2004, pp. 753-778

Des profils sociodémographiques au comportement de déplacement. Le cas des frontaliers du Grand-Duché du Luxembourg

Guillaume Drevon^{1,2}, Olivier Klein¹, Philippe Gerber¹

¹Centre d'Études de Populations, de Pauvreté et de Politiques Socio-Économiques (CEPS/INSTEAD), Esch/Alzette, Luxembourg

²Laboratoire PACTE UMR 5194

Université de Grenoble

philippe.gerber@ceps.lu

Mots-clefs - Frontalier, Time-Geography, Chaîne de déplacement, Analyse multivariée

Contexte et objectif

En termes de mobilité et de flux de navetteurs, la principale caractéristique du Grand-Duché du Luxembourg est le phénomène frontalier. Actuellement, plus de 156 000 actifs frontaliers provenant de France, d'Allemagne et de Belgique se déplacent quotidiennement vers le territoire luxembourgeois pour se rendre au travail (source STATEC, 2012). Ces mouvements pendulaires frontaliers, les plus importants de l'Union européenne (MKW, 2009), résultent entre autres d'accords législatifs européens, de la croissance économique florissante du Luxembourg, ou encore des différentiels entre les pays (marché foncier, salaires...). Ainsi, les frontaliers, en franchissant quotidiennement la frontière pour exercer leur activité professionnelle, construisent un bassin de vie transfrontalier (Enaux, Gerber, 2008) composé également de différentes activités annexes. L'objectif de cette communication est donc de déterminer les liens qui peuvent se révéler entre des comportements de déplacement quotidiens, des schémas d'activités complexes et des profils-types sociodémographiques de frontaliers.

Données

Pour nos analyses, l'Enquête Mobilité des Frontaliers, réalisée en 2010-2011 (Schmitz et al. 2012), est utilisée. Elle porte sur

un échantillon représentatif de frontaliers (Gerber, Fleuret, 2008) qui prend en compte le pays de résidence (Allemagne, Belgique, France), le lieu de travail et le genre. L'échantillonnage a été réalisé à partir d'un appariement de fichiers administratifs de l'Administration des Contributions Directes et de la Sécurité Sociale luxembourgeoise. L'enquête, auto-administrée et divisée en deux phases, est constituée d'un premier questionnaire relatif aux profils sociodémographiques des frontaliers et aux pratiques de mobilité quotidienne; le deuxième concerne les représentations énergétiques/modales. Pour la première phase, sur les 40 000 courriers envoyés, 7 235 questionnaires ont été retournés (taux de retour 18 %). Pour la seconde phase, sur les courriers envoyés aux répondants de la première phase, 3 720 d'entre eux ont répondu (taux de retour 51 %).

Méthodes et résultats attendus

Les étapes méthodologiques suivent notamment les principes de la time-geography (par ex. Hägerstrand, 1981), à savoir principalement la prise en compte de variables ressources en fonction du temps et de l'espace pratiqué, tout en faisant appel à des techniques géostatistiques. Ainsi, la *première étape* consiste à construire la chaîne de déplacement de chaque frontalier en fonction de la recension de douze motifs de déplacement. Ainsi, plus de 600 combi-

naisons de chaînes ont été comptabilisées. Afin de pouvoir les visualiser et les analyser, la *deuxième étape* a consisté à réduire le nombre de combinaisons en agrégeant les motifs de déplacement en trois motifs principaux : le domicile, le travail et les activités secondaires. Cette agrégation a permis de réaliser une première typologie de chaînes de déplacement. Finalement, les activités secondaires se positionnent dans le temps et dans l'espace en fonction des activités structurantes travail et domicile : entre le domicile et le lieu de travail (matin), entre deux périodes de travail (pause entre midi et deux), entre le travail et le domicile (fin de journée) ou encore après le retour au domicile (en soirée). Ces spécificités forment ainsi, dans une *troisième étape*, les variables permettant d'intégrer la dimension temporelle dans les analyses statistiques. Dans un *quatrième temps*, les chaînes de déplacements ont été géolocalisées à partir des lieux origine/destination, fournissant donc les informations nécessaires aux analyses spatiales, à la visualisation cartographique et aux analyses centrographiques des lieux d'activités fréquentés par les frontaliers, donnant ainsi un aperçu de leurs espaces de vie.

Ces étapes permettent de vérifier l'hypothèse de l'existence d'une relation entre les caractéristiques sociodémographiques des frontaliers, les temporalités et la dispersion dans l'espace des activités. Par conséquent, nous proposons de croiser les variables relatives aux caractéristiques sociodémographiques, aux chaînes de déplacement et aux ellipses (espaces de vie) issues des analyses centrographiques à travers différentes techniques multivariées.

Les **résultats** de cette typologie témoignent de la présence de deux points d'ancrage principaux, le domicile et le lieu de travail, dans l'articulation des déplacements des frontaliers. Plus précisément, l'analyse des chaînes montre que 54% des frontaliers réalisent seulement deux déplacements dans la journée, le premier pour se rendre au travail et le second pour revenir au domicile, constituant finalement le premier profil-type (domicile- travail-

domicile). Le reste des frontaliers (46%) réalise une ou plusieurs activités secondaires au cours de cette journée enquêtée. Parmi ces derniers se dégagent quatre autres profils-types de frontaliers : i) les hybrides (longues distances domicile-travail et un faible nombre d'activités), ii) les domo-centrés (espace de vie concentré autour du domicile et plus d'activités), iii) les intégrés (espace de vie transfrontalier, et activités réparties de manière équilibrée de part et d'autre de la frontière), et, enfin, iv) les dispersés (espace de vie éclaté) (Gerber et al., 2012).

Les analyses complémentaires en cours permettront de mesurer des relations éventuelles entre caractéristiques sociodémographiques, temporalités des activités et leur dispersion dans l'espace. Nous serons alors en mesure de caractériser, à l'aide de l'alliance originale des concepts de la time-geography, des analyses spatiales et multivariées, certaines composantes de la mobilité quotidienne au regard des plannings d'activités des frontaliers.

Références

Enaux C., Gerber P., 2008, Les déterminants de la représentation transnationale du bassin de vie. Une approche fondée sur l'attachement au lieu des frontaliers luxembourgeois, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, no.5, pp. 725-753.

Gerber P., Fleuret S., 2008, D'une approximation statistique à une approximation géographique : l'exemple d'une enquête santé à Luxembourg. In Guilbert P. Haziza D. Ruiz- Gazen A., Tillé Y. (dir.) – *Méthodes de sondage*. Paris : Dunod, p. 269-274.

Gerber P. Klein O. Drevon G. Enaux C., 2012, Intégration transfrontalière et géovi-

sualisation : des chaînes de déplacement aux profils-types des frontaliers. Communication au 49e colloque ASRDLF, Belfort, juillet 2012.

Hägerstrand T., 1981, Interdépendances dans l'utilisation du temps. *Temps libre*, 3, p. 53-68. MKW Wirtschaftsforschung GmbH, Empirica Kft. 2009. *Scientific Report on the Mobility of Cross-Border Workers within the EU-27/EEA/EFTA Countries*. Final Report. Report commissioned by European Commission, DG Employment and Social Affairs, 86 p.

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

Les formes de relevé des représentations énergétiques et leur influence sur un modèle multinomial de choix modal

Christophe ENAUX¹, Philippe GERBER²

¹Maître de conférences

Laboratoire Image, Ville, Environnement ERL 7230 Université de Strasbourg-CNRS

Faculté de Géographie et d'Aménagement

3, rue de l'Argonne 67000 Strasbourg

Courriel : christophe.enaux@live-cnrs.unistra.fr

Tél : (33) 03 68 85 09 75

²Chargé de recherche

Ceps/Instead, Département de Géographie et Développement (Géode)

3, Avenue de la Fonte L4364 Ech-sur-Alzette, Luxembourg

Courriel : philippe.gerber@ceps.lu

Tél : (352) 58 58 55 601

Mots-clefs - Recueil d'information, représentation, énergie, modélisation, Logit

Contexte et objectif

Depuis que la question du développement durable est devenue un enjeu majeur (Brundtland, 1987), des travaux s'attachent à mieux comprendre la manière dont s'articulent les dispositions environnementales et le comportement écologique des individus (Axelrod, Lehman, 1993; Axelrod, 1994; Hamid, Cheng, 1995). Des recherches dans le domaine des transports et des déplacements ont conduit à promouvoir la mobilité durable (Giorgi, 2004), c'est-à-dire des pratiques de mobilité spatiale plus économes en consommation d'énergie fossile et moins émettrices de polluants. Cette mobilité s'appuie ainsi sur le développement des mobilités douces (marche, vélo, etc.), sur celui de l'usage des transports en commun et, dans une moindre mesure, sur l'extension du covoiturage (Orfeuil, 2008).

Pour autant, si la finalité est posée, elle renvoie en amont à plusieurs aspects fondamentaux afin qu'une politique publique de développement durable puisse porter ses fruits. Il s'agit, d'une part, de cerner le niveau de contraintes et les degrés de liberté des individus face à l'utilisation des modes de transport et aux possibilités de changement et/ou de complémentarité de

logements, et d'autre part, de mieux comprendre les liens entre les représentations énergétiques des individus et leurs mobilités spatiales. Afin d'éclairer l'articulation du comportement et des représentations (Enaux, Gerber, 2008; Enaux, 2009), dans cette communication, *nous proposons d'approfondir la compréhension de l'usage des modes de transport en fonction des représentations énergétiques des individus, compte tenu de leur contexte résidentiel, des aspects sociodémographiques et socio-économiques, selon la perspective méthodologique suivante : le rôle joué par la forme du relevé des représentations dans leur contribution à un modèle logistique multinomial de choix modal.*

Données mobilisées

Pour cela, nous nous appuyons sur l'enquête Mobilité Frontaliers (EMF) du Luxembourg de 2011. Elle porte sur un échantillon représentatif (Gerber, Bienvenue, 2003; Gerber, Fleuret, 2008) du point de vue du pays de résidence (Allemagne, Belgique, France), des zones de travail et du genre des frontaliers à partir d'un ap-

pariement de fichiers administratifs issus de l'Administration des Contributions Directes et de la Sécurité Sociale du Luxembourg. L'enquête (phase 1) se compose d'un questionnaire principal (envoyé à 40000 frontaliers, avec un taux de retour de 20%) et d'un questionnaire plus spécifique sur des aspects liés à la mobilité résidentielle et aux représentations énergétiques/modales, envoyé uniquement aux répondants de la première phase (taux de retour 51%). Nous disposons ainsi d'une base de plus de 3700 répondants, permettant de saisir et d'éclairer les pratiques de mobilité (quotidienne, résidentielle), y compris dans leurs dimensions cognitives liées aux modes et aux représentations énergétiques, technologiques et environnementales.

Protocole d'analyse

L'EMF possède un aspect singulier, celui de questionner les répondants de différentes manières sur leurs représentations énergétiques. Il s'agit de questions fermées, dont les réponses sont relevées sur la base d'échelles de Likert (1932) et de questions ouvertes fondées sur la technique des associations libres produites à partir d'un mot « inducteur » (Abric, 2003). Selon cet auteur, cette technique présente de nombreux avantages : spontanéité des réponses, mots lourds de sens directement accessibles sans qu'ils soient noyés dans une production de discours.

Ces deux types de relevé des représentations fournissent deux variables indépendantes dont l'apport est comparé dans le cadre d'une modélisation du choix modal à partir de la mise en œuvre d'un modèle logistique multinomial. Le protocole d'analyse repose sur les trois étapes suivantes :

1. La construction d'un premier modèle de choix modal intègre les grandes dimensions classiques influençant le comportement : aspects sociodémographiques, aspects socioéconomiques, contexte résidentiel, etc., formant finalement les variables de « contrôle » du modèle ;

2. La seconde étape consiste à intégrer dans ce modèle, soit les représentations issues des questions fermées, soit les représentations dérivant des questions ouvertes, afin de saisir l'apport explicatif de chaque groupe de représentations.
3. Les deux modèles résultants de l'étape précédente sont comparés sur la base de différents indicateurs traduisant la qualité globale des modèles et l'apport des variables des représentations.

Résultats attendus et perspectives

Les résultats présentés tiennent compte d'un éclairage thématique et méthodologique. D'un point de vue thématique, la présentation des modèles issus de la seconde étape (cf. supra) révèlent notamment que les intentions de mise en œuvre d'un comportement « écologique », plus conforme aux aspirations de l'individu (représentation pro- environnementale) sont mises fondamentalement sous tension en fonction des choix résidentiels (impliquant une logique de temporalité longue), mais aussi, pour certains, du fait des contraintes quotidiennes (liées à une temporalité de court terme). D'un point de vue méthodologique, l'apport des deux techniques de recueil des représentations est discuté selon une perspective théorique et une perspective opérationnelle. Cet aspect est actuellement en cours d'étude.

Références

- Abric J.-C., 2003, Méthodologie de recueil des représentations sociales. In : Abric J.-C., Pratiques sociales et représentations, Presses Universitaires de France, 4e ed. (3ème tirage), pp. 59-82.
- Anderson J., Gerbing D., 1988, Structural equation modeling in practice : a review and a recommended two step approach, *Psychological bulletin* 103, pp. 411-423.
- Axelrod, L. J. & Lehman, D. R., 1993, Responding to environmental concern : what factors guide individual action ?, *Journal of Environmental Psychology*, vol. 13, pp. 149-159.
- Axelrod, L. J., 1994, Balancing personal needs with environmental preservation : identifying the values that guide decisions in ecological dilemmas, *Journal of Social Issues*, vol. 50, pp. 85-104.
- Enaux C., 2009, Processus de décision et Espace d'activités/déplacements. Une approche articulant routine cognitive et adaptation événementielle, *Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne]*, Espace, Société, Territoire.
- Enaux C., Gerber P., 2008, Les déterminants de la représentation transnationale du bassin de vie. Une approche fondée sur l'attachement au lieu des frontaliers luxembourgeois, *Revue d'économie régionale et urbaine*, vol. 5, pp. 725-752.
- Gerber P., Fleuret S., 2008, D'une approximation statistique à une approximation géographique : l'exemple d'une enquête santé à Luxembourg. In Guilbert P. Haziza D. Ruiz-Gazen A. Tillé Y. (dir.) – Méthodes de sondage. Ed. Dunod, Paris, p. 269-274.
- Gerber P, Bienvenue J.-Y., 2003, Echantillonnage spatial et difficultés de production de données d'enquête à l'échelle intra-urbaine : l'exemple de la Ville de Luxembourg. In : Ramadier T., Bronner A.-C. (eds). Techniques d'enquête. Actualité scientifique de la méthode et des outils. Actes effectués dans le cadre de l'école Thématique du laboratoire Image et Ville, 19-23 septembre 2003. Strasbourg : CNRS et CEMAGREF, 2005, [CD-ROM], Isbn : 2-9526014-0-2.
- Giorgi L., 2004, Sustainable mobility. Challenges, opportunities and conflicts – a social science perspective. *International Social Science Journal*, 55/176, pp. 179-183.
- Hamid, P.N., Cheng, S., 1995, Predicting anti-pollution behavior : the role of molar behavioural intentions, past behavior, and locus of control, *Environment and Behavior*, vol. 27, pp. 679-698.
- Likert R., 1932, A Technique for the Measurement of Attitudes, *Archives of Psychology*, vol. 140, pp. 1-55.
- Orfeuil J.-P., 2008, Une approche laïque de la mobilité. Paris, Descartes & Cie, 173 p.
- UNGA, 1987, Report of the World Commission on Environment and Development : Our Common Future.

Atelier 2

Développement durable et performance territoriale

Evaluer la durabilité des territoires Éléments de méthodologie pour une approche compensatoire

Vincent Hély, Jean-Philippe Antoni

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 – CNRS et Université de Franche-Comté
32 rue Mégevand – F25000 Besançon
vincent.hely@univ-fcomte.fr

Combiner les indicateurs du développement durable

Des indicateurs nombreux mais sectoriels

Comme d'autres domaines, les politiques d'aménagement du territoire sont guidées depuis deux décennies par les objectifs du développement durable. Énoncé 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 ont ainsi été identifiées, dans lesquelles le concept doit se répercuter : l'économique, le social et l'environnemental. À partir de cette base, 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, notamment dans les politiques d'aménagement et d'urbanisme.

Ainsi, les principaux enjeux résident actuellement dans la capacité à imaginer une gouvernance plus efficace basée sur une participation accrue des acteurs locaux et des citoyens (experts, élus, société civile), laquelle nécessite une meilleure lisibilité des données et des informations relatives

aux problématiques du développement durable. Dans ce contexte, de nombreuses études, dont certaines mobilisent la modélisation, recourent à la construction d'indicateurs territoriaux spécifiques (Lautso et al., 2004). Toutefois, ce processus semble aujourd'hui s'essouffler, notamment en raison de la difficulté des décideurs à utiliser ces indicateurs dans une démarche globale prenant en compte l'ensemble des sphères du développement durable. (Pachauri, 2012).

Une combinaison nécessaire

En effet, si les indicateurs de développement durable se multiplient depuis les années 1990, ils ne caractérisent généralement que l'une des trois sphères, et rares sont les approches théoriques qui précisent comment les combiner pour évaluer la durabilité des territoires de manière complète (Li et al., 2008). Pour pallier ce problème, nous proposons de positionner ces indicateurs dans sept catégories, en partant des croisements entre les sphères indiqués dans le schéma issu du rapport de G.H. Brundtland. Ces croisements peuvent alors se formaliser dans le cadre de la théorie des ensembles, et s'interpréter comme des intersections de différents niveaux de combinaison (Figure 1) permettant de déduire les compensations nécessaires pour atteindre celui de durabilité maximale (au centre).

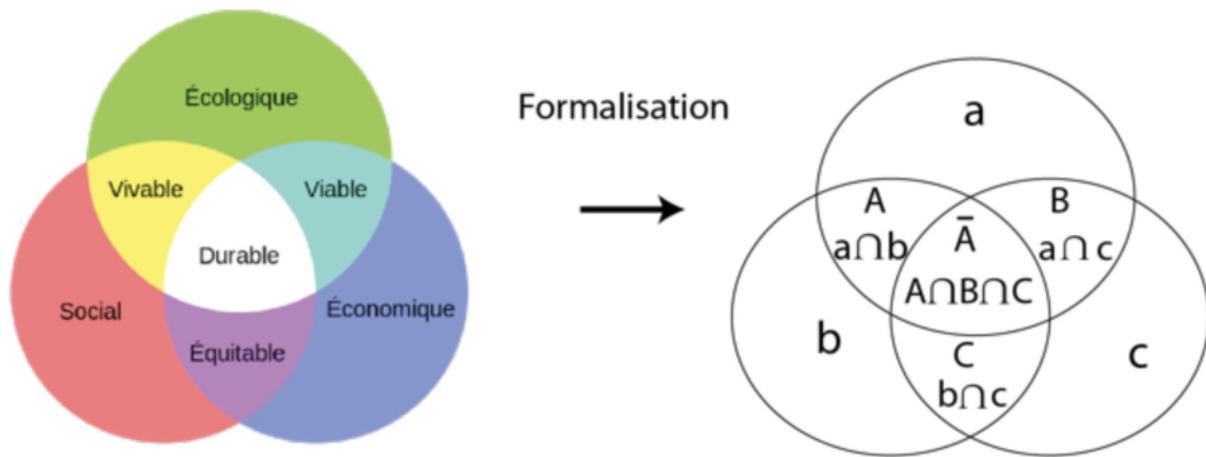


FIGURE 1 – Les trois sphères du développement durable (à gauche) et leur formalisation dans le cadre de la théorie des ensembles (à droite.)

Cela étant, la notion d'indicateur reste en elle-même assez vague. Tanguay et al. (2009) la considèrent comme une donnée ou une variable observée dont le rôle dans l'évaluation d'un phénomène a été établi. Par exemple, les données brutes concernant un taux de chômage deviennent un indicateur lorsque l'on sait dans quelles proportions elles constituent un phénomène jugé bon ou mauvais dans l'évaluation de la performance économique. L'indicateur trouve ainsi un rôle d'interface entre la donnée brute et la gouvernance (Newton, 2001 ; Lautso et al., 2004), permettant aux décideurs de disposer d'une information quantifiée pour évaluer une situation. Dans ce contexte, deux enjeux relatifs au traitement des indicateurs se dégagent :

- celui de leur évaluation permettant leur interprétation et leur exploitation. Se pose alors la question de l'étendue des valeurs données par chaque indicateur : s'agit-il d'une logique binaire (0 ou 1, un élément est jugé soit totalement bon soit totalement mauvais) ou bien d'une logique graduelle, qui représenterait une progressivité dans l'appréciation des valeurs renseignées par l'indicateur (niveaux intermédiaires : moyen, assez bon, etc.) ;
- celui de l'agrégation des données : chacune des sphères s'appuyant sur un grand nombre d'indicateurs, comment les synthétiser pour dégager une vision globale

et envisager un équilibre entre les trois sphères ?

Evaluation graduelle et agrégation

Pour répondre à ce double enjeu, nous proposons d'étudier la durabilité d'un territoire en analysant l'espace à partir d'un certain niveau d'échelle (IRIS ou quartier d'une ville par exemple) où chaque maille serait évaluée à partir d'indicateurs relatifs aux trois sphères citées plus haut, puis de les agréger afin de caractériser les mailles par rapport aux objectifs du développement durable.

Le besoin d'une logique graduelle

La complexité du monde réel et, dans certains cas, la nature des indicateurs retenus (qualité d'accès aux espaces verts, niveau d'emploi, consommation énergétique, etc.) tendent à nous éloigner d'une logique binaire qui verrait s'opposer des espaces « totalement bons » à des espaces « totalement mauvais ». De ce fait, il est souvent préférable de privilégier des indicateurs « à logique graduelle », dont l'évaluation (« bon » ou « mauvais ») dépendrait d'un seuil de nature variable.

Pour intégrer ce caractère graduel, il est possible de recourir à la logique floue

(Zadeh, 1965), qui permet de prendre en compte des « situations intermédiaires entre le tout et le rien » (le « bon » ou le « mauvais » dans le cadre de nos indicateurs). Chaque élément est alors associé à un degré d'appartenance plus ou moins élevé à une classe, dans un intervalle compris entre 0 et 1, ces deux points extrêmes correspondant au cas particulier des valeurs booléennes « vrai » (1) et « faux » (0) (Zimmermann, 1985 ; Tannier, 2000). La question est alors de savoir comment s'organise la gradualité (quel type de seuil ?) et à partir de quand elle témoigne d'un phénomène évalué comme « bon » ou comme « mauvais ».

Différentes agrégations possibles

Dans un second temps, la synthèse de l'évaluation des indicateurs doit produire une information permettant de caractériser la performance globale de chaque maille de l'espace étudié par rapport aux trois sphères du développement durable, ce qui revient à agréger les indicateurs de chacune des sphères en une sorte d'indicateur général caractérisant la dimension économique, sociale et environnementale de chaque maille. Ici, le recours aux moyennes généralisées (arithmétique, géométrique et quadratique) semble opportun pour comparer les différences pouvant apparaître selon la moyenne utilisée et d'en déduire laquelle semble la plus appropriée pour nos travaux¹. Cette méthode permet de construire un indicateur synthétique pour chacune des sphères, sur lequel il est possible de s'appuyer pour caractériser chaque maille de l'espace dans une des sept catégories identifiées plus haut, ou dans une huitième pour

les espaces ne présentant strictement aucun aspect « durable ».

Un outil théorique pour une aide à la décision

Terrain théorique et tests

Pour tester la méthodologie, nous imaginons un maillage territorial représenté par une grille de 9*9 cellules. Pour chacune des trois sphères, nous créons trois indicateurs théoriques (dont les valeurs sont comprises entre 0 et 10) que nous distribuons progressivement ou aléatoirement pour chaque cellule de la grille (Figure 2, à gauche). Chacun de ces trois indicateurs est alors évalué comme étant « bon », « moyen » ou « mauvais », selon des seuils construits de manière différente : une fonction linéaire croissante, le centre de l'intervalle, une fonction logarithmique décroissante (Figure 2, en haut à droite). Ce terrain d'étude théorique permet ainsi de reproduire une situation dans laquelle chaque indicateur possède une évaluation qui lui est propre.

Les indicateurs ainsi évalués sont ensuite agrégés par le recours aux moyennes évoquées plus haut de manière à produire un indicateur synthétique (Figure 3, à droite). Chaque cellule de la grille obtient ainsi une valeur globale pour chacun des domaines du développement durable. Ensuite, la combinaison des trois indicateurs globaux permet de répartir chaque cellule dans l'une des sept catégories du développement durable (Figure 3, en bas) à partir d'un seuil en fonction duquel la valeur de l'indicateur global est considérée comme bonne ou mauvaise.

1. Souhaite-t-on par exemple une méthode « pessimiste » donnant une valeur éliminatoire à un mauvais indicateur, ou au contraire une méthode « optimiste » tendant à mettre en valeur les indicateurs positifs ?

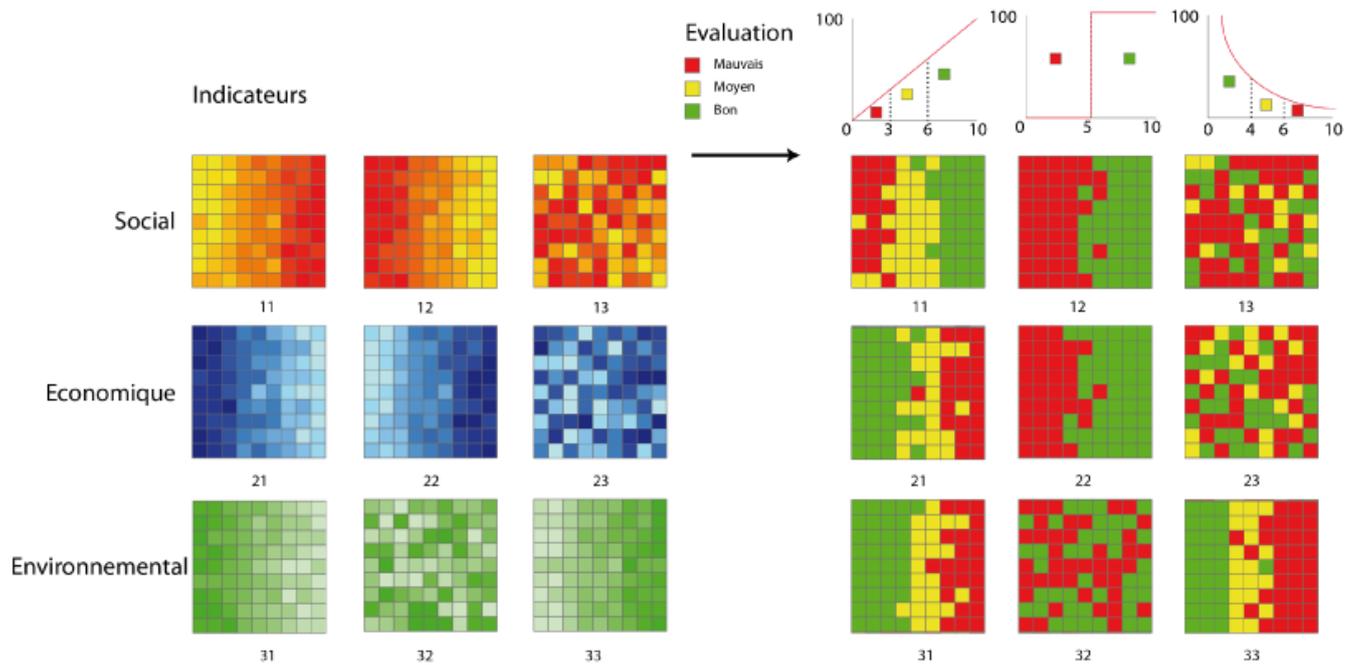


FIGURE 2 – Distribution et évaluation des indicateurs

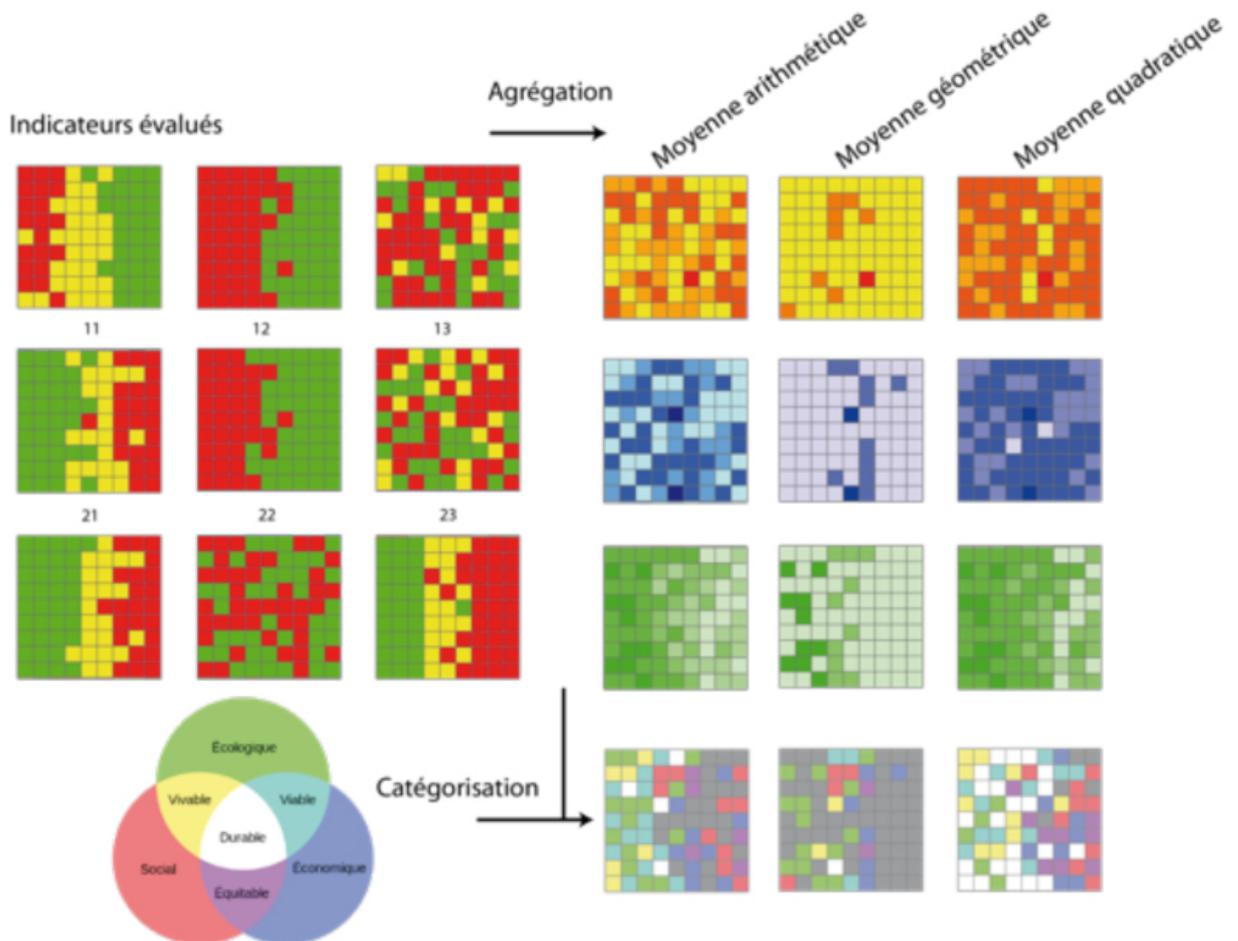


FIGURE 3 - Processus d'agrégation et de catégorisation

Résultats et perspectives

La méthode produit une information synthétique qui permet de catégoriser chaque maille de l'espace par rapport aux sphères de développement durable. Cette information constitue également un outil d'aide à la décision dans la mesure où elle permet aux décideurs d'identifier les compensations nécessaires pour atteindre l'objectif de durabilité territoriale. En effet, quatre types d'espaces se distinguent (Figure 4, en haut) : ceux ne nécessitant aucune, une,

deux ou trois compensation(s). Pour autant, il faut être conscient que ces résultats diffèrent fortement en fonction de la méthode d'agrégation retenue : la moyenne géométrique produit un résultat plutôt « pessimiste », la moyenne quadratique est plutôt « optimiste », et la moyenne arithmétique se situe à peu près entre les deux. En prolongement, le calcul de l'autocorrélation spatiale (Goodchild, 1989) permettrait probablement de mieux identifier les écarts qui les séparent.

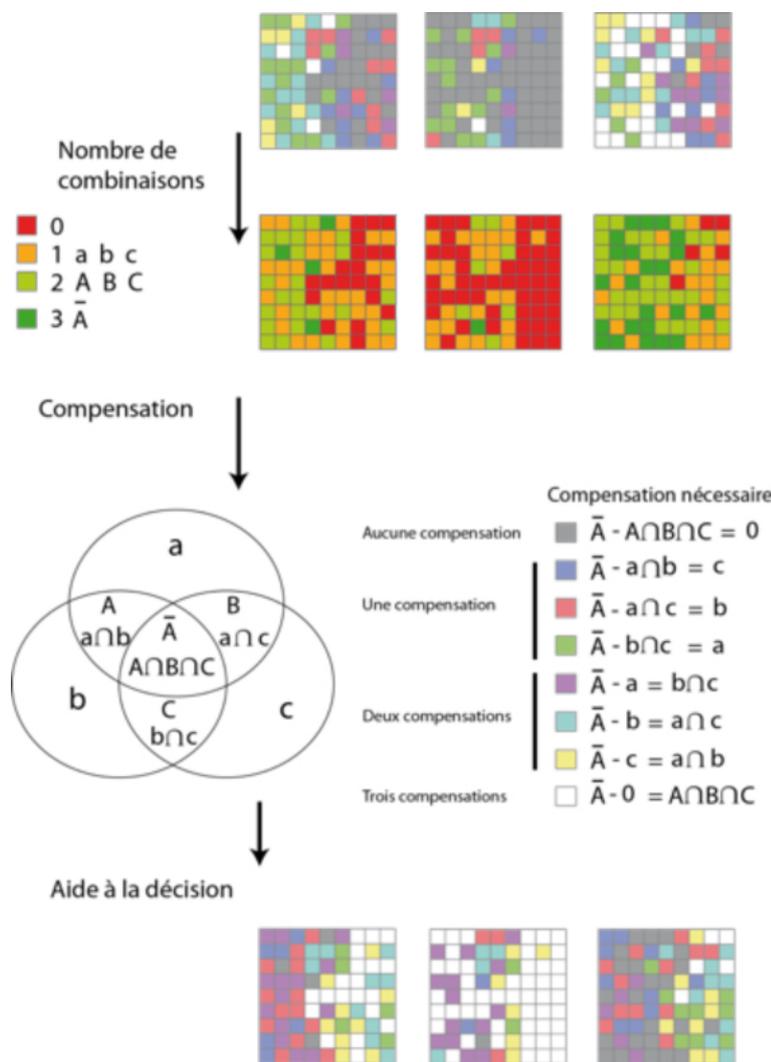


FIGURE 4 – Combinaisons et évaluation des compensations nécessaires

Ces écarts permettent en effet de prendre en compte le poids et l'importance que les décideurs souhaitent apporter à chaque in-

dicateur : une mauvaise évaluation est-elle éliminatoire ? Sur quels critères baser une démarche de correction ou de compensa-

tion ? A ce titre, la création d'un indicateur « compensatoire » évaluant les compensations possibles (Figure 4, milieu et bas) dans chaque sphère apparaît comme un débouché possible de ces travaux (Ministère de l'écologie, 2011). Par ailleurs, la fixation des seuils d'évaluation doit s'appuyer sur des études empiriques (enquêtes par exemple) menées auprès des acteurs et des individus concernés, permettant ainsi

une meilleure implication des experts, des élus et de la société civile (cf. 1.1). Enfin, ces résultats posent également la question de l'échelle à laquelle les indicateurs doivent être construits : le maillage pourrait être agrégé à d'autres échelles. Ici, le MAUP (Openshaw, 1981) et la décomposition fractale proposée par P. Frankhauser (1993) se posent naturellement comme des prolongements à ces travaux.

Références

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

Goodechild M., 1989, *Spatial Autocorrelation*. Geobooks, Norwich, 56 p.

Lautso K., Spiekermann K., Wegener M., Sheppard I., Steadman P., Martino A., Domingo R., Gayda S., 2004, PROPOLIS, Final report, DG Research, 368 p.

Li F., Liu X., Hu D., Wang R., Yang W., Li D., Zhao D., 2008, Measurement indicators and an evaluation approach for assessing urban sustainable development : A case study for China's Jining City, *Landscape and Urban planning*, 90, 134-142.

Ministère de l'écologie, 2011, *L'offre de compensation : quand les outils économiques viennent au secours de la biodiversité (construction, urbanisme, aménagement et ressources naturelles)*. Appel à projet lancé en juin 2011.

Newton P., 2001, Urban indicators and the management of cities, Cities databook, Asian development Bank.

Openshaw, S. and Taylor, P.J., 1981, The modifiable areal unit problem, in : *Quantitative geography : a British View*, (eds) N.

Wrigley and R.J. Bennett, (Routledge and Kegan Paul : London), 60-70.

Pachauri R., 2012, *Scientific assessment of climate change and policy options*, Intervention dans le cadre du colloque « Deuxièmes rencontres internationales de Reims ».

Tanguay G., Rajaonson J., Lefebvre J-F., Lanoie P., 2009, Measuring the sustainability of cities : An analysis of the use of local indicators, *Ecological Indicators*, 10, 407-418.

Tannier C., 2000, *Les localisations commerciales de détail en milieu urbain – Mieux connaître, par la modélisation, pour mieux aménager*, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 334 p.

World Commission on Environment and Development, 1987, *From One Earth to One World : an Overview*, Oxford : Oxford University Press, 23 p.

Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy sets. *Information and control*, 8, 338-353.

Zimmermann H.J., 1987, *Fuzzy set theory and its application*, Kluwer Academy Publisher, 335 p.

Comparaison quantifiée des performances environnementales de différents systèmes de transport.

Cas des transports à la demande et des véhicules personnels

Julie Prud'homme, Didier Josselin, Cyrille Genre-Grandpierre

UMR CNRS 7300 ESPACE

Université d'Avignon

Mots-clefs - GREEN-DRT, émissions de polluants, forme du réseau routier, TAD

En réponse aux préoccupations environnementales actuelles, les pouvoirs publics cherchent à réduire autant que possible les émissions de polluants provoqués par les véhicules automobiles. Une des solutions est de mettre en place des systèmes de transport flexibles et collectifs capables potentiellement de regrouper les passagers et donc réduire les distances véhicule parcourues. Le Transport à la Demande (TAD) en fait partie. En effet, en favorisant une réduction du nombre de véhicules en circulation avec le regroupement des voyageurs dans les véhicules, il semble être désigné pour être une solution à la question environnementale des transports [Ambrosino et al., 2004]. Si sa pertinence sociale ne fait guère de doute en permettant le désenclavement de personnes captives [Castex, 2007], son intérêt environnemental, du point de vue des quantités de polluants produites par sa mise en œuvre, n'est pas avéré. En 2007, Marco Diana a montré que la pertinence des TAD par rapport à l'usage de bus sur des lignes fixes tient principalement à la différence de taille des véhicules mais que les distances parcourues par les véhicules du TAD sont plus importantes [Diana et al., 2007]. Les détours nécessaires pour regrouper les voyageurs dans les véhicules ajoutent des kilomètres parcourus et autant de polluants dans l'air. Il est donc nécessaire de quantifier les gains en termes de quantités de polluants émises par rapport à l'usage du véhicule personnel pour les mêmes déplacements.

Pour cela, nous avons mis en place un modèle d'émissions qui inclut comme para-

mètres les vitesses pratiquées, les distances parcourues, la température ambiante, les accélérations provoquées par la variation de la vitesse-limite autorisée sur les tronçons du réseau et la distance parcourue jusqu'à ce que le moteur atteigne la température idéale pour la combustion du carburant. Ce modèle, GREEN-DRT [Prud'homme et al., 2011], est adapté des différents travaux effectués dans le cadre du projet européen COPERT [Joumard et al., 1995; Hickman et al., 2003; Ntziachristos, Samaras, 2009; André, Rapone, 2009].

Certains des paramètres du modèle COPERT sont directement liés aux caractéristiques du réseau routier. Celui-ci peut ainsi être considéré comme étant un paramètre à part entière dans la quantité et la localisation des émissions de polluants produites. Nous avons donc créé un modèle (GREEN-DRT) qui permet de considérer chaque tronçon de route avec leurs caractéristiques. À partir de celles-ci, les émissions de polluants produites par chaque véhicule sont calculées sur chaque tronçon emprunté. On considère également la position relative des tronçons dans le trajet effectué par le véhicule, ce qui permet de calculer des surémissions potentielles de polluants. Par exemple, pour un même tronçon, selon qu'il est emprunté en début de trajet ou à la fin (ou au milieu), on calculera des surémissions éventuelles liées à la trop faible température du moteur pour obtenir une combustion complète du carburant. Le calcul des émissions à l'échelle du tronçon de route permet de les cartographier sur le réseau et ainsi identifier d'éven-

tuelles concentrations ou points chauds. Le modèle GREEN-DRT permet de comparer les émissions de polluants provoquées par la mise en œuvre de différents types de systèmes de transport mobilisables sur différents types de réseaux. En 2012, nous avons mis en évidence l'impact des vitesses appliquées sur un réseau routier sur les quantités de polluants émis et leur localisation [Prud'homme et al., 2012].

Nous sommes donc en capacité de comparer les performances environnementales des TAD par rapport à l'usage des véhicules personnels. Il en ressort que la pertinence environnementale des TAD est fortement conditionnée par différents paramètres. En effet, la localisation des dépôts s'avère être

une question primordiale pour minimiser les distances d'approche des véhicules. La masse des demandes, et donc des flux, a aussi son importance en augmentant significativement la probabilité que deux déplacements soient compatibles, évitant ainsi des trop longues distances « à vide » parcourues par le véhicule. Une approche de type covoiturage pourrait alors être économe du point de vue des émissions de polluants atmosphériques.

Nous proposons de présenter une comparaison des performances environnementales (en quantité de polluants émis) de l'utilisation de TAD et des véhicules personnels, de manière classique ou en covoiturage, pour une même demande de mobilité.

Références

G. Ambrosino, J.D. Nelson, M. Romanazzo. Demand responsive transport services : towards the flexible mobility agency. ENEA edn, 2004.

M. André, M. Rapone. Analysis and modelling of the pollutant emissions from European cars regarding the driving characteristics and test cycles. *Atmospheric Environment*, 43, 986-995, 2009.

É. Castex. Le Transport À la Demande (TAD) en France : de l'état des lieux à l'anticipation. Modélisation des caractéristiques fonctionnelles des TAD pour développer les modes flexibles de demain. Thèse de doctorat de Géographie, Université d'Avignon, 2007.

M. Diana, L. Quadrioglio, C. Pronello. Emissions of demand responsive services as an alternative to conventional transit systems. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 12(3), 183-188, 2007.

J. Hickman, D. Hassel, R. Joumard, Z. Samaras, S. Sorenson. Environment, energy and transport. Written material extended

version by EU-PORTAL, Transport teaching material, based on MEET and COST results, 2003.

R. Joumard, R. Vidon, C. Pruvost, P. Tassel, G. De Soete. Évolution des émissions de polluants des voitures particulières lors du départ à froid. *Science of The Total Environment*, 169(1-3), 185-193, 1995

L. Ntziachristos, Z. Samaras. Exhaust emissions from road transport. EMEP/EEA emission inventory Guidebook – COPERT program, 2009.

J. Prud'homme, D. Josselin, J. Aryal. Quantitative Analysis of Pollutant Emissions in the Context of Demand Responsive Transport - In B. Murgante, O. Gervasi, A. Iglesias, D. Taniar, & B. O. Apduhan (Éd.), *Computational Science and Its Applications - ICCSA 2011* (Vol. 6782, p. 439-453). Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2011.

J. Prud'homme, C. Genre-Grandpierre, R. Prud'homme. Impact of road network structure on pollutant emissions : Illustration for a Demand Responsive Transport system. Proceedings of the AGILE'2012 International Conference on Geographic Information Science, Avignon, 24-27 Avril 2012.

La marche en ville : accessibilité et dépense énergétique

Nadja Victor^{1,2}, Thierry Joliveau¹, Olivier Klein²

¹Laboratoire EVS ISTHME UMR 5600 de l'université Jean Monnet (Saint-Etienne, France)

²CEPS/INSTEAD (Esch-sur-Alzette, Luxembourg)

Mots-clefs - piéton, marche, dépense énergétique, cartographie, effort

Appartenant aux modes dits "actifs" au même titre que le vélo ou les rollers (Hiron et Mariotto, 2010), la marche est un mode de déplacement dépourvu de motorisation, non consommateur d'énergie fossile et non polluant. Aussi, ce mode requiert-il une dépense énergétique plus importante de la part de l'utilisateur. Ces modes actifs ont également un usage multi-utilitaire permettant, non seulement, de rallier un lieu tout en exerçant une activité physique positive sur la santé (Banister, 2008 ; OMS, 2012), mais aussi, d'avoir un temps de pause et de relaxation dans sa journée pour se rassembler (Le Breton, 2000). Après une brève définition de la marche, cette communication a pour objectifs, d'une part, de questionner la dépense énergétique requise lors d'un déplacement et, d'autre part, de proposer des représentations cartographiques adaptées.

La marche, un mode de déplacement en soi

La marche est un mode de déplacement, consistant en une translation de l'ensemble du corps, consécutif à des mouvements de rotations segmentaires. Elle résulte d'une activité alternée des deux membres inférieurs, assurant à la fois le maintien de l'équilibre et la propulsion (Outrequin, 1991). Sa réalisation semble simple à l'utilisateur valide qui peut l'exécuter de manière innée. Celle-ci répond à plusieurs exigences telles que (1) propulser le corps vers l'avant, (2) maintenir l'équilibre en conditions statique et dynamique et (3) coordonner la posture et l'équilibre tout en s'adaptant aux contraintes de l'environnement extérieur (Faivre, 2003). Acte du quotidien, la

marche est un mode de déplacement qui met son usager en confrontation directe avec son environnement et qui nécessite une dépense énergétique variable en fonction du milieu (Papon, 2002 ; Héran 2011). En effet, la présence de pentes ou de marches d'escaliers réclame un coût énergétique supplémentaire pour le franchissement. De fait, ces dépenses d'énergie induisent une volonté de la part des usagers piétons de minimiser systématiquement leurs efforts lors d'un déplacement (Steadman, 2004). La marche est ainsi d'avantage pratiquée pour des trajets de proximité dans les milieux intra-urbains en complément des transports collectifs (Papon, 2003), notamment dans les premiers et derniers kilomètres des déplacements quotidiens (ICMA, 2012).

Estimation et modélisation des dépenses énergétiques lors d'un déplacement piéton

La modélisation du réseau pédestre par l'intermédiaire de systèmes d'information géographique offre la possibilité d'étudier la dépense énergétique mobilisée par un usager piéton lors de ses déplacements. Cette modélisation repose sur une estimation de la dépense énergétique requise lors d'un déplacement complétée par les dépenses d'énergie supplémentaires mobilisées pour franchir une barrière (Héran, 2011). A ce stade du projet, cette estimation linéaire ne prend pas en compte l'augmentation de la dépense d'énergie consécutive à la fatigue causée par le temps de déplacement. Toutefois, elle offre une première approche concluante permettant d'exprimer les dépenses d'énergie engagées lors d'un dépla-

ement piéton. Par exemple, un piéton pesant environ 70 kg se déplaçant en moyenne à 5 km/h dépensera environ 53 J/m pour avancer sur un terrain plat en l'absence de vent. Confronté à un arrêt, un redémarrage ou une pente ascendante, cet individu dépensera une énergie supplémentaire impactant directement l'effort et le ressenti du piéton quant aux distances à parcourir. Dans notre approche, les estimations retenues s'appuient sur un calcul de dépense énergétique tel que le propose le biomécanicien François Piednoir (2008). Celui-ci tient simultanément compte de l'énergie potentielle gravitationnelle, de l'énergie dépensée pour lutter contre les frottements, auxquelles s'ajoutent des dépenses spécifiques liées à la mécanique de la marche comme le balancement des membres en oscillation, le maintien de l'équilibre, l'amortissement du poids du corps quand le talon touche le sol et les pertes d'énergies cinétique à chaque enjambée (Héran, 2011). Ces trois paramètres caractérisant la dépense énergétique sont définis comme suit : 53J/s ou 1 m en plus pour une attente, 68 J/m ou 1,20 m en plus pour un redémarrage et 687 J/m ou 13 m en plus pour une élévation.

En cherchant à caractériser spatialement la dépense énergétique, il est indispensable d'implémenter les paramètres définis précédemment dans le SIG, au niveau des pentes et des lieux de traversée. Ainsi, à partir d'un modèle numérique de terrain, des valeurs de pente peuvent être affectées à chaque tronçon du réseau afin d'évaluer, ensuite, l'effort à produire exprimé en J/m ou en mètre tenant compte d'un allongement de parcours. Dans une seconde étape, l'identification de franchissements de rues, conventionnels ou non, permettent d'intégrer les équivalences énergétiques liées aux temps d'attente et aux redémarrages. Le SIG proposé intègre aussi bien des traversées sur passages piétons que des traversées dites "à la sauvage". Ces dernières représentent la tendance des piétons à traverser les rues parfois au mépris du code de la route et de leurs sécurités. Lors de la création du réseau pédestre, des règles de conduite spécifiques ont été élaborées et

implémentées (Victor, 2010) : "(1) Un piéton empruntera prioritairement un passage piéton, pour traverser, si ce dernier se situe à moins de 10 m de sa position et (2) si la chaussée est une deux fois deux voies, un piéton choisira de ne pas traverser hors des passages piétons". Finalement, à l'instar de l'énergie dépensée dans une situation de pente, des équivalences en énergie consommée sont calculées pour chaque situation de traversées en y incorporant successivement un arrêt, une attente et un redémarrage avant chaque franchissement.

Vers d'autres formes de visualisation de l'accessibilité piétonne

Associée à cette modélisation, la cartographie des dépenses énergétiques, exprimant l'effort à produire par un usager piéton, donne l'opportunité d'aboutir à des formes de représentations cartographiques relativement variées. Si habituellement les cartes d'accessibilité spatialisent un coût relatif d'accès, généralement exprimé en temps, les cartes d'effort proposées dans cette communication cherchent à spatialiser un coût énergétique lié au déplacement piéton exprimé en joule. Une telle approche permet d'envisager une nouvelle série de cartes d'accessibilité : cartes d'itinéraires tenant compte de l'effort, cartes isoplèthes d'effort, voire anamorphoses (images de l'espace fonctionnel lié à une matrice des temps basée sur la dépense énergétique de l'usager). Parmi cette série de cartes pouvant être produite, les cartes isoplèthes d'effort offrent la possibilité de représenter l'accessibilité intra-urbaine à travers des lignes joignant des points d'égale dépense énergétique, exprimée en joules. Une telle représentation permet de rendre visible les zones urbaines les plus facilement accessibles et, au contraire, celles nécessitant un effort bien plus intense.

Dans cette approche, la carte apparaît comme un outil révélateur de structures spatiales non directement visibles sur le terrain (Antoni et al., 2004). A ce stade du projet, de telles cartographies offrent

la possibilité d'identifier d'une part les zones d'accessibilité enclavées par manque de connectivité au réseau et d'autre part d'identifier les zones caractérisées par des barrières importantes pour l'utilisateur piéton. Le recours à une cartographie de la dépense énergétique d'un piéton permet de poser un autre regard sur la ville et de faire émerger un certain nombre d'obstacles

et de difficultés à franchir. Cette première amorce, qui s'appuie sur un usager piéton n'ayant aucune difficulté de déplacement, montre le potentiel de l'approche. Elle sera ensuite ouverte et adaptée à différents types d'utilisateurs, notamment plus vulnérables, pour mettre en lumière les inégalités d'accès à un espace en fonction de leurs caractéristiques.

Références

- ANTONI J.P., KLEIN O. MOISY S. (2004). "Cartographie interactive et multimédia : vers une aide à la réflexion géographique", *Cybergeo : European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 288, mis en ligne le 21 octobre 2004, <http://cybergeo.revues.org/index2621.html>.
- BANISTER D. (2007). "The sustainable mobility paradigm", *Transport policy*, vol.15, p. 73-80
- FAIVRE A. (2003). *Conception et validation d'un nouvel outil d'analyse de la marche*, Université de Franche-Comté, Équipe Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives, thèse non publiée.
- HERAN, F. (2011). *La ville morcelée : Effets de coupure en milieu urbain*, Paris, Economica.
- HIRON B. et MARIOTTO M. (2012). Vélo et marche : modes doux ou modes actifs?. CERTU http://www.certu.fr/fr/_S%C3%A9curit%C3%A9_et_circulation_routi%C3%A8res-n28/V%C3%A9los-n117/Velo_et_marche_modes_doux_ou_modes_actifs_-a1846-s_article_theme.html. (consulté le 04-12-2012)
- ICMA. (2012). *Improving Connectivity and Mobility Access (ICMA) - Bridging the Mobility Gap for a mobilife in Northwest-Europe*, <http://www.icma-mobilife.eu>, consulté le 5 décembre 2012
- LE BRETON D. (2000). *Éloge de la Marche*, Paris, Éditions Métailié.
- OMS – Organisation Mondiale de la santé – (2012). "Quelques idées reçues concernant l'exercice physique". http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_myths/fr/index.html (consulté le 16 novembre 2012).
- OUTREQUIN G. (1991). *Anatomie fonctionnelle de la posture et de la marche*, Paris.
- PAPON, F. (2002). "La marche et le vélo : quels bilans économiques pour l'individu et la collectivité?", *Transport*, 3 parties, n° 412, n°413 et n°414.
- PAPON, F. (2003). "La ville à pied et à vélo" dans D. PUMAIN Denise et M-F. MATTEI (dir.), *Données Urbaines 4*, Paris, Anthropos, p. 75-85.
- STEADMAN, P. (2004). "Developments in space syntax", *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol. 31, p. 483-486.
- VICTOR, N. (2010). *Modélisation de l'Accessibilité piétonne à Luxembourg-ville*. Laboratoire CRENAM, Université Jean Monnet, Saint-Etienne. Mémoire de Master 2 SIG et Gestion de l'Espace.

Atelier 3

Systemes de ville et dynamiques urbaines

La « complexe » organisation du système urbain indien

Joël Querci, Sébastien Oliveau

Aix-Marseille Université, UMR 7300 ESPACE

joel.querci@univ-amu.fr

sebastien.oliveau@univ-amu.fr

Mots-clefs - Système urbain, complexité, résilience spatiale, Inde

Introduction

En 2011, trois des dix plus grandes villes au monde étaient indiennes (Delhi, Mumbai et Kolkata) (United Nations, 2012). En dix ans, ce pays a vu son nombre de villes millionnaires passer de 35 à 46. Ainsi, à l'heure actuelle, la population urbaine indienne dépasse les 377 millions d'urbains. L'histoire de l'Inde nous montre que la trame urbaine historique a dû faire face à deux perturbations qui l'ont durablement transformée : la colonisation britannique d'une part ; l'entrée de l'Inde dans la mondialisation d'autre part. L'étude de l'évolution du système urbain indien nous a montré qu'il est équilibré à l'échelle nationale mais qu'il présente des situations de primaties -voire de macrocéphalies- urbaines à l'échelle régionale (Querci, Oliveau, 2011). Ces constats nous ont amené à développer une réflexion plus théorique sur l'organisation du système urbain indien et sur les processus systémiques contribuant à son évolution.

Ce travail de recherche s'intéressera d'abord à la nature complexe du système urbain indien puis posera les bases de son organisation, ce qui nous permettra de mettre en évidence certains des processus systémiques à l'œuvre.

La complexité du système urbain indien

Un système complexe peut être défini comme un système composé d'un grand

nombre d'éléments en interaction, la multiplicité des interactions rendant compte de la complexité du système (Zwirn, 2006). Il ne peut être, à un instant donné, entièrement compris (De Rosnay, 1975) et en son sein se développent des phénomènes d'auto-organisation et l'apparition de structures émergentes (Ferber, 1995).

Cette définition synthétique d'un système complexe nous permet de souligner la complexité du système urbain indien. En effet, nos travaux nous ont permis de mettre en évidence la multiplicité des éléments qui le composent. C'est en ce sens qu'à un instant donné nous ne pouvons comprendre l'intégralité des interactions entre les différents éléments du système. Qui plus est, nous ne pouvons comprendre l'intégralité des interactions sans prendre en compte les jeux d'échelles. Il a été montré que le système urbain indien était composé de sous-systèmes possédant leurs propres dynamiques (Querci, Oliveau, 2011). Cette situation régionalement déséquilibrée et nationalement stable met en exergue la complexité des rapports multiscalaires.

L'organisation complexe du système urbain indien

La figure 1 présente de manière schématique l'organisation du système urbain indien telle que nous pouvons la comprendre pour le moment. Elle montre avec davantage de force la multiplicité des interactions et le rôle des jeux d'échelles.

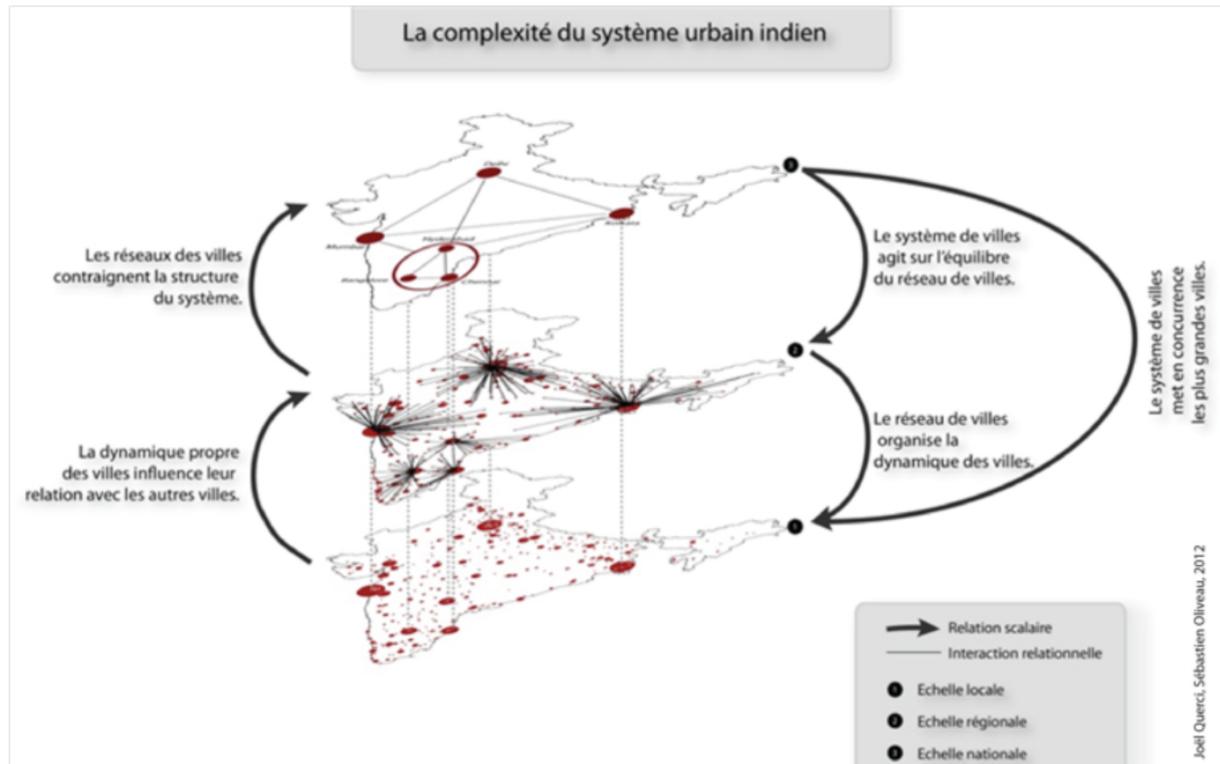


FIGURE 1 – L'organisation complexe du système urbain indien.

Le système urbain indien est composé d'un grand nombre de villes en interactions, différentes selon le niveau d'observation géographique choisi. Nous retrouvons par conséquent sur ce schéma les éléments précédemment évoqués qui nous permettent de montrer la complexité du système. D'une part, la multiplicité des éléments du système et d'autre part, la multiplicité des interactions multiscalaires. Ces phénomènes d'interactions multiscalaires vont être au centre de l'évolution du système urbain avec l'existence d'interactions à trois échelles : à l'échelle locale (en considérant « la ville comme un système au sein d'un système de villes » Berry, 1964) ; à l'échelle des sous-systèmes urbains qui connaissent des situations de primatie urbaine ; à l'échelle du système global par les interactions entre les principales métropoles indiennes tendant vers une structure fédérale.

Nous pouvons ainsi poser les premières bases du mécanisme systémique du système urbain indien. Tout d'abord localement, la dynamique propre d'une ville va

grandement influencer les relations qu'elle va entretenir avec les autres villes du système. Régionalement, ces villes vont s'organiser autour de quelques grandes métropoles dont les interactions vont contraindre la structure fédérale du système à l'échelle du pays. En retour, le système urbain indien va agir sur l'équilibre du réseau urbain qui va, depuis sa structuration régionale, organiser la dynamique des villes. Le système urbain va également mettre en concurrence les plus grandes villes indiennes, influençant directement l'organisation des villes et leurs dynamiques à l'échelle locale (Pumain D. et al., 2007).

Ces phénomènes d'interactions, qu'ils soient multiscalaires ou non, ne sont pas les seuls phénomènes systémiques. Si nous nous arrêtons là, la démonstration de la complexité du système urbain serait satisfaisante mais incomplète. L'analyse des sous-systèmes nous a permis de montrer que depuis les années 1950 et plus visiblement depuis les années 1970, le système urbain tend à retrouver une forme d'équilibre structurel par la résorption progres-

sive des différentes situations de primaties urbaines régionales. Ce retour progressif à la stabilité par le système se vérifie par une modification des logiques urbaines depuis les années 1970. A partir de cette période, le développement urbain a eu pour but de développer en priorité les moyennes et petites villes de manière à développer les campagnes tout en filtrant les migrants vers les plus grandes villes. Nous pouvons alors poser l'hypothèse selon laquelle l'arrivée des colons britanniques a causé une première perturbation de la trame urbaine historique et que leur départ a permis au système de montrer sa résilience. De même, l'entrée de l'Inde dans la mondialisation à partir des années 1980 constitue une nouvelle perturbation entraînant, entre autres, l'apparition de phénomènes de métropolisation et de modernisation (développement du réseau viaire et amélioration des conditions de vie). Le postulat de l'existence d'un processus de résilience spatiale demande dans un premier temps d'en définir la nature avant d'en démontrer l'existence.

Capacité résiliente et système urbain indien

La résilience correspond à la capacité d'un système à intégrer dans son fonctionnement

Les résultats nous montrent l'émergence progressive d'une seconde couronne urbaine à partir des années 1950 et d'une troisième couronne urbaine visible en 2001 (figure 3). Ces villes émergentes dépassent le million d'habitants et concurrencent directement les principales métropoles indiennes. Comme la figure 2 le montre, les plus forts taux de croissance annuels moyens de la population urbaine se retrouvent au sein des moyennes et petites villes indiennes ce qui se confirme en 2001. Cette situation va favoriser l'émergence d'importantes villes périphériques capables de capter une partie de la croissance en direction des plus grandes métropoles. L'analyse croisée des rythmes de croissance des villes indiennes et de l'évolution structurelle du système ur-

une perturbation sans pour autant changer de structure qualitative (Holling, 1973). Adaptée à la géographie urbaine, cette notion correspond à la capacité d'un système urbain ayant subi une perturbation à retrouver son état d'équilibre structurel (de type christallerien par exemple). Cet équilibre structurel ne signifie pas forcément un retour à une situation qualitative antérieure mais plutôt à une nouvelle forme de stabilité. Nous pouvons de fait poser l'hypothèse selon laquelle le système urbain indien est résilient. Les perturbations correspondent à l'arrivée et au départ des colons britanniques d'une part et à l'entrée de l'Inde dans la mondialisation d'autre part. La suite de notre travail consiste donc à montrer l'existence de ce processus systémique au sein du système urbain indien. Pour cela, nous nous sommes intéressés à l'évolution structurelle de la trame urbaine depuis 1901 : d'une part grâce à l'analyse des taux annuels moyens de croissance démographique (figure 2) qui nous permettent de visualiser avec davantage de finesse les vitesses de croissance des villes indiennes ; d'autre part à l'aide d'une modélisation en trois dimensions de la trame urbaine (figure 3).

bain aura permis de mettre en évidence ce processus de résilience spatiale. Il correspond dans ce cas à un rééquilibrage progressif des hiérarchies urbaines régionales du système urbain indien qui tend vers un retour à la stabilité.

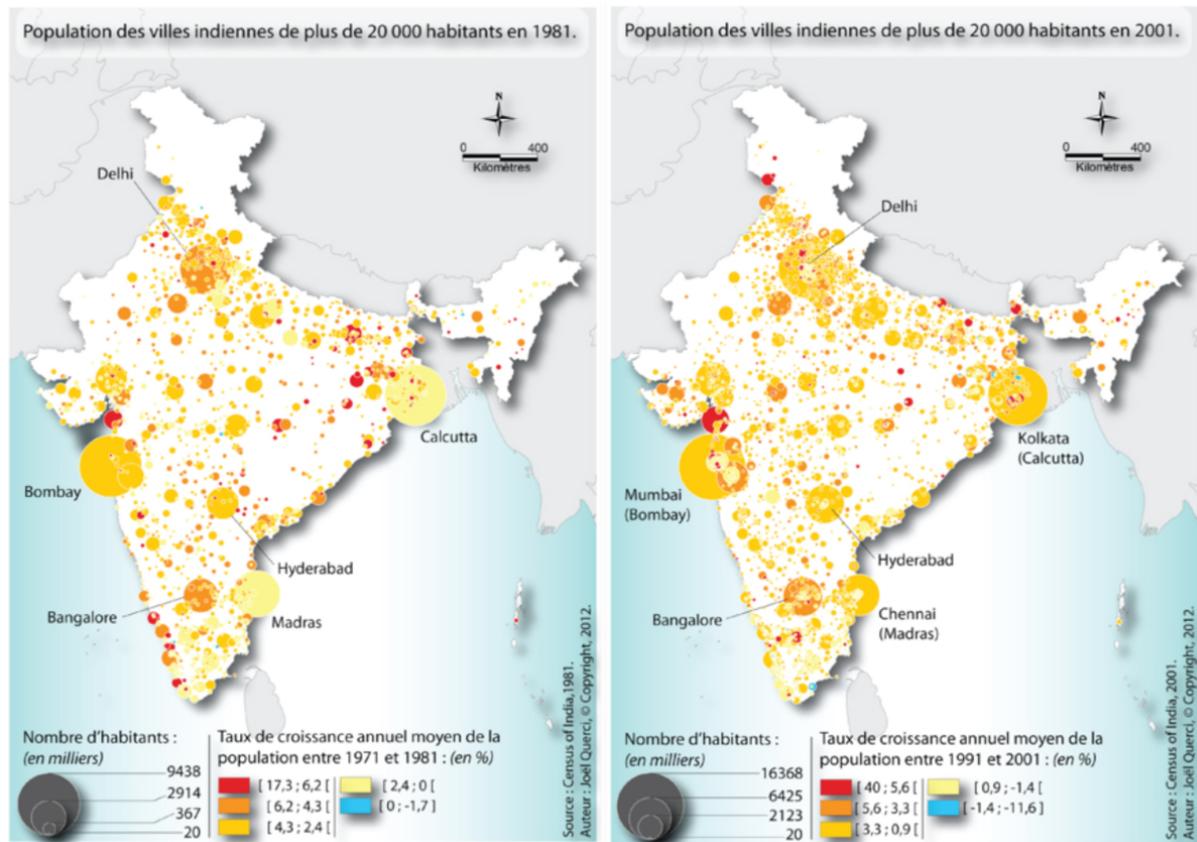


FIGURE 2 – Vitesses et rythmes de croissance des villes indiennes.

Conclusion

La multiplicité des éléments et des interactions du système urbain indien nous a permis d'en déterminer la complexité. La compréhension de sa complexité nous a amené à poser les bases de son organisation. Cependant, en nous montrant que la trame urbaine historique a dû faire face à un certain nombre de perturbations, l'histoire urbaine de l'Inde pose la question de la pérennité du système. Les bouleversements structu-

rels engendrés par l'arrivée des britanniques et la modernisation accélérée de l'Inde depuis son entrée dans la mondialisation ont permis au système de montrer sa résilience. Ce processus systémique correspond ici au retour à la stabilité de la trame urbaine (entendue comme le retour à un équilibre structurel). La suite de ce travail sera donc l'identification et la mesure des facteurs de résilience spatiale et permettra de facto de rendre compte de la capacité de résilience de ce système.

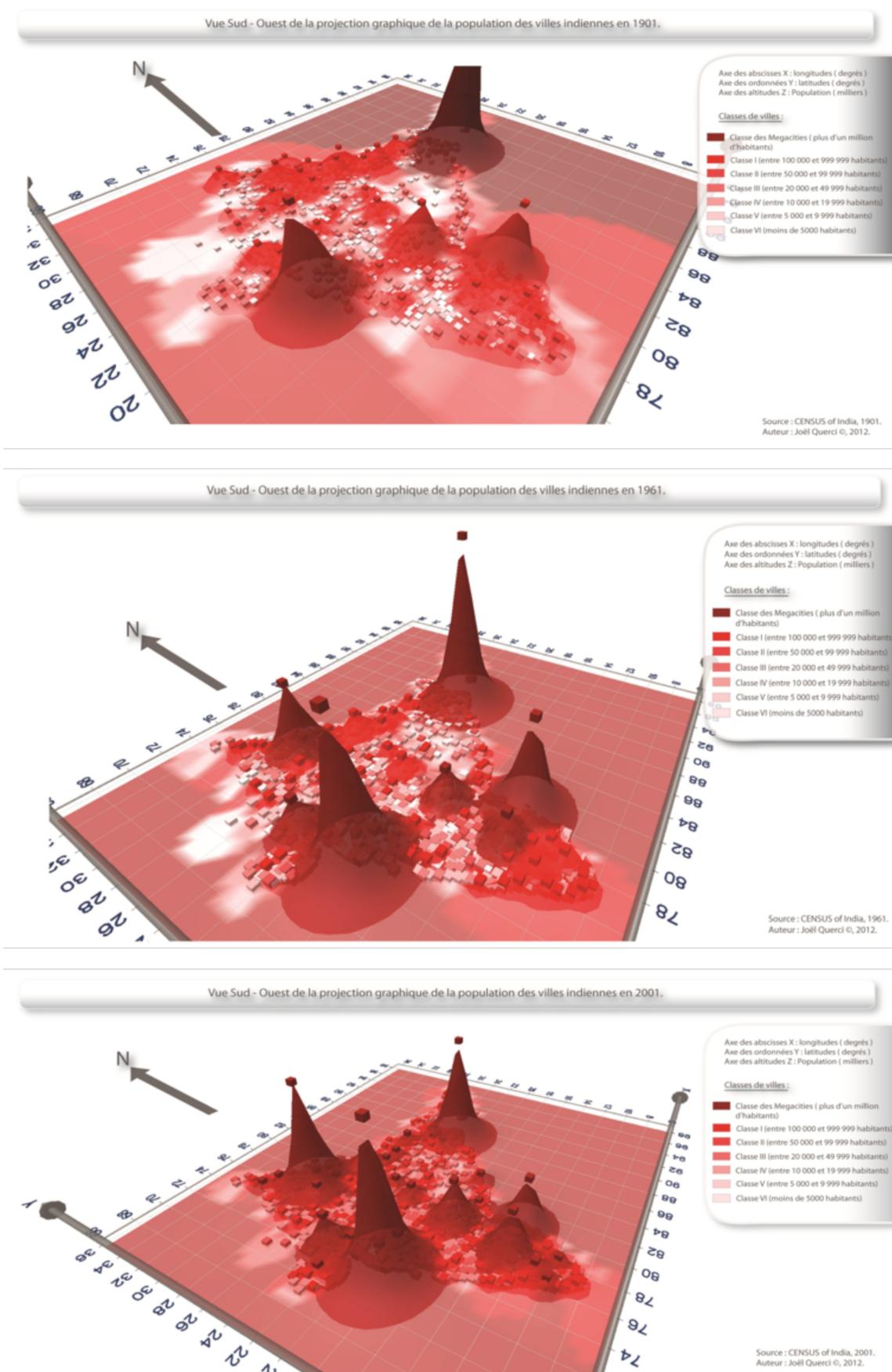


FIGURE 3 : Evolution structurelle de la trame urbaine historique entre 1901 (en haut) et 2011 (en bas)

Références

BERRY, Brian J. L., (1964), « cities as systems within system of cities » *Papers in regional science*, vol. 13, pp. 147-163.

DE ROSNAY J., 1975, *Le macroscopie. Vers une vision globale*, Paris, France : Editions du Seuil, 346 p.

FERBER J., 1995, *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective*, Paris, InterEditions, 513 p.

HOLLING, C. S., 1973, Resilience and stability of ecological systems. *Annu Rev Ecol Syst* 4, pp. 1-23.

QUERCI, J., OLIVEAU, S., 2011, « Une étude du système urbain indien : entre si-

tuation nationale et mise en évidence de situations régionales spécifiques », 10ème colloque Théoquant, 23-25 mars 2011, Besançon.

PUMAIN D., BRETAGNOLLE A., VACCHIANI-MARCUZZO C., 2007, « Les formes des systèmes de villes dans le monde », in Mattei M.-F. Pumain D. (dir), *Données urbaines*, Paris, Anthropos, chapitre 5, pp. 301-314.

United Nations, 2012, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects : The 2011 Revision*, CD-ROM Edition.

ZWIRN H., 2006, *Les systèmes complexes : Mathématiques et biologie*, Éditions Odile Jacob, coll. « Sciences », 219 p.

Une modélisation spatiale d'une dynamique démographique : le dépeuplement en Europe du Sud

Yoann Doignon¹, Sébastien Oliveau¹, Alain Parant²

¹Aix-Marseille Université, UMR 7300 ESPACE

Yoann.doignon@univ-amu.fr

sebastien.oliveau@univ-amu.fr

²INED, Futuribles International

parant@ined.fr

Mots-clefs - Population, dépeuplement, MAUP, Europe du Sud

Cette communication s'inscrit dans les travaux de l'observatoire démographique de la Méditerranée (DEMOMED). Ici, il sera pris en compte uniquement les pays méditerranéens de la rive Nord.

La crainte du dépeuplement démographique

La décroissance démographique se définit comme une diminution de la population, c'est-à-dire une croissance négative de l'effectif absolu d'un espace entre deux dates [CUNNINGHAM-SABOT, FOL S., GRASLAND C., ROTH H., VAN HAMME G., 2010]. Le phénomène de dépeuplement démographique reste très souvent perçu comme un signe de déclin plus ou moins généralisé d'une société. A ce titre, il alimente de nombreuses peurs, notamment en Europe et, plus largement, dans les pays occidentaux; peurs d'autant plus renforcées que la montée en puissance des pays émergents comme la Chine et l'Inde est rapide. Le rythme de croissance démographique de tous les pays européens a ralenti à cause de la baisse de fécondité. Quand les naissances sont moins nombreuses que le nombre de morts, l'accroissement naturel est négatif. Si les migrations ne comblent pas ce manque, alors la population diminue. Comme l'affirmait Alfred Sauvy (« Croître ou vieillir »), une population en décroissance subit généralement un vieillissement démographique [PARANT A., 1992].

Les multiples facettes du phénomène démographique

Ce mécanisme général cache cependant l'hétérogénéité du phénomène. Une population peut potentiellement diminuer avec un accroissement naturel positif : quand l'émigration est suffisamment forte pour annuler l'excédent naturel par exemple. Cette hétérogénéité se complexifie lorsque l'on considère les groupes d'âge en perte d'effectifs. En effet, selon le groupe d'âge concerné par la décroissance, les conséquences du dépeuplement seront potentiellement différentes. Une émigration de jeunes femmes en âge de procréer provoque ainsi, dans un premier temps, un affaiblissement de la part des 15-64 ans dans la population. Dans un deuxième temps, elle engendre un déficit de naissances sur le territoire concerné, occasionnant un vieillissement par la base de la pyramide des âges. À l'inverse, une diminution de l'effectif de personnes âgées induit un rajeunissement de la population par le sommet de la pyramide des âges. Ainsi, le dépeuplement résulte de deux phénomènes : un déficit naturel non compensé par les migrations ; et une forte émigration annulant l'excédent naturel. Selon son origine, et les groupes d'âges responsables, le dépeuplement démographique n'aura ni la même forme, ni les mêmes conséquences.

Le choix de l'Europe du Sud

Cette communication traitera de la question du dépeuplement dans les pays d'Europe méridionale, espace que l'on oppose souvent à celui des pays méditerranéens du Sud, le vieillissement démographique du premier contrastant la forte croissance et la jeunesse du second. Le caractère vieillissant de notre aire d'étude renforce sa dimension déclinante. À quelques nuances près, ces affirmations sont correctes à l'échelle nationale, mais elles restent à étayer à l'échelle infranationale. En effet, dans certains pays, des régions en phase de dépeuplement coexistent avec des régions à forte croissance démographique.

Notre zone d'étude regroupe le Portugal, l'Espagne, la France, l'Italie, la Slovénie, la Croatie, la Bosnie-et-Herzégovine, la Serbie, le Kosovo, le Monténégro, la Macédoine (Ancienne République Yougoslave de Macédoine, ARYM), la Bulgarie, l'Albanie et la Grèce. Nous disposons d'une part des données de recensement (structure par sexe et par âge) collectées pour chaque pays à divers échelons administratifs, et d'autre part, des fonds de cartes disponibles pour ces divers niveaux infranationaux. L'objectif de notre travail est d'identifier les espaces touchés par les différents types de dépeuplement à une échelle infranationale.

La nécessaire prise en compte du MAUP

Raisonnement à une échelle infranationale requiert une réflexion préalable sur les maillages territoriaux et sur l'échelle à adopter. Bien des biais sont, en effet, inhérents aux données spatiales [OPENSHAW S., 1984]. Si l'on considère le MAUP (Modifiable Areal Unit Problem), deux effets lui sont associés : l'effet de zonage et l'effet d'échelle. L'effet de zonage est lié au grand nombre de combinaisons autorisées pour découper un espace donné à une échelle donnée. Il mesure la variation des résultats en raison du découpage de base. L'effet de zonage dérive du découpage primaire de l'espace, c'est-à-dire de l'agrégation spatiale

de niveau 1. À partir de celle-ci, d'autres agrégations sont possibles. Plusieurs entités spatiales peuvent être combinées pour en former une seule : il s'agit de l'effet d'échelle. L'effet d'échelle se définit par la variation des résultats de l'analyse selon le degré d'agrégation. Pour le même secteur, différents systèmes de partition sont capables de produire des modèles spatiaux différents [WONG D., 2009].

Prenant en compte ces deux effets, il est théoriquement possible de recréer un maillage primaire limitant les biais. Dans la pratique, il en va différemment car les données censitaires ont été récoltées selon un maillage administratif prédéfini. La création d'un nouveau maillage primaire plus adapté provoque la perte de ces données. Ainsi, nous choisissons de nous charger uniquement sur l'effet d'échelle, et non sur l'effet de zonage. Ainsi, nous constituerons notre propre maillage territorial pour l'aire d'étude considérée. Il sera constitué d'unités territoriales obtenues en combinant les maillages administratifs de chaque pays. Chacune d'entre elle comptabilisera un nombre quasiment équivalent d'habitants.

Notre communication s'organisera en deux temps : l'identification des espaces en dépeuplement et la spatialisation d'une typologie de dépeuplement.

Le dépeuplement : des espaces à identifier

Ainsi, il sera identifié dans un premier temps les zones actuellement touchées par le phénomène de dépeuplement. Pour cela, nous pouvons utiliser un indice de croissance (taux de variation) ou un taux d'accroissement moyen annuel. Pour des études de population, le deuxième est préféré au premier pour deux raisons principales. Tout d'abord, le taux d'accroissement moyen annuel est basé sur une progression géométrique, plus adaptée à l'évolution de la population que la progression linéaire de l'indice de croissance. Ensuite, l'intervalle temporel entre chaque recensement peut diffé-

rer selon les pays considérés. Le taux d'accroissement moyen annuel permet de dépasser ce biais théorique car il est exprimé en moyenne par année, permettant ainsi de comparer des données censitaires de dates différentes.

Les unités territoriales en état de dépeuplement seront alors identifiées à l'aide des taux de croissance moyen annuel intercensitaires calculés sur l'effectif total de la population. Seront considérés uniquement les espaces dont ce taux de croissance démographique est négatif.

Qui provoque le dépeuplement ?

Dans un deuxième temps, nous repérons quel(s) grand(s) groupe(s) d'âges (0-14 ans ; 15-64 ans ; 65 ans ou plus) sont responsable(s) du déclin des unités en décroissance identifiées précédemment, en calcu-

lant des taux d'accroissement moyen annuel intercensitaires de chaque groupe d'âge et par sexe. A partir de ceux-ci, nous utiliserons ensuite des méthodes de classification afin de mettre en évidence des groupes montrant des dynamiques semblables. Cela permettra la mise en place d'une typologie des zones en déclin démographique selon le ou les groupe(s) d'âge en perte d'effectifs.

La cartographie de cette typologie illustrera les divers aspects du dépeuplement : les territoires dont la population totale diminue puis les différents groupes de la typologie. De plus, elle permettra de rendre compte des logiques spatiales à l'œuvre dans le phénomène de dépeuplement, comme la diffusion spatiale observée par certains dans le cas de l'Union européenne [CUNNINGHAM-SABOT, FOL S., GRASLAND C., ROTH H., VAN HAMME G., 2010].

Références

CUNNINGHAM-SABOT, FOL S., GRASLAND C., ROTH H., VAN HAMME G., 2010, « Shrinking cities et shrinking regions. Définitions et typologies », Chapitre 2, pp.67-95, dans BARON M.,

CUNNINGHAM-SABOT E., GRASLAND C., RIVIERE D., VAN HAMME G. (dir.), 2010, *Villes et régions européennes en décroissance, Information Géographique et Aménagement du Territoire*, Hermes Lavoisier, Paris, 345 p.

OPENSHAW S., 1984, *The modifiable Areal Unit Problem*, Concepts and techniques in Modern Geography 38, Norwich : Geo books

PARANT A., 1992, Croissance démographique et vieillissement, *Population*, n°6, pp. 1657- 1675

WONG D., 2009, « The Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) », in FOTHERINGHAM A.S.,

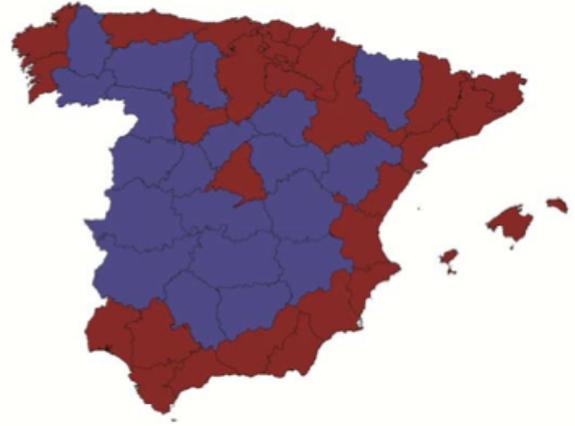
ROGERSON P.A., *The SAGE handbook of spatial analysis*

Annexe

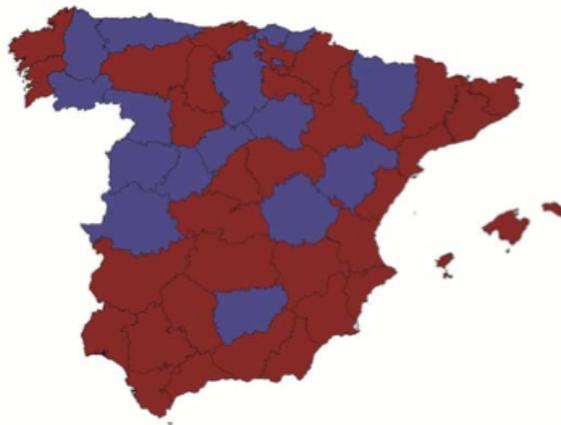
Le dépeuplement en Espagne (1960-2001)



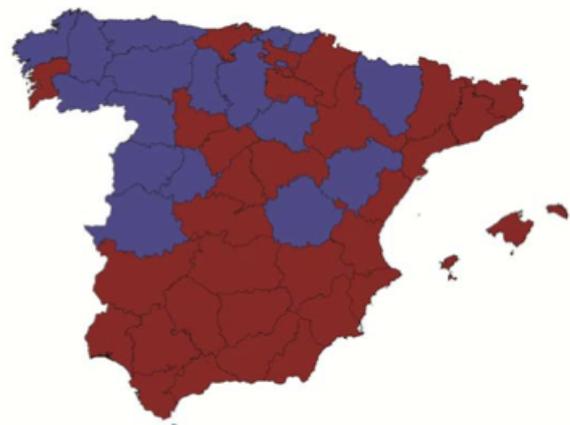
1960-1970



1970-1981



1981-1991



1991-2001

COMPARAISON DE SCENARIOS DE CROISSANCE URBAINE AU LUXEMBOURG : Mesurer l'accessibilité aux aménités

Maxime Frémond^{1,2}, Cécile Tannier¹, Philippe Gerber²

¹Laboratoire ThéMA
UMR 6049 – CNRS –
Université de Franche-Comté
32 rue Mégevand, F-25000 Besançon

²CEPS/INSTEAD, Luxembourg
Département Géographie et Développement (GEODE)
3 avenue de la Fonte
L-4364 Esch-sur-Alzette, Luxembourg

Mots-clefs - Modélisation, croissance urbaine, accessibilité, aménités

Contexte et objectifs

L'objectif de cette communication est de proposer et d'évaluer différents scénarios de croissance résidentielle au Grand-duché du Luxembourg. Les simulations de développement résidentiel seront réalisées avec la plateforme MUP-City (Tannier et al, 2012). Elles seront comparées aux scénarios d'urbanisation créés dans le cadre du projet MOEBIUS (Gerber et al, 2009) dont l'un des objectifs est de produire différents scénarios de croissance urbaine correspondant aux politiques d'aménagement en vigueur dans le pays. La comparaison sera fondée sur : 1) une comparaison spatiale de la localisation et de la forme des extensions urbaines ; 2) l'évaluation de l'accessibilité des nouvelles extensions résidentielles aux différentes aménités prises en compte dans les modèles (commerces et services, espaces verts, infrastructures sportives...).

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 appréhender ce qui est commu-

nément défini comme le paradigme de la ville durable (Camagni et al, 2002). Entre ville compacte, ville diffuse et ville polycentrique, les modèles qui s'intéressent à la localisation des extensions des espaces urbains sont nombreuses. Parmi ces modèles, celui de la ville fractale, étudié notamment par l'équipe de Pierre Frankhauser au laboratoire ThéMA de Besançon, serait en mesure d'optimiser l'accessibilité aux commerces et services et aux aménités vertes et naturelles en milieu périurbain (Frankhauser, 1997). Le travail de recherche présenté ici s'inscrit dans ce cadre conceptuel, en s'appuyant sur le modèle de simulation MUP-City dont une nouvelle version a été développée spécialement pour le projet. Cette nouvelle version permet de prendre en compte un terrain d'étude plus vaste (l'ensemble du Luxembourg et non uniquement les secteurs périurbains) et des aménités plus nombreuses et plus variées (ajout d'un niveau de recours supérieur, des aménités vertes et de loisirs, de l'accessibilité aux transports en commun). Parallèlement, le projet MOEBIUS, conduit par l'équipe de Philippe Gerber au CEPS/INSTEAD (Luxembourg), vise à expliquer les liens entre mobilité quotidienne et mobilité résidentielle par le développement d'un outil de micro-simulation. Une des sorties in-

termédiaires de ce projet consiste en des cartes prospectives de la croissance résidentielle luxembourgeoise selon 4 scénarios différents : Inner City Development (Ville compacte, avec un développement centré sur les principales agglomérations du pays), Transit Optimization Development (Ville basée sur l'accès aux transports en commun), *Center of Development and Attraction System* (Développement axé sur des communes bénéficiant d'une certaine centralité) et Business as Usual (Prolongement des tendances actuelles et application d'une politique de « laissez-faire »). La construction de cette démarche de modélisation a pour but d'apporter un éclairage nouveau sur la croissance urbaine luxembourgeoise et les mobilités qui y sont associées.

méthodologie

Les cinq groupes de scénarios retenus dans l'analyse (les quatre issus de MOEBIUS et les scénarios issus de MUP-City) ont fait l'objet d'une réflexion commune et d'une même démarche de construction. Ils tendent tous à définir un potentiel d'urbanisation qui se traduit par la sélection de cellules, donc de terrains, disponibles dans les communes du Luxembourg. Ces terrains font partie de la disponibilité foncière, c'est-à-dire des zones potentiellement constructibles au regard des documents de planification locaux. Un nombre de logements à construire chaque année est défini sur la base des projections démographiques (individus et ménages) de l'organisme luxembourgeois de statistiques publiques (STAT-TEC, 2011). L'augmentation projetée du nombre de ménages est convertie en un nombre de logements à construire, par soustraction des logements vacants, des destructions (plutôt rares) et des requalifications de bâtiments à des fins résidentielles. Le nombre de logements à construire étant déterminé, il est ensuite possible de les transformer en surface à urbaniser, suivant des hypothèses de densité, avec ou sans différentiels localisés. Le rôle des modèles MOEBIUS et MUP-City consiste alors à localiser à une échelle très fine, de l'ordre de

20 mètres, l'ensemble des futures extensions du bâti résidentiel.

Les scénarios issus de MOEBIUS ont été construits par la déclinaison des valeurs de cinq variables :

1. Le critère de centralité permet de sélectionner les cellules situées dans des typologies communales qui traduisent des priorités d'aménagement ;
2. Les valeurs de densité sont utilisées pour urbaniser dans des zones déjà denses (par rapport à la moyenne nationale), et limiter le mitage ;
3. L'accessibilité aux pôles d'emplois par les transports en communs sert à sélectionner des territoires qui correspondent aux attentes gouvernementales en matière de mobilité durable, pour encourager les alternatives aux déplacements individuels motorisés (Ministère des Transports, 2008) ;
4. Le critère de mixité vise à écarter de l'analyse des espaces à tendance monofonctionnelle, et préférer des lieux où notamment les fonctions commerciales et d'habitations coexistent ;
5. Le critère de compacité est basé sur une sélection de périmètres de construction, en évitant une trop grande dilution des espaces urbains dans les espaces naturels. Chaque scénario intègre différentes valeurs de ces variables pour les traduire en normes d'aménagement, conformément aux documents de planification et aux orientations stratégiques en vigueur.

Les scénarios d'urbanisation (fractals et non-fractals), simulés à partir de la nouvelle version de MUP-City, relèvent quant à eux d'une logique de construction quelque peu différente, tout en fournissant des sorties tout à fait comparables (des cellules potentiellement urbanisables, à la même échelle fine). La méthode de simulation s'appuie sur la combinaison d'une règle fractale d'urbanisation, déjà détaillée dans d'autres publications (Tannier et al, 2010 ; 2012), à des règles d'accessibilité à aux aménités de fréquentation quotidienne, hebdomadaire et

mensuelle ou plus rare. Toutes les règles sont agrégées par une méthode d'analyse multicritère AHP (Saaty, 1977). L'importance des règles les unes par rapport aux autres varie en fonction des hypothèses retenues dans la phase de scénarisation. L'enrichissement du modèle d'urbanisation fractale par des règles d'accessibilité aux différentes aménités permet de transposer des normes d'aménagement au travers du processus de simulation et participe au réalisme des résultats.

L'intérêt de la démarche réside dans la comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes de modélisation. Dans cette optique, les résultats des scénarios seront évalués en fonction de l'accessibilité aux différentes aménités. Des mesures de distances géographiques aux aménités les plus proches, les plus éloignés et des distances

moyennes vont être effectuées.

Résultats attendus

La démarche qui vient d'être présentée a pour objectif de confirmer les résultats précédemment obtenus concernant la pertinence du modèle fractal de croissance résidentielle dans l'accessibilité à une variété d'aménités (Tannier et al, 2012). Il est attendu que les résultats des différentes mesures d'accessibilités aux aménités soient plus satisfaisants dans le cadre de la ville fractale que dans les autres scénarios. Toutefois, cette méthodologie doit être complétée par l'application d'un modèle de trafic afin de comprendre et de calculer plus précisément le comportement des individus dans leur recours aux différentes aménités.

Références

- CAMAGNI R., GIBELLI M-C., RIAGAMONTI P., 2002, "Urban mobility and urban form : the social and environmental costs of different patterns of urban expansion", *Ecological Economics*, Volume 40, p. 199-216.
- FRANKHAUSER P., 1997, « L'approche fractale. Un outil de réflexion dans l'analyse spatiale des agglomérations urbaines », *Population*, vol. 4, p. 1005-1040.
- FRANKHAUSER P., TANNIER C., HOUOT H., VUIDEL G., 2010, « Développement urbain fractal sous contraintes d'accessibilités : Modèles et outils d'aide à la décision pour l'aménagement urbain », Rapport PREDIT, Besançon, 83p.
- GERBER P. et al. (2009), MOEBIUS, Mobilities, Environment, Behaviours, Integrated in Urban Simulation. Project cofounded by FNR (Fonds National de la Recherche, Luxembourg, 2010-2013), CEPS/INSTEAD, 85 p.
- GERBER P., CARPENTIER S., KLIEN O., 2010, « Mobilité locale et périurbanisation transfrontalière », Working Paper n°22, CEPS/INSTEAD, 32p.
- MINISTERE DE L'INTERIEUR ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, 2004, IVL (Intergratives Verkehrs- und Landesplanungskonzept), Luxembourg
- LAND USE CONSULTANTS for NATURAL ENGLAND, 2008, « Understanding the relevance and application of the Access to Natural Green Space Standard, Londres, 93p.
- MINISTERE DES TRANSPORTS, 2008, Plan Sectoriel des Transports : projet de rapport technique, Luxembourg
- SAATY T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), pp.234-281.
- STATEC, 2011, « Projection des ménages privés et des besoins en logements 2010-2030 », Economie et Statistiques, Working Paper 55, 51p.
- TANNIER C., VUIDEL G., FRANKHAUSER P., HOUOT H., 2010, « Simulation fractale d'urbanisation : MUP-city, un modèle multi- échelle pour localiser de nouvelles implantations résidentielles », *Revue Internationale de Géomatique*, Volume 20 – n° 3/2010, p. 303-329.
- 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 n°39 (5), pp 801-819

Atelier 4

Simulation pour des mobilités durables

Simulation multi-agents d'un transport à la demande dynamique L'exemple du Modulobus

Adrien Lammoglia, Didier Josselin

UMR ESPACE CNRS & Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse

Mots-clefs - TAD dynamique, optimisation basée sur l'agent, communication temps-réel, simulation Netlogo

Résumé

Un transport à la demande (Ambrosino et al. 2004) est qualifié de dynamique lorsqu'il ne nécessite pas de procédure lourde de réservation. La réservation est en effet généralement considérée comme le talon d'Achille de ce type de transport face aux lignes régulières, pour lesquelles la fixité des horaires et des arrêts permet un lien spontané entre l'offre et la demande. Par exemple, on sait quand et où passe régulièrement un bus et où il va, en dépit de son absence totale de flexibilité. Les TAD, lorsqu'il ne s'agit pas de lignes à déclenchement (TAD d'emprise fixe déclenché seulement en cas de demande de mobilité), suivent des parcours variables au fil des heures et des jours. Il est donc obligatoire de les réserver pour déterminer la « forme optimale » de la tournée des véhicules qui réalisent ce service. Cela expliquerait en grande partie le faible taux de pénétration des TAD parmi l'offre globale de transport, et, par ricochet, leur faible niveau d'utilisation, outre un certain cantonnement à des marchés de niche (week-end, soirées ou zones peu denses ou rurales).

Il y a quelques années, nous avons développé un concept de transport à la demande (TAD) dynamique, baptisé Modulobus (Josselin & Genre-Grandpierre 2005), dont les contours opérationnels ont été dessinés dans le cadre d'un projet ANR du même nom, terminé en 2011. Pour des raisons de faisabilité technique sur le terrain, les simulations réalisées à l'époque n'ont décrit que le fonctionnement de ce TAD dynamique dans son état de prototype, sans communication entre les véhicules et les

clients, hormis la transmission des feuilles de routes et des informations logistiques. L'occasion nous est donnée dans cet article de simuler le Modulobus et notamment d'intégrer l'émission, vers les clients potentiels, d'une information sur les tournées engagées par les véhicules, via ce qu'on appelle en téléphonie mobile : les *pushs*.

Une des voies que nous explorons ici est en effet de développer des transports totalement flexibles dans le temps et l'espace, mais plus spontanés quant à leur usage, dans un milieu urbain dense où se déplacent des piétons. L'augmentation des flux de mobilité confère au système une meilleure faisabilité, par la co-présence d'un nombre suffisant de véhicules roulant et de clients potentiels. Afin de connecter ces deux « entités mobiles », le TAD dynamique a recours au push, mode de communication dédié entre le conducteur du véhicule et le client potentiel. Dans notre cas, le push est un message envoyé au client qui lui indique la destination d'un véhicule en approche. Grâce à cette information, le client intéressé va se rendre à l'arrêt le plus proche où va passer le véhicule, monter dans ce véhicule, pour se rendre à sa destination indiquée dans la feuille de route. C'est précisément ce type de service à gestion dynamique de l'information spatio-temporelle (Diana 2006) que nous simulons dans cette proposition.

L'objectif de cet article est d'une part, de réaliser un modèle de simulation du service appréhendé, en système multi-agent (Amblard & Phan 2006; Ferber & Perrot 1995), et d'en évaluer la faisabilité méthodologique. D'autre part, et ce d'un point de

vue plus opérationnel, nous entrons dans le détail du fonctionnement simulé d'un TAD dynamique, à l'aide d'une panoplie de critères d'évaluation relevant des points de vue des clients, du service et du territoire dans leur ensemble. Ces critères quantitatifs varient selon les modifications de paramètres du système. La modélisation et les résultats des simulations sont alors discutés via l'analyse des critères, sous l'angle de l'efficacité et de leur sensibilité aux variations des paramètres.

La simulation est réalisée dans l'environnement de développement multi-agents Netlogo (Tisue & Wilensky 2004). Sur un support de déplacement représentant un réseau théorique (générés par le système) ou analogique (simplification d'une réalité observée), nous considérons deux types d'agents : des véhicules et des clients (piétons au départ). Les véhicules transportent les clients vers leurs destinations dans les « meilleures » conditions. Ils ne communiquent pas entre eux, ils sont en compétition. Ils ont une capacité d'accueil connue à l'avance. Ils envoient des pushes dès qu'ils transportent un client et se dirigent vers les arrêts les plus génératrices de flux. Les clients, quant à eux, sont attirés par les pushes vers les arrêts de passage des véhicules dont la tournée est cohérente avec leur destination. Ils ne communiquent pas non plus entre eux et peuvent changer en temps réel leur trajet et le choix de l'arrêt de prise en charge en fonction des configurations de la desserte proposée via les pushes, en accord avec leur destination finale.

Nous évaluons le système de manière exploratoire selon trois approches. Pour chaque approche, nous avons défini une série d'in-

dicateurs qui sont observés en temps réel sur l'interface de simulation, puis analysés statistiquement grâce à des exportations des données issues de la base.

La première approche consiste à évaluer les performances du service de transport (i) à l'aide de l'indice de rentabilité (ratio entre le nombre de clients embarqués et la distance parcourue au cours de la simulation), du taux de chargement (part des arrêts traversés avec prise en charge de clients sur le nombre total d'arrêts fréquentés) et du taux d'occupation des véhicules. Nous adoptons ensuite une approche client (ii), par le biais du nombre moyen de clients en attente aux arrêts, et au temps d'attente moyen des clients avant embarquement. Enfin, nous appréhendons la desserte à l'échelle du territoire (iii), comme si nous nous plaçons au niveau d'une autorité organisatrice de transport. Les observations sont alors d'ordre spatial puisque nous étudions la répartition des flux sur le réseau, la proportion des arrêts avec des clients en attente, et les effets de polarisation sur le territoire.

En complément des critères à évaluer, nous utilisons quatre paramètres modifiables, dans leurs intervalles de validité fonctionnelle. Ils influent notamment sur la capacité du service à répondre à la demande. Il s'agit :

- du rapport des vitesses de déplacement des clients et des véhicules ;
- de l'existence ou non des zones préférentielles géographiques d'émergence de demandes de mobilité ;
- en ce qui concerne les véhicules, de leur nombre et de leur capacité d'accueil ;
- de la montée en charge de la demande (nombre de clients).

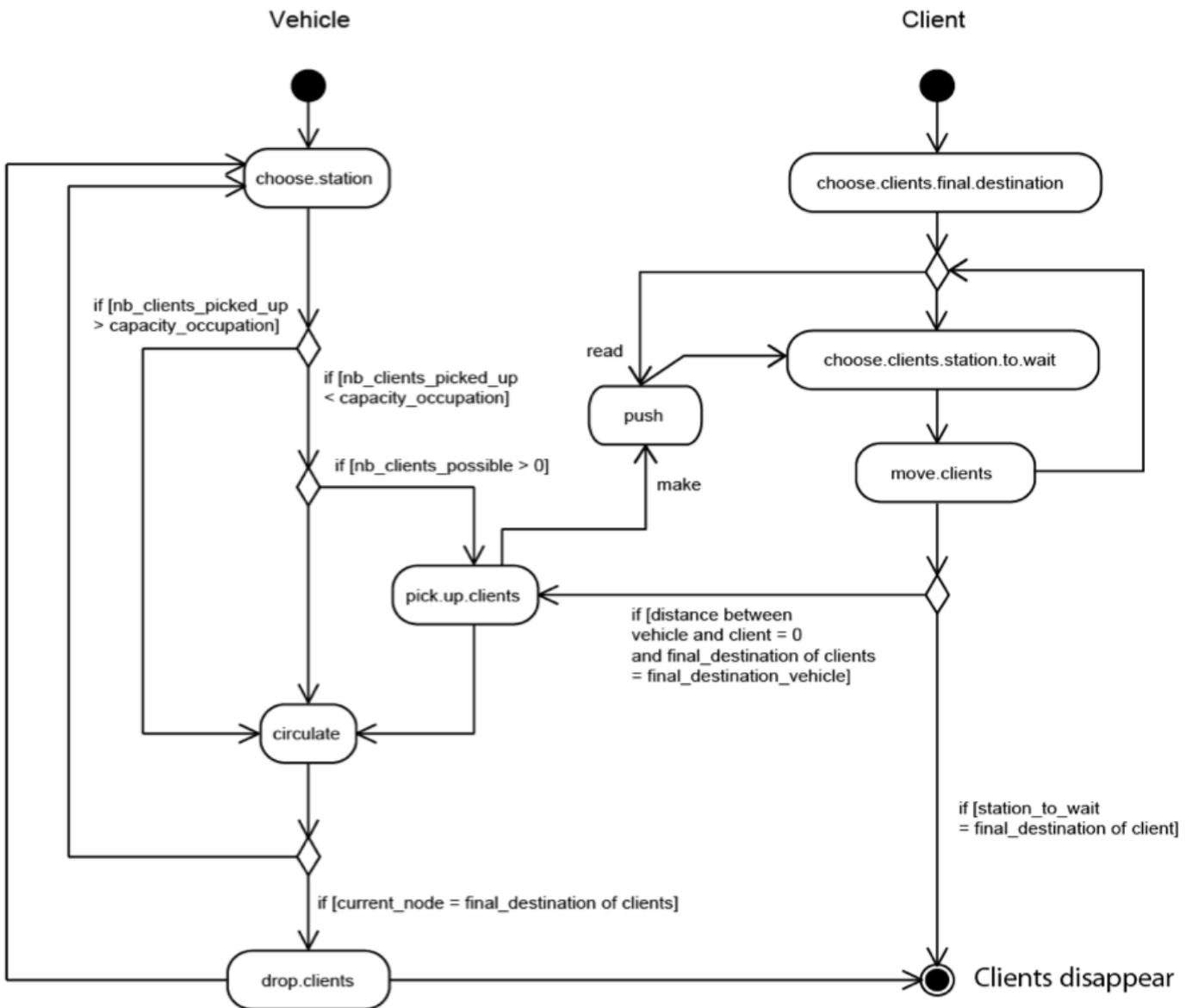


FIGURE 1 Diagramme d'activité des agents

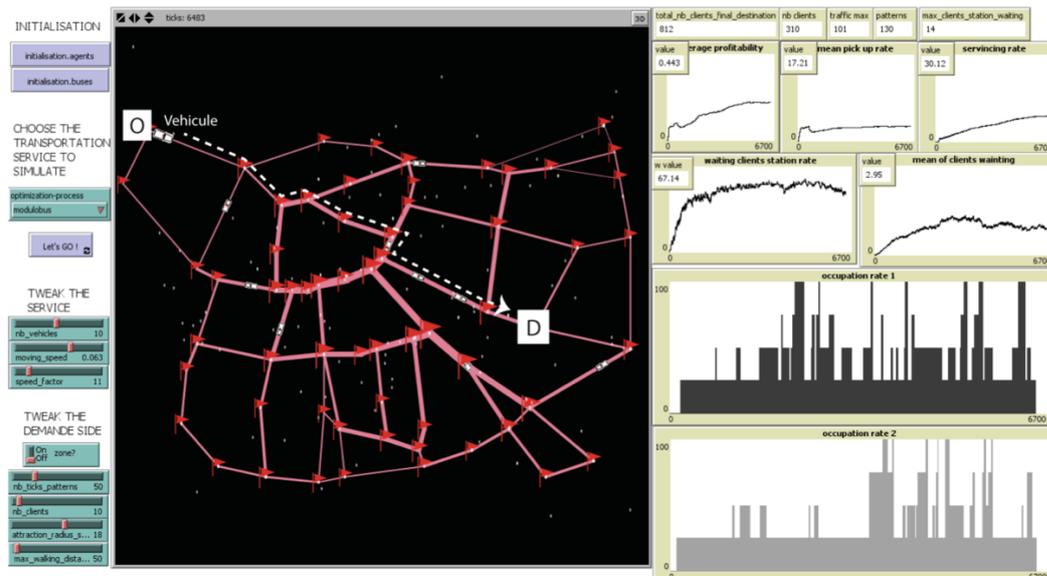


FIGURE 2 Exemple de simulation d'un TAD dynamique avec pushes sur le réseau épuré d'Avignon. Le véhicule a défini son Origine (O) – Destination (D). Il envoie alors un message à tous les piétons. Ceux qui se rendent en D vont se déplacer vers les arrêts identifiés dans la tournée du véhicule.

Les résultats des simulations montrent d'une part l'intérêt d'utiliser un SMA pour modéliser un service de type Modulobus, même si l'on doit rester cantonné à une complexité du réseau et à des volumes de clients et de véhicules compatibles avec la puissance de Netlogo. On observe par ailleurs des changements de direction des clients sous l'action des pushes, un relativement bon drainage du territoire par le service de transport, ainsi qu'un taux de remplissage des véhicules très correct. Enfin,

les temps d'attente des clients sont relativement faibles, grâce au mode de communication « push », qui, même minimaliste, améliore de façon importante les connexions entre l'offre et la demande de mobilité. L'informativité (Castex & Josselin 2007), à savoir ici la capacité des systèmes à donner une information utile dans un contexte imprévu et fluctuant de demande de mobilité, serait-elle un levier conséquent pour l'efficacité des services de transport dynamique ?

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.

Ambrosino, G., Nelson, J.D. & Romanazzo, M., 2004. Demand responsive transport services : towards the flexible mobility agency.

Castex, É. & Josselin, D., 2007. Temporalités éclatées : la réponse des transports à la demande aux nouvelles formes de mobilité J.-P. Bondue & D. Royoux, éd. *Espace populations sociétés. Space populations societies*, (2007/2-3), p.433-447. Diana, M., 2006. The importance of information flows temporal attributes for the efficient scheduling of dynamic demand responsive trans-

port services. *Journal of advanced Transportation*, 40(1), p.23-46.

Ferber, J. & Perrot, J.F., 1995. *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*, InterEditions Paris.

Josselin, D. & Genre-Grandpierre, C., 2005. Des transports à la demande pour répondre aux nouvelles formes de mobilité. Le concept de Modulobus. In *Mobilités et temporalités*. Publications des Fac. St Louis, p. 151-164.

Tissue, S. & Wilensky, U., 2004. NetLogo : A simple environment for modeling complexity. In *International Conference on Complex Systems*. p. 16-21. Available at : <http://cl.sesp.northwestern.edu/papers/netlogo-iccs2004.pdf> [Consulté le septembre 6, 2012].

Simulation de l'impact du télétravail sur les mobilités quotidiennes

Jean-Philippe Antoni¹, Patrice Tissandier¹, Sylvie Mathon², Matthieu Carlesso³

¹ Laboratoire ThéMA

² CETE Nord-Picardie

³ Université de Lille

L'étalement urbain et l'usage massif de l'automobile individuelle impliquent de nombreuses conséquences néfastes à la qualité de la vie en ville. A l'échelle individuelle, le trafic pendulaire engendre un coût de déplacement important et, en heure de pointe, conduit à la congestion des réseaux de routes et à une perte de temps qui se traduit par une perte économique. A l'échelle globale, il génère de nombreux gaz à effet de serre possiblement néfastes d'un point de vue environnemental et sanitaire. Pour réduire ces problèmes, une solution pourrait consister à favoriser le télétravail¹ pour réduire le nombre et la longueur des migrations domicile-travail. Cela étant, les expériences françaises dans ce domaine n'ont jamais permis d'atteindre les effets escomptés et le télétravail n'est actuellement pas identifié comme une solution efficace en termes de politiques de transport (Breton, 1994). Pour les employeurs, le fonctionnement hiérarchique des entreprises ne se prête pas à cette pratique et demande de créer de nouvelles relations employé/employeur culturellement difficilement admises (Morel A l'Huissier, 2010). Pour les employés, les déplacements domicile-travail apparaissent souvent comme une « coupure » nécessaire pour séparer la « vie au travail » de la « vie privée », en particulier s'ils ne sont pas trop longs ni trop contraints par l'usage des transports en commun (Turcotte, 2006).

Télétravail : nouveaux enjeux

Pour prendre en compte ces réalités, la question se pose désormais de reconsidérer les enjeux du télétravail à travers de nouvelles logiques spatiales. Dans ce contexte, il ne s'agit plus de proposer uniquement un travail statique au domicile, mais d'inciter à rejoindre quelques jours par semaine (ce qui règle le problème de l'employeur) des lieux dédiés à l'activité de télétravail collectifs qui soient situés à une distance-temps raisonnable du domicile à pied ou à vélo (ce qui règle le problème de l'employé) : télé-centres, bureaux partagés, etc. Cette formule permettrait ainsi de conserver les avantages fonctionnels du télétravail en réduisant ses inconvénients psychosociologiques. En termes de mobilités urbaines, ces impacts (cf. par exemple Jancovici, 2004, Moriset, 2004 ou Joyen-Conseil, 2010) peuvent être formulés sous la forme d'hypothèses : (i) réduction des émissions de polluants ; (ii) gains en termes de pouvoir d'achat (lié à la réduction des déplacements dans le contexte d'un prix croissant de l'énergie) ; (iii) rationalisation des espaces de bureaux par la mise en évidence d'un maillage suffisant sans nouvelles implantations (économie d'investissement public et limitation de l'étalement urbain), etc. Ces hypothèses peuvent alors être évaluées ex ante par la modélisation informatique de scénarios, dont les résultats aident à anticiper les conséquences du télétravail

1. L'accord national interprofessionnel du 19 juillet 2005 sur le télétravail (<http://www.lexisnexis.fr/pdf/DO/teletr.pdf>) le définit comme « une forme d'organisation et/ou de réalisation du travail, utilisant les technologies de l'information, dans le cadre d'un contrat de travail et dans laquelle un travail, qui aurait également pu être réalisé dans les locaux de l'employeur, est effectué hors de ces locaux de façon régulière ». C'est presque mot pour mot la même définition que celle donnée dans l'accord-cadre européen de juillet 2002.

et à en imaginer la mise en place concrète.

Scénarios de télétravail

La définition des scénarios de télétravail se fait en deux étapes. Dans un premier temps, il s'agit d'identifier les employés et les entreprises susceptibles de proposer des solutions de télétravail, en fonction de leur profil socio-économique et de leur domaine d'activité. Dans un deuxième temps, la géographie des emplois urbains est modifiée de manière à en relocaliser une partie dans les zones et les bâtiments susceptibles d'accueillir des télétravailleurs. Cette seconde étape comprend trois solutions qui correspondent chacune à un scénario :

- Télétravail nomade (scénario 1) : outre les espaces de co-working et les centres d'affaires, de nouveaux lieux d'emplois sont ajoutés sous la forme de « tiers-lieux » (hôtels, cafés-restaurants, lieux publics offrant une connexion wifi gratuite, etc.) ;
- Télétravail en bureau partagé (scénario 2) : les nouveaux lieux d'emplois se situent dans espaces comprenant des bureaux équipés, des centres d'affaires et des centres de conférence ;
- Télétravail en bureau satellite (scénario 3)² : les bureaux et les établissements de l'Etat (mais également les écoles ou les mairies, voire les bibliothèques et les médiathèques), dont la répartition sur le territoire peut permettre de constituer un maillage fin (sous réserve de prévoir un espace de télétravail par immeuble/implantation), sont mis à disposition des télétravailleurs (fonctionnaires ou non).

Ces modifications concernent exclusivement le motif de déplacement « travail »

2. Cette solution présente deux intérêts majeurs : (i) un effet de levier rapide et massif : en mobilisant le patrimoine de la fonction publique de l'Etat ou Territoriale (préfectures, mairies, etc.), on parvient rapidement à créer une offre d'espaces répartis partout sur le territoire et à proximité des lieux de vie des habitants tout en ne mobilisant à l'échelle de chaque établissement, qu'un faible espace de travail (12 m² sur l'ensemble de la surface de l'établissement) ; (ii) l'espace peut être mutualisé en time-share (un agent de la fonction publique se met en relation avec un autre agent pour partager leurs deux espaces de bureaux en semaine).

3. Le modèle à quatre étapes est un modèle de référence pour la prévision de la demande de transport. Comme son nom l'indique, il se compose de quatre étapes supposées séquencées et indépendantes : (1) La génération estime la demande de transport ; (2) La distribution calcule les liens entre lieux d'origine et de destination ; (3) Le choix modal estime la probabilité d'utilisation d'un mode de transport ou d'un autre ; (4) L'affectation permet d'estimer le trafic sur les réseaux de transport.

et les migrations qui l'accompagnent, mais il est probable qu'elles aient des répercussions sur l'ensemble des mobilités urbaines. En effet, les migrations « domicile-travail » sont souvent identifiées comme structurantes pour de nombreux autres déplacements qui prennent la forme de pérégrinations et de chaînes de déplacements. Leur modification peut donc induire de nouveaux comportements de mobilité qu'il est possible de simuler à l'aide d'un modèle de trafic.

Implémentation dans MobiSim

Le modèle de trafic retenu est MobiSim (Antoni, 2010) ; il s'agit d'un modèle LUTI individu-centré qui simule le comportement d'agents synthétiques à partir d'un cadre population/espace reconstruit sur la base des données géographiques et démographiques fournies par l'INSEE (Recensement de la population) et l'IGN (BDTopo). Nous l'utilisons sur la Communauté d'agglomération de Besançon où il est calé à partir des résultats de l'« Enquête ménages déplacements » de 2005.

Dans MobiSim, la simulation des mobilités quotidiennes des agents s'inscrit globalement dans la démarche d'une modélisation à quatre étapes³ (Hensher and Button, 2004). Toutefois, l'une de ses spécificités réside dans son caractère individu-centré, qui tient compte du comportement individuel et désagrégé des agents qui composent la population synthétique. Ainsi, le modèle permet (i) de définir le programme d'activités des agents et d'en déduire une distribution des mobilités, (ii) de considérer le choix des modes de déplacements et

finalement (iii) d'affecter ces déplacements sur le réseau de routes ou de transport en commun.

Résultats et perspectives

La simulation des trois scénarios de télétravail à l'aide de MobiSim montre des résultats contrastés sur les mobilités. En effet, l'étude des distances parcourues, des temps de déplacement et des modes de transport empruntés n'a qu'un impact très faible sur le fonctionnement global de la ville. Au niveau individuel, il conduit à des situations logiques mais néanmoins variables :

la majorité des agents diminuent effectivement leurs déplacements, mais d'autres ne modifient que très peu leurs habitudes de mobilités, voire se déplacent plus que précédemment pour répondre à des besoins qui ne sont plus structurés par leur trajet domicile-travail.

A partir de ces résultats, les recherches à venir concernent l'étude de la contribution du télétravail à la réduction de l'émission de gaz à effet de serre, sachant que les gains en matière de transports sont probablement contre-balançés par une consommation énergétique plus importante pour le fonctionnement des bâtiments, dans une proportion qui reste difficile à évaluer.

Références

- Antoni J-P., Vuidel G., 2010. MobiSim : un modèle multi-agents et multi-scalaire pour simuler les mobilités urbaines. *Modéliser la ville. Forme urbaine et politiques de transport*. Antoni J-P., (Dir.). Paris : Economica, Méthodes et approches, 50-77
- Breton T., 1994, *Le télétravail en France : situation actuelle, perspectives de développement et aspects juridiques*, La Documentation Française, 288 p.
- Hensher D.A., Button K., (ed.), 2004, *Transport Geography and Spatial Systems, Handbook in Transport*, 5, Pergamon/Elsevier Science, 666 p.
- Janconvici J.M., 2004, *Bénéfices environnementaux envisageables liés à l'introduction du télétravail*, Rapport pour l'Observatoire des stratégies industrielles, http://www.manicore.com/documentation/teletravail/OSI_synthese.html
- Joyen-Conseil E. (coord.), 2010, *Le télétravail au service du développement durable*, Paris, Syntec Informatique, 32 p.
- Morel A L'Huisser P., Turbe-Suetens N., 2010, *Le télétravail en France, les salariés sont prêts!*, Paris, Pearson, 162 p.
- Moriset B., 2004, Télétravail, travail nomade : le territoire et les territorialités face aux nouvelles flexibilités spatio-temporelles du travail et de la production, Cybergéo, 257. <http://cybergeog.revues.org/3815>.

Excess commuting en Ile-de-France : une analyse par un modèle de micro-simulation

Olivier Bonin, Nicolas Coulombel, Emre Korsu, Florent Le Néchet, Alexis Poulhès

Laboratoire Ville, Mobilité, Transport (LVMT)
Université Paris-Est Marne-la-Vallée
florent.lenechet@univ-mlv.fr

Mots-clefs - Excess commuting, déplacements domicile-travail, modélisation, simulation, Ile-de-France

Contexte

Les inefficiences du système de localisation du point de vue des distances de navettes constatées par la littérature de l'*Excess Commuting* (Hamilton, 1982) depuis une trentaine d'année portent principalement sur un mauvais appariement entre lieux de résidences et lieux d'emploi. Les potentiels de réduction évoqués sont importants dans un contexte de remise en cause du modèle de l'étalement urbain depuis déjà quelques décennies. Sans agir sur les densités résidentielles ni sur la localisation des activités économiques, on pourrait par une meilleure organisation collective réduire les distances parcourues donc potentiellement les consommations de carburant. Cette réduction est toutefois toute théorique, puisque les choix de localisation et d'activité des individus proviennent d'un arbitrage entre de très nombreux critères.

Plusieurs éléments peuvent expliquer qu'au sein d'une aire urbaine, la distance domicile-travail moyenne soit significativement supérieure au minimum théorique. La première hypothèse est que d'autres facteurs puissent prédominer sur la distance au lieu d'emploi lors du choix résidentiel. Cette hypothèse est raisonnable dans un contexte professionnel où les changements d'emploi sont réguliers. Plutôt que de chercher à minimiser sa distance de navette actuelle, le ménage chercherait une localisation fournissant une bonne accessibilité à son emploi actuel ainsi qu'aux emplois aux-

quels il pourrait accéder par le futur. Cette stratégie est d'autant plus probable dans un contexte où l'accessibilité à l'emploi a fortement augmenté sous l'effet du développement des réseaux routiers et de transport en commun. Une autre possibilité est que certains ménages valorisent fortement la qualité du voisinage (aménités locales, composition sociale, etc.) lors du choix résidentiel.

La deuxième hypothèse met en jeu les contraintes portant sur la mobilité, résidentielle comme professionnelle. D'une part, les ménages souhaiteraient dans l'idéal résider plus près de leur lieu d'emploi mais ils ne peuvent payer les loyers dans la zone centrale. D'autre part, à lieu de résidence fixé, les actifs n'auraient pas la possibilité de sélectionner un emploi proche de leur résidence en raison d'une concurrence trop importante sur le marché du travail ou encore de stratégies de localisation des entreprises en inadéquation avec la distribution spatiale de leurs salariés potentiels (cf. les travaux sur le *spatial mismatch*, Kain, 1968).

Une dernière hypothèse renvoie aux évolutions des modes de vie et notamment au développement de la biactivité. Les ménages biactifs ont une mobilité plus complexe que les ménages monoactifs (Pochet & Routhier, 2001), induisant dans certains cas des distances domicile-travail plus importantes que deux actifs seuls de même profil socio-professionnel. Dans le cas d'un ménage biactif, et selon ses revenus, il existera probablement deux stratégies récurrentes : se

localiser au centre du marché de l'emploi, de manière à autoriser une souplesse d'évolution des emplois occupés par les deux actifs tout en assurant des temps de transport raisonnables, ou se localiser au plus près du travail de l'un des deux actifs. Dans cette hypothèse, une certaine forme de rugosité au sein des ménages empêcherait de se rapprocher du minimum global en termes de distance domicile-travail.

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.

Méthodologie

Pour évaluer l'importance relative des différents facteurs évoqués, nous avons mis au point un algorithme de minimisation (sous contraintes) de la distance globale domicile-travail. Une fois générée une population synthétique de logements, de ménages et de lieux d'emploi, l'algorithme procède à des échanges de domiciliation ou d'emploi entre deux ménages lorsque cela permet de réduire la somme des distances domicile-travail. Il est également possible pour un actif d'occuper un emploi actuellement non pourvu ou d'emménager dans un logement vacant.

Le choix de la micro-simulation permet de modéliser simplement les diverses contraintes dont nous cherchons à tester les effets, ce que ne permettent pas les programmes classiques de minimisation des coûts de transport. La première contrainte impose que l'échange de logements ne se fasse qu'entre ménages de même taille. La deuxième contrainte impose indirectement une contrainte de standing sur le logement et sa localisation en n'autorisant les échanges qu'entre ménages de même PCS. La troisième contrainte consiste à prendre en compte de manière explicite la biactivité dans nos scénarios de relocalisation de ménages ou de changements d'emploi des actifs. La dernière consiste à considérer que la proportion de logements et d'emplois vacants est très faible, ce qui limite la probabilité d'une relocalisation.

Cet algorithme simple s'adapte bien à la structure des contraintes que nous imposons pour permettre l'échange de domicile. Notons que dans le cas de deux ménages monoactifs l'échange des emplois a le même impact que l'échange des domiciles sur les distances domicile-travail. Dès lors qu'un des ménages comporte plus d'un actif, des cas plus complexes d'échanges de localisation et d'emploi peuvent être envisagées comme l'illustre la figure 1.

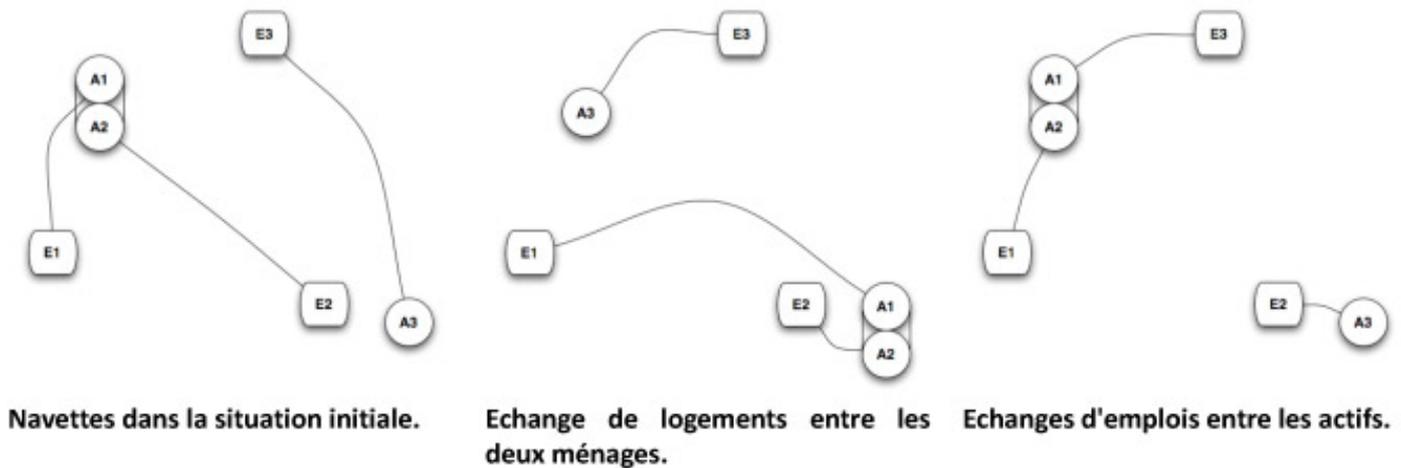


FIGURE 1 – Divers réappariements entre actifs et emploi / relocalisation prenant en compte le niveau du ménage. A_i sont les actifs et E_j sont les lieux d'emploi. A1 et A2 font partie d'un même ménage ce qui limite les possibilités de transformation.

Notre stratégie d'évaluation repose sur une série d'analyses de sensibilité. Lorsque toutes les contraintes que nous envisageons, gage de réalisme de la simulation, sont mises en œuvre simultanément, le potentiel de réduction des distances est limité. En relâchant progressivement ces contraintes, on peut mesurer le rôle qu'elles jouent dans la fabrication des valeurs élevées des distances domicile-travail observées actuellement. Par exemple, en autorisant l'échange de logements de tailles différentes, on augmente les possibilités de relocalisation des ménages à proximité de leur emploi.

Ces analyses de sensibilité ne prétendent pas représenter un état possible ou souhaitable du système, mais visent à mieux comprendre la structuration du système de localisation et de mobilité francilien. En analysant les trajectoires d'évolution de la distance moyenne domicile-travail entre la situation actuelle et la situation optimale, on peut identifier les principaux facteurs empêchant le système de se rapprocher des situations vertueuses décrites dans la littérature de l'*Excess Commuting*.

Données et plateformes informatiques

Le modèle a été implémenté sur cinq plateformes informatiques de manière à évaluer leur facilité d'implantation, leur performance, et leur capacité à faire évoluer le modèle. Le modèle s'appuie sur le maillage communal de la région Ile-de-France (1300 communes, en comptant les arrondissements parisiens), sur lequel on crée une population synthétique à partir du fichier désagrégé du domicile-travail du Recensement de la Population de l'INSEE (2 millions de lignes, pour 5 millions d'actifs). Pour des raisons de capacité des plateformes, cette population synthétique est tirée au centième. Le modèle a été implanté et testé avec NetLogo (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>), GAMA (<http://code.google.com/p/gama-platform/>), Anylogic (<http://www.anylogic.com/>), Transcad (<http://www.caliper.com/tcovu.htm>), et enfin directement programmé en C++. Plusieurs millions d'itérations sont nécessaires pour parvenir à la solution, ce qui prend d'une dizaine de minutes (Anylogic) à plusieurs heures (Netlogo) selon la plateforme.

Références

Kain, J.-F., 1968, Housing Segregation, Negro Employment, and Metropolitan Decentralization, *Quarterly Journal of Economics*, May 1968. Vol 82 No 2. pp. 175-197.

Hamilton, B. 1982, «Wasteful commuting», *Journal of Political Economy*, vol. 90, no. 5, pp. 1035–1053.

Horner, M. W. 2002, «Extensions to the concept of excess commuting», *Environment and Planning A*, vol. 34, no. 3, pp. 543–566.

Pochet P., Routhier J.-L, 2002, « Mobilité résidentielle et allongement des distances de migrations alternantes dans la région urbaine de Lyon » in F. Dureau, J.-P. Lévy (Eds), *Mobilité quotidienne et mobilité résidentielle*, Actes du colloque Villes et Mobilités, L'Harmattan, 19 p.

Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

Atelier 5

Ecosystèmes et impacts environnementaux

Cartographier un service écosystémique : la nécessité d'une analyse à l'échelle locale ?

Solen Le Clec'h¹, Johan Oszwald^{1,2,3}, Nicolas Jegou⁴, Simon Dufour¹, Xavier Arnauld de Sartre⁵ et Michel Grimaldi⁶.

¹Université Européenne de Bretagne - Rennes 2
Laboratoire LETG Rennes – COSTEL (UMR CNRS 6554)
5 Place Henri Le Moal, Rennes
Contacts : solen.leclech@uhb.fr ; johan.oszwald@uhb.fr ; simon.dufour@uhb.fr

²Laboratoire ECODIV (UPRES-EA 1293) Université de Rouen
76821 Mont Saint Aignan

³Hydrosciences Montpellier
UMR 5569 IRD CNRS-UM2
Place Eugène Bataillon CCMSE, F34095 Montpellier

⁴Université Européenne de Bretagne - Rennes 2
Département de Mathématiques Appliquées au Sciences Sociales Contacts : nicolas.jegou@uhb.fr

⁵Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), UMR 5603 SET
Université de Pau et des Pays de l'Adour
64000 PAU Contact : xavier.arnauld@univ-pau.fr

⁶Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
UMR 211 BIOEMCO
Centre IRD France-Nord
32, av. H. Varagnat, F-93143 Bondy cedex

Mots-clefs - Services écosystémiques, développement durable, Brésil, processus physique, analyse spatiale.

En 1992, la conférence de Rio puis la synthèse réalisée en 2005 dans le cadre du Millenium Ecosystem Assesment (MEA) soulignent les conséquences de la pression humaine accrue sur l'environnement. La notion de service écosystémique (SE) vient en appui à cette constatation et a pour vocation de pointer du doigt l'importance de la dépendance sociétale aux milieux naturels (Daily et al., 1997). La cartographie apparaît comme une clé de compréhension des processus biophysiques desquels résultent les SE et permet d'évaluer leur éventuelle dégradation. Elle est alors considérée comme un outil d'aide à la décision pour la gestion des ressources naturelles d'un territoire à aménager (Nelson et al.,

2009). Ainsi, le MEA et les REDD (Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation) incitent à la réalisation de cartographies dans le cadre de l'analyse des SE et ce, aux échelles globales. Or les processus physiques mis en jeu s'opèrent à l'échelle locale. De fait, il semble pertinent de cartographier un SE à cette échelle. Ainsi, nous nous intéressons au SE de régulation, stockage du carbone dans la végétation à l'échelle locale. Cela permet d'interroger la pertinence des cartographies de SE aux échelles globales.

Données et méthodes

Pour ce faire, deux modèles statistiques (arbre de décision et régression linéaire multiple) ont été mis en place à l'échelle de trois localités d'Amazonie brésilienne : Macaranduba, Pacaja et Palmars 2 (Para). Comme tout espace forestier, l'Amazonie est connue pour le grand nombre de SE qu'elle rend (habitat pour de nombreuses espèces, rôle dans les cycles de régulation...). Depuis les années 1970, elle est également devenue une des régions où les taux de déforestation sont les plus élevés (Fearnside, 2005, FAO, 2010). Ces activités de déboisement sont particulièrement intenses dans l'état du Para (FAO, 2010).

Les trois sites d'études présentent des contextes politiques et historiques locaux différenciés. Or les spécificités environnementales, politiques, économiques et sociales sont à prendre en compte dans le fonctionnement des SE (Dixon et al. ; 1995). Le déboisement du site de Maçaranduba a commencé dans les années 1970. En 2000, une organisation sociale de type agro-extractiviste a été mise en place, avec propriété collective de la terre et limitation du déboisement. Le site de Palmars 2 est marqué par une histoire plus récente et très contrastée. De la fin des années 1980 jusqu'en 1994, ce site connaît un fort développement de l'élevage bovin. Suite à un conflit social entre les agriculteurs du Mouvement des Sans Terre (MST) et les fazendeiros, la zone est abandonnée jusqu'en 1997. Cela se traduit notamment par un enrichissement. Par la suite, le site devient officiellement propriété d'un regroupement d'exploitants issus des MST. Ceux-ci se distribuent la terre équitablement, provoquant un émiettement des parcelles. L'intervention des politiques publiques désirent donner une importance aux milieux naturels tels qu'ils existaient avant le début de la déforestation y est forte. Enfin, le site de Pacajá connaît les premières conversions agricoles au début des années 1990 sur une des pistes secondaires de déforestation construites en arrêtes de poisson depuis la Transamazonienne. La colonisation, isolée

spatialement, est encouragée par l'État qui alloue la terre aux paysans.

Dans ce contexte de déforestation, l'étude des quantités de carbone stocké dans la végétation semble pertinente. Les informations sur les stocks de carbone ont été recueillies pour 45 points lors de campagnes terrain effectuées dans le cadre du programme de recherche AMAZ, des programmes de recherche financés par l'ANR AMAZ-BD et AMAZ-ES (coord. : Patrick Lavelle). Afin d'expliquer les variations dans les stocks de carbone à l'échelle des points, des données issues de la télédétection à haute résolution spatiale (30 x 30 m) ont été choisies. Celles-ci ont ensuite permis de prédire puis spatialiser des quantités de carbone pour l'ensemble du site d'étude. Ces données permettent une certaine reproductibilité de la démarche, répondant ainsi aux demandes du MEA ou des REDD. En effet, elles sont issues du traitement d'images LANDSAT TM et du MNT ASTER (Modèle Numérique de Terrain), faciles à acquérir, en libre accès, couvrant de vastes espaces géographiques et permettant d'acquérir des images multitudes. Les informations spatiales permettant de cartographier le stock de carbone dans la végétation sont donc de deux types. Les premières sont des données d'occupation du sol (à un instant t - OSt, une trajectoire historique issue d'une analyse diachronique - Oszwald et al., 2011, et deux indices de végétation, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et le NDWI (Normalized Difference Water Index). Les autres sont des données de topographie (altitude, pente, synthèse de la topographie et distance au réseau hydrographique). L'unité spatiale de base choisie est la plus fine possible, à savoir le pixel des images satellites utilisées. Cela permet de prendre en compte la diversité paysagère, souvent localement très importante et de mieux appréhender la relation entre les relevés terrain, donc les processus physiques, et les données télédéteectées.

Résultats

Les modèles statistiques résultant de ces analyses offrent des taux de fiabilité s'échelonnant entre 60% et 85% pour la régression

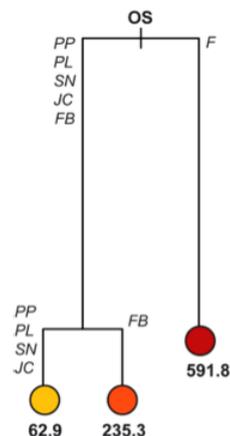


FIGURE 1 – Arbre de décision du modèle expliquant la quantité de carbone stockée dans la biomasse végétale pour le site de Pacaja

De manière générale, ces modèles sont basés sur la variable OS (Figure 1). Ils permettent de discriminer les différents types d'occupation du sol, chacun étant caractérisé par sa capacité plus ou moins grande à stocker du carbone. L'opposition dichotomique entre espaces forestiers et non forestiers, à laquelle on a souvent recours, est donc insuffisante (Eckert et al., 2011 ; Sherrouse et al., 2011). Une typologie détaillée de l'occupation du sol semble alors nécessaire. De plus, les modèles statistiques mettent en évidence l'importance de la spécificité des sites. En effet, les variables retenues ne sont pas exactement les mêmes d'un site à un autre. De plus, selon le site, les quantités de carbone stockées varient énormément pour un même type d'occupation du sol. Par exemple, les forêts de Palmares ne stockent pas autant de carbone que celles des autres sites. La capacité de stockage d'un type de végétation dépend

linéaire et entre 50% et 70% pour l'arbre de décision. Cela se révèle satisfaisant au vu de la bibliographie internationale (Baral, 2011, Bolfe et Batistella, 2011).

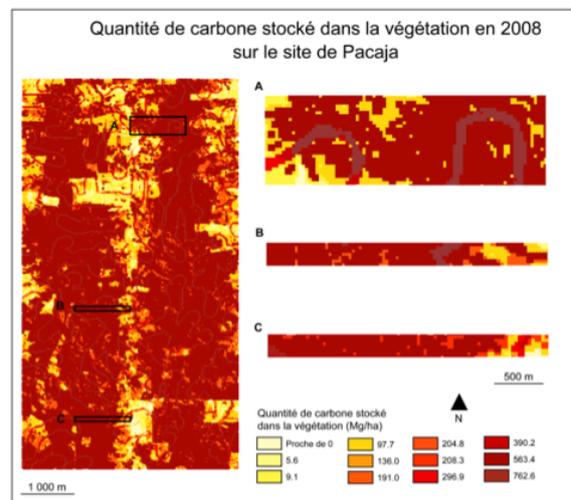


FIGURE 2 – Cartographie des stocks de carbone de la végétation sur le site de Pacaja

de son état or celui-ci résulte de la pression anthropique subie et donc de facteurs politiques et socio-économiques localisés.

La cartographie locale permet d'estimer avec précision la répartition spatiale du carbone, au sein d'une exploitation agricole ou au sein d'un site (Figure 2). Le processus physique est donc représenté par des variables physiques dérivées de la télédétection qui permettent aux gestionnaires de s'approprier le phénomène et d'aménager leur territoire efficacement en s'adaptant à ses réalités.

De fait, deux aspects essentiels illustrent l'intérêt d'une étude à l'échelle locale. Tout d'abord, par une procédure de choix de variables, ils permettent de prendre en compte la spécificité des territoires. D'autre part, ils permettent de souligner l'importance de la précision des données d'entrée. Or une classification précise d'occupa-

tion du sol n'est réellement possible qu'aux échelles fines. Ainsi, l'information apportée par les indices de végétation, plus faciles à acquérir aux échelles globales, n'est pas aussi pertinente. Cet argument est également valable pour les informations de topographie, issues du MNT. De plus, ces modèles permettent d'estimer le degré d'information expliquée par les variables et ainsi d'interroger celles-ci pour compléter le jeu de données si besoin. Comme dans la plupart des études, la cartographie réalisée concerne le stock du carbone et non son stockage (Naidoo et al., 2006 ; Rutledge et al., 2010). Le stock de carbone est un état statique, valable à un instant t et le stockage est un processus dynamique réalisant le SE lui-même. A l'aide des séries temporelles d'occupation du sol, il est possible d'assimiler, pour chaque date, la valeur de carbone stocké dans chaque type de végétation à la date la plus récente. Les cartographies obtenues rendent possible l'analyse de l'évolution des stocks de carbone et donc la quantification du déstockage dû aux activités humaines et d'envisager l'état d'un site

dans le cadre de la mise en œuvre de politiques de conservation.

Conclusion et perspectives

De manière générale, si on ne peut nier l'intérêt des études aux échelles globales, les analyses aux échelles fines présentent de forts enjeux. Elles permettent de prendre en compte la diversité paysagère et donc de mieux comprendre les processus liés aux SE. De fait, elle offre la possibilité d'adapter l'étude aux problématiques spécifiques du territoire étudié. La cartographie des SE à l'échelle du paysage peut être considérée comme un lien entre les différents acteurs du territoire. Elle permet en effet de faciliter les transferts de connaissances et d'informations en vue de la mise en œuvre d'une politique de gestion environnementale. Ainsi, elle répond pleinement aux objectifs posés par le MEA ou les REDD. Il est envisagé de les mettre en relation avec d'autres données, comme des caractéristiques sociales ou économiques, données dont la portée est uniquement locale.

Références

- Baral S., 2011. Mapping carbon stock using high resolution images in subtropical forest of Nepal. Thèse de doctorat. 50 p.
- Bolfe et Batistella, 2011. Carbon mapping of agroforestry systems in the Brazilian amazon through satellite images. Proceedings of the 25th International Cartographic Conference, Paris, 3-8 July 2011.
- Daily G.C., 1997. Nature's services : societal dependence on natural systems. Island Press, Washington, DC, 392 p.
- Dixon, R.K., Brown S, Houghton R.A., Solomon A.M., Trexler M.C., Wisniewski J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263 :185-190.
- Eckert S. Ratsimba R.H., Rakotondraso LO., Rajoelison L.G., Ehrensperger A., 2011. Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and carbon stock of lowland rainforest in the Analanjirofo region, Madagascar. In *Forest Ecology and Management*. 262 (11), 1996(12).
- Fearnside P.M., 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia : History, Rates, and Consequences. *Conservation biology*, 19(3), pp. 680-688.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations Global Forest Resources Assessment. Rome : Food and Agricultural Organization of the United Nations ; 2010.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being : synthesis*. Island Press, Washington, DC, available at www.millenniumassessment.org (06/06/2010).
- Naidoo R., Balmford A., Costanza R., Fisher B., Green R.E., Lehner B., Malcolm T.R. and Ricketts T.H., 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *PNAS*, 105 : 9495-9500.
- Nelson W. B., Mesquita R., Pereira L.G., De Souza S.G.A., Batista G.T., Couto L.B., 1998. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management* 117, 149-167
- Oszwald J., Gond V., Doledec S. et Lavelle P., 2011. Identification d'indicateurs de changement d'occupation du sol pour le suivi des mosaïques paysagères. *Bois et Forêts des Tropiques*, 307 : 7-21.
- Rutledge D.T, Dymond J., Greenhalh S., Ausseuil A.G., Sinclair R., Herzig A., Morgan F., Andrew R. Collin, 2010. Mapping, Modelling and Managing Ecosystems Services in New Zealand, 8p
- Sherrouse BC., Clement JM., Semmens DJ., 2011. A GIS application for assessing, mapping, and quantifying the social values of ecosystem services. *Applied Geography*, 31 : 748-760.

Réseaux écologiques et gestion environnementale : proposition d'un cadre méthodologique pour la mise en œuvre des graphes paysagers

Foltête J.C., Clauzel C., Girardet X., Tournant P., Bourgeois M., Vuidel G.

ThéMA UMR 6049 CNRS
Université de Franche-Comté

Introduction

Face au déclin de la biodiversité, les politiques de conservation fondées sur la délimitation de zones protégées ont été récemment remises en question. Parallèlement, les recherches en écologie du paysage ont souligné l'importance de la connectivité paysagère pour le maintien des populations animales dépendant d'un habitat fragmenté. Une attention particulière a donc été portée récemment sur la « nature ordinaire » et sur la notion de réseau écologique (Ahern, 1995 ; Boitani et al., 2007). Dans son acception spatiale, un réseau écologique est défini comme un système spatial où des cœurs d'habitat faunistiques sont reliés à des corridors biologiques. L'intégration des réseaux écologiques dans les stratégies de gestion environnementale est un enjeu important, illustré en France par la définition des « trames vertes et bleues ». Sur le plan opérationnel, les décideurs et gestionnaires environnementaux doivent répondre à plusieurs questions qui ont toutes une forte connotation géographique, puisqu'il s'agit de définir où faut-il agir sur le terrain pour maintenir autant que possible la biodiversité (Theobald et al., 2000).

Pour répondre à ces questions, l'écologie du paysage fournit plusieurs corps de méthodes visant à quantifier la connectivité paysagère. Les graphes paysagers constituent une de ces approches, offrant un bon compromis entre la masse de données nécessaires et la capacité à représenter avec pertinence les processus écologiques (Calabrese et Fagan, 2004). Les graphes paysagers ont émergé à partir des travaux de

Bunn et al. (2000) et Urban et Keitt (2001), et se sont ensuite rapidement développés. Des synthèses ont récemment permis de faire le point sur ces méthodes (Galpern et al., 2011 ; Rayfield et al., 2011). Toutefois, bien que de nombreux chercheurs revendiquent l'intérêt des graphes paysagers pour l'aide à la décision en gestion environnementale, il y a actuellement un manque de clarté sur les modes d'application de ces méthodes. Notre contribution vise donc à proposer un cadre formel pour clarifier l'usage de ces méthodes dans des démarches opérationnelles.

Méthodes

Construction du graphe paysager

Dans un graphe paysager, les nœuds représentent des taches d'habitat et les liens représentent la connexion fonctionnelle entre les taches. Il existe de multiples paramètres à choisir pour construire ces graphes, notamment dans la définition des liens et de la métrique spatiale qui fixe leur pondération. Les graphes paysagers sont le support permettant de calculer des métriques de connectivité à plusieurs niveaux, du niveau global (pour le graphe entier) au niveau local (pour chaque élément du graphe).

Mise en œuvre des graphes paysagers

Un cadre d'utilisation des graphes paysagers est proposé à partir des grandes questions adressées aux acteurs de la gestion environnementale :

1. priorisation : où sont les zones les plus vulnérables d'un réseau écologique ? Pour les questionnaires, ces zones sont à protéger en priorité.
2. quelles sont les zones dans lesquelles un aménagement donné (comme l'implantation d'une autoroute par exemple) aura un impact en termes de connectivité paysagère ?
3. où intervenir de façon à modifier la fonctionnalité du paysage, en implantant de nouveaux aménagement ou en restaurant certains éléments pay-

sagers ?

Ces trois questions sont à mettre en correspondance avec un mode d'utilisation des graphes paysagers, suivant des approches statiques ou diachroniques. La prise en compte de deux niveaux d'échelle, l'un focalisé sur des sites particuliers, l'autre visant à prendre en compte l'ensemble du réseau, intervient également dans les choix méthodologiques. L'ensemble de ces critères est présenté dans le tableau 1. Nous précisons ensuite sur les trois formes d'applications.

TABLE 1 – Cadre d'utilisation des graphes paysagers pour la gestion environnementale

| Type d'application | Domaine | Dimension temporelle de l'analyse | Finalité dans une perspective orienté sur un site | Finalité dans une perspective orienté sur le réseau entier |
|--|---|---|---|--|
| Priorisation | Plan de protection, conservation biologique | Statique : occupation du sol et graphe paysager à une date unique | Conservation locale | Conservation globale |
| Estimation de l'impact d'une modification d'occupation du sol | Estimation d'impact environnemental | Diachronique : changement d'occupation du sol | Impact sur une partie du réseau écologique | Impact sur l'ensemble du réseau écologique |
| Conception de nouveaux éléments pour améliorer la connectivité | Gestion paysagère | Diachronique : modification virtuelle du graphe paysager | Renforcer une partie du réseau écologique | Renforcer l'ensemble du réseau écologique |

Calculs pour une aide à la priorisation

Une approche permettant d'identifier les éléments-clés du réseau est la méthode dite « de suppression » (removal method). Elle a été proposée dans les premières études sur les graphes paysagers (Bunn et al., 2000 ; Urban et Keitt, 2001). Une autre façon d'identifier les éléments clés est l'application des métriques de centralité intermédiaire issus de la théorie des graphes (Zetterberg, 2010). Le calcul de ces métriques a été adaptée au contexte spécifique des graphes paysagers (Bodin and Saura, 2010 ; Foltête et al., 2012a).

Estimation d'impact d'un changement d'occupation du sol

Un aperçu de l'impact d'un changement d'occupation du sol sur le réseau écologique est possible en identifiant visuellement les modifications du graphe paysager. Ainsi par exemple, les liens du graphe qui se trouvent « coupés » par une autoroute peuvent être cartographiés. Cependant, comme l'impact d'un élément perturbateur peut se produire à distance, il est préférable de fonder le diagnostic sur une métrique de connectivité. Deux stratégies sont possibles, en comparant les valeurs d'une métrique avant et après le changement d'occupation du sol :

- soit on cherche à comparer de multiples scénarios de changement d'occupation du

- sol, et il est dans ce cas logique d'établir la comparaison à partir d'une métrique calculée au niveau global, comme par exemple dans Tannier et al (2012).
- soit on veut estimer l'impact d'une seule modification d'occupation du sol, et la question de la cartographie de cet impact nécessite l'usage d'une métrique locale. Le taux de variation local de la métrique permet ainsi d'estimer et de cartographier les conséquences probables du changement d'occupation du sol.

Conception de nouveaux éléments pour améliorer le réseau écologique

Cet objectif peut aussi se fonder sur une métrique de connectivité ayant une définition globale. Deux pistes impliquant une mise en œuvre sensiblement différente sont à envisager : l'ajout de nouvelles taches ou l'ajout de nouveaux liens. Dans les deux cas, ces ajouts d'éléments dans le réseau écologique doivent être effectués dans des zones préalablement définies comme favorables, à la fois d'un point de vue écolo-

gique, mais aussi sur le plan administratif. Une fois ces zones définies, un algorithme de recherche itérative des lieux qui maximisent la valeur de la métrique de connectivité peut être appliqué, en ajoutant successivement une série d'éléments.

Illustration par un cas d'étude

L'ensemble des applications de graphes paysagers est appliqué à un cadre d'étude autour de la ville de Belfort, en Franche-Comté. Dans cette zone constituant une interface entre le massif vosgien et les plateaux jurassiens se trouve un important réseau de mares. En prenant comme référence la classe des amphibiens tributaires de ces mares, un graphe paysager est mis en place. Ensuite, nous appliquons successivement les trois principales démarches d'appui à la gestion environnementale. Pour chacune, les deux échelles d'analyse (focus sur un site ou prise en compte de la totalité du réseau) sont comparées. L'ensemble des modélisations est effectué à partir du logiciel Graphab 1.0 (Foltête et al., 2012b).

Références

- Ahern J., 1995. Greenways as a planning strategy. *Landscape and Urban Planning* 33 : 131-155.
- Bodin O, Saura S, 2010. Ranking individual habitat patches as connectivity providers : Integrating network analysis and patch removal experiments. *Ecological Modelling* 221 : 2393-2405.
- Boitani L., Falcucci A., Maiorano L., Rondinini C., 2007. Ecological Networks as Conceptual Frameworks or Operational Tools in Conservation. *Conservation Biology* 21 : 1414-1422.
- Bunn, A.G., Urban, D.L., Keitt, T.H., 2000. Landscape connectivity : a conservation application of graph theory. *Journal of Environmental Management* 59 : 265-278.
- Calabrese, J.M., Fagan, W.F., 2004. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. *Frontiers in Ecology and Environment* 2(10) : 529-536.
- Foltête J.C., Clauzel C., Vuidel G., Tournant P., 2012a. Integrating graph-based connectivity metrics into species distribution models. *Landscape Ecology* 27 : 557-569.
- Foltête J.C., Clauzel C., Vuidel G., 2012b. A software tool dedicated to the modelling of landscape networks. *Environmental Modelling and Software* 38 : 316-327.
- Galpern, P., Manseau, M., Fall, A., 2011. Patch-based graphs of landscape connectivity : A guide to construction, analysis and application for conservation. *Biological Conservation* 144 : 44-55.
- Rayfield, B., Fortin, M.J., Fall, A., 2011. Connectivity for conservation : a framework to classify network measures. *Ecology* 92 : 847-858.
- Tannier C., Foltête J.-C., Girardet X., 2012. Assessing the capacity of different urban forms to preserve the connectivity of ecological habitats. *Landscape and Urban Planning* 105 : 128-139.
- Theobald D.M., Hobbs N.T., Bearly T., Zack J.A., Shenk T., Riebsame W.E., 2000. Incorporating biological information in local land-use decision making : designing a system for conservation planning. *Landscape Ecology* 15 : 35-45.
- Urban, D.L., Keitt, T.H., 2001. Landscape connectivity : a graph theoretic approach. *Ecology* 82 : 1205-1218.
- Zetterberg A., Mörtberg U.M., Balfors B., 2010. Making graph theory operational for landscape ecological assessments, planning, and design. *Landscape and Urban Planning* 95 : 181-191.

Une approche multi-espèces pour estimer l'impact écologique de la croissance urbaine

Marc Bourgeois, Cécile Tannier, Jean-Christophe Foltête

ThéMA UMR 6049 CNRS
Université de Franche-Comté

Mots-clefs - écologie du paysage - croissance urbaine - graphes paysagers - approche multi-espèce - réseau écologique - connectivité

Contexte et problématique

La maîtrise de l'étalement urbain est devenue une nécessité face au nombre important de nuisances induites par ce 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 diminution des habitats de la faune sauvage. Ces impacts écologiques sont à prendre en compte par les collectivités territoriales dans le cadre des orientations politiques issues du Grenelle de l'environnement. L'estimation de ces impacts pose des difficultés méthodologiques, puisqu'ils concernent de nombreuses espèces animales et doivent intégrer la notion de réseau écologique. Dans ce contexte, comment estimer localement l'impact écologique de différents scénarios de croissance urbaine, en s'appuyant sur une approche multi-espèces? Pour répondre à cette question, nous proposons de i) comparer différentes approches possibles pour l'estimation des impacts de l'urbanisation sur les réseaux écologiques de plusieurs espèces, ii) évaluer l'impact écologique des scénarios d'urbanisation, en utilisant une approche multi-espèces, iii) s'appuyer sur les résultats obtenus pour délimiter des zones de conservation.

Méthodologie

L'évaluation prospective de l'impact écologique de la croissance urbaine implique de combiner deux approches méthodologiques :

- La simulation prospective de nouvelles zones d'urbanisation
 - La modélisation des réseaux écologiques
- Il s'agira ensuite de comparer en quoi différentes formes de croissance urbaine perturbent plus ou moins les réseaux écologiques d'espèces différentes.

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 morphologiques permettant de simuler l'application de différents modèles de villes (ville compacte, diffuse, ou fractale), ainsi que de règles d'accessibilité (proximité à la route, accessibilité aux espaces ouverts, accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne et hebdomadaire). 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 ou SCoT.

Modélisation des réseaux écologiques

Les graphes paysagers permettent de modéliser les réseaux écologiques en effectuant un bon compromis entre la précision et la

quantité de données écologiques requises, et leur significativité (Urban & Keitt, 2001). Dans ces graphes, un nœud représente une tache d'habitat optimale 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 à plusieurs niveaux : pour le graphe entier (connectivité globale), pour les composantes ou pour chaque élément (connectivité locale). La modélisation des réseaux écologiques peut être effectuée selon deux approches : i) l'approche habitat, ii) l'approche espèce.

L'approche habitat se focalise sur un type d'habitat qui abrite plusieurs d'espèces. Elle permet de s'affranchir de la présence de données de terrain et demeure plus facilement reproductible. Cependant, un seul type d'habitat abrite souvent de nombreuses espèces avec des caractéristiques fonctionnelles différentes. La modélisation de la connectivité paysagère reste peu significative écologiquement, puisqu'on ne peut pas réduire l'ensemble des espèces abritées par un habitat donné aux caractéristiques de cet habitat. Sans données de terrain sur les espèces, la validation du réseau écologique modélisé n'est pas possible.

L'approche espèce consiste, elle, à modéliser le réseau écologique d'une espèce cible. Elle tient compte des caractéristiques fonctionnelles de cette espèce (distance de dispersion, habitat préférentiel ou taille minimum de son espace vital) pour mesurer la connectivité paysagère. L'intérêt principal de l'approche espèce est la validation possible du graphe paysager à l'aide de données de terrain sur la présence ou les déplacements de l'espèce, comme dans Pereira et al. (2010) ou Foltête et al. (2012a). Toutefois, cette approche est difficile à appliquer pour toutes les espèces faunistiques susceptibles d'être protégées.

L'approche multi-espèce est un compromis entre l'approche espèce et l'approche habi-

tat. 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.

Différentes possibilités peuvent être envisagées pour mettre en œuvre l'approche « multi-espèce ». Une première possibilité est de calculer une métrique paysagère globale en faisant varier la distance de dispersion. Ceci permet d'obtenir des résultats représentatifs de plusieurs espèces, sous la forme d'une courbe de connectivité en fonction de la distance de dispersion. Cette méthode a déjà été utilisée pour comparer les impacts de plusieurs scénarios d'aménagement (Saura & Rubio, 2010 ; Tannier et al., 2012a). Une autre possibilité est d'identifier d'abord des groupes d'espèces en fonction de leurs caractéristiques fonctionnelles, et de sélectionner ensuite un petit nombre d'espèces-type représentatives de chaque groupe. Minor et Lookingbill (2010) ont adopté cette stratégie pour sélectionner des espèces virtuelles parmi trois groupes de mammifères définis en fonction de leur distance de dispersion et de leur domaine vital. Les réseaux écologiques sont ensuite modélisés pour chaque espèce-type (ou chaque espèce virtuelle) représentative.

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, 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. Deux scénarios d'urbanisation ont été réalisés à l'aide de l'outil logiciel MUP-City (Tannier et al., 2012b) : un scénario fractal, et un scénario non fractal tenant compte de différentes règles d'accessibilité et des zones non urbanisables.

A l'aide de la liste rouge des espèces menacées (IUCN, 2012), nous avons sélectionné les espèces présentes dans l'aire urbaine de Besançon et dont l'habitat est le milieu boisé. Parmi les espèces vivant dans ce milieu, nous avons choisi les plus menacées à l'échelle de la région Franche-Comté. D'après la taille minimale de leur espace vital et leur distance de dispersion, nous avons pu dégager plusieurs groupes d'espèces selon la méthode décrite dans Minor & Lookingbill (2010). Nous avons ensuite choisi une espèce-type représentative de chaque groupe d'espèce.

Pour évaluer l'impact de la croissance urbaine sur chaque espèce-type, une métrique

paysagère locale a été calculée pour chaque tache d'habitat. L'évaluation de l'impact consiste à mesurer, pour chaque espèce-type, la variation de la métrique entre l'état initial et l'état résultant de la simulation de la croissance urbaine. La construction des graphes paysagers et le calcul des métriques de connectivité ont été réalisés avec le logiciel Graphab 1.0 (Foltête et al., 2012b).

A partir des résultats obtenus, une analyse statistique permet la comparaison de l'impact des deux scénarios pour chaque type d'espèce. L'agrégation (ou la synthèse) des impacts pour chaque type d'espèce permet aussi d'évaluer l'impact multi-espèces de chaque scénario d'urbanisation. A l'aide de ces résultats, il est possible d'identifier les zones les plus vulnérables pour tous les groupes d'espèces considérés et de proposer des zones de conservation qui pourraient, à terme, aider à l'identification de trames vertes et bleues.

Références

Foltête J.C., Clauzel C., Vuidel G., Tournant P. (2012a). Integrating graph-based connectivity metrics into species distribution models. *Landscape Ecology*, 27, 557-569.

Foltête, J.-C., Clauzel, C., Vuidel, G. (2012b). A software tool dedicated to the modelling of landscape networks. *Environmental Modelling & Software*, 38, 316-327.

International Union for Conservation of Nature (2012). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. Disponible sur : www.iucnredlist.org

Minor, E., & Lookingbill, T. (2010). A multiscale network analysis of protected-area connectivity for mammals in the United States. *Conservation Biology*, 24, 1549-1558.

Saura, S., & Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which

patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33, 523-537.

Pereira, M., Segurado, P., Neves, N. (2011). Using spatial network structure in landscape management and planning : A case study with pond turtles. *Landscape and Urban Planning*, 100, 67-76.

Tannier, C., Foltête, J.-C., & Girardet, X. (2012a). Assessing the capacity of different urban forms to preserve the connectivity of ecological habitats. *Landscape and Urban Planning*, 105, 128-139.

Tannier, C., Vuidel, G., Houot, H., & Frankhauser, P. (2012b) Spatial accessibility to amenities in fractal and non fractal urban patterns. *Environment and Planning B*, 39, 801-819

Urban, D., & Keitt, T. (2001). Landscape connectivity : A graph-theoretic perspective. *Ecology*, 82, 1205-1218.

Atelier 6

Hiérarchies urbaines : nouvelles approches

Distributions rang-taille de l'ensemble des lieux habités : quelques avancées majeures et nouvelles perspectives

Cathy CHATEL, François MORICONI-EBRARD

Université d'Avignon, UMR 7300 Espace
Equipe d'Avignon

Mots-clefs - Distribution du peuplement, formes, loi rang-taille, métropolisation, urbanisation

Contexte et Objectifs

La visualisation et l'analyse d'une distribution de lieux de peuplement à partir de la loi rang-taille s'est traduite par un grand nombre de productions scientifiques. Les auteurs ont souligné quelques limites de cette mise en forme des données : la visualisation par une échelle lognormale, le rang comme variable expliquée (PUMAIN, 1982), l'absence de l'espace [lieu de peuplement comme point sans dimension, distribution des lieux selon leur taille sans tenir compte de leur situation géographique].

En revanche, l'explication des écarts à la loi, lors de son application sur un échantillon, ont été peu approfondies. L'intérêt du modèle réside pourtant dans ces résidus. L'un d'eux concerne la partie haute de la distribution : la ville de rang 1, soit la plus grande ville du système considéré, est très significativement soit trop grande, soit trop réduite par rapport à ce que prévoit le modèle. Ainsi, une courbure convexe ou concave distingue le haut de la hiérarchie, l'éloignant d'une distribution linéaire. L'explication couramment avancée est que l'échantillon considéré ne convient pas : dans le premier cas, le système territorial considéré est trop petit, dans le second, il est trop vaste (mal intégré), d'où l'émergence de sous-systèmes particulièrement prégnants. La confrontation du modèle à un grand nombre d'échantillons à partir de la base de données e-Geopolis a mené à critiquer le modèle ainsi qu'à proposer une lecture renouvelée de la distribution des lieux de peuplement : chaque forme de

la distribution serait liée à un contexte d'organisation des sociétés et de répartition des lieux habités. Ce faisant, l'approche proposée ici se propose d'opérer une passerelle entre approche quantitative et anthropologique.

Données et méthodes : les avancées de l'approche expérimentale

La base de données e-Geopolis est issue de la mise à jour et de la refonte de la base de données originelle Geopolis constituée par F. Moriconi-Ebrard dans les années 1990 (MORICONI-EBRARD, 1994). La ville est définie par une approche strictement morphologique : l'agglomération est une unité bâtie sans solution de continuité de plus de 200 mètres, tandis que, pour être qualifiée d'urbaine, elle compte un minimum de 10 000 habitants agglomérés. Pour informer ces agglomérations morphologiques par une quantité de population, il est nécessaire de croiser les objets morphologiques aux unités locales décrits par leur population dans les recensements. Les contours physiques des agglomérations (corpus A) sont ajustés sur ceux des unités locales (corpus B).

Réorganisées dans le cadre d'un programme CORPUS de l'ANR, les données couvrent donc l'ensemble du peuplement, et non plus seulement les agglomérations de plus de 10 000 habitants. De plus, les données historiques ont été enrichies, en essayant de recueillir les données depuis l'origine des recensements modernes, depuis le 19^e siècle. Le croisement entre unités locales et agglomérations c'est-à-dire entre le peuplement

et l'espace urbain, devient ainsi opérationnel. L'application de la loi rang-taille à nos échantillons permet de proposer trois avancées majeures.

- D'abord, les données historiques permettent de saisir des distributions du peuplement à l'aube de la Révolution industrielle, autrement dit : avant les transitions démographique, urbaine et industrielle qui vont bouleverser l'époque contemporaine.
- Ensuite, l'ensemble du peuplement permet de réinterroger l'organisation du peuplement dans sa totalité, et non pas seulement la distribution rang-taille des « villes ». Dès lors, des dizaines de mesures expérimentales montrent le caractère arbitraire du seuil qui oppose-rait peuplements rural et urbain. En revanche, toutes révèlent l'existence d'un seuil qui ne cesse de s'affirmer, appelé le « seuil métropolitain », entre une ou quelques très grandes agglomérations et les autres.
- Enfin, comme les agglomérations sont prises à délimitation variable suivant l'extension réelle du bâti à chaque époque, on découvre que depuis les années 1990, l'étalement spatial des agglomérations prend le pas sur leur croissance démographique. De vastes aires urbanisées se forment et sont en mesure de transformer fondamentalement les hiérarchies urbaines. Les agglomérations ont elles-mêmes changé de forme, semant le trouble dans le vocabulaire et les définitions (métropolisation, périurbain, méta-urbain). Les hiérarchies mondiales et nationales se trouvent bouleversées.

Quelques exemples cartographiques de « nouvelles agglomérations », aires métropolitaines extensives, transnationales, polycentriques, qui compensent par l'étalement et la mise en réseau la crise démographique locale du monde post-industriel.

Résultats et nouvelles hypothèses

Deux types de résultats sont proposés : l'un sur les césures récurrentes des distributions rang-taille des lieux de peuplement, l'autre

relatifs aux facteurs anthropologiques (société, économie, politique) de déformation des distributions parétiennes.

a) La confrontation du modèle à des dizaines d'échantillons de systèmes territoriaux nationaux pris dans le monde entier et à des époques différentes confirme tout d'abord la généralité des résidus : la sous-estimation ou la surestimation de la taille première ville d'un système urbain est la règle, quand sa conformité par rapport au modèle est une exception. Au contraire, la césure entre « urbain » et « rural » est de type flou (fuzzy), voire purement qualitative et arbitraire et sa valeur varie considérablement d'un pays et/ou d'une époque à l'autre.

Les résultats présentés conduisent à différencier deux objets, l'urbain et le métropolitain, au-delà de celle admise entre urbain et rural. Cette différence est profonde, qualitative et quantitative, et représente la discontinuité la plus profonde, la plus régulière dans les continuums du peuplement.

b) Fort de ce constat, on peut associer toute distribution rang-taille à une organisation de l'espace particulière, correspondant à des conjonctures précises de l'histoire qui se manifestent notamment par un triptyque de régimes politiques (théocratique, planifié-centralisé, libéral-démocrate).

La comparaison de distributions rang-taille à deux siècles d'intervalles voire plus, met en évidence trois équilibres des systèmes urbains (CHATEL, 2012). Le système pré-moderne, faiblement hiérarchisé, s'applique à une société massivement rurale. Le système moderne s'épanouit sous la houlette d'un pouvoir centralisé et rationalisé qui tend vers une distribution très hiérarchisée. Le système urbain post-moderne libéral, fondé sur les échanges se conforme au modèle rang-taille suivant la loi du moindre effort et dans un compromis entre force d'unification et force de dispersion (PUMAIN, 1982).

Derrière ces équilibres, se profilent les canaux fondamentaux des formes de gouvernance des territoires : le point (la ville), la

surface (l'hinterland), la ligne (le réseau), qui sont également les principes fondateurs de la modélisation graphique chez R. BRUNET.

Perspectives

La question qui se pose est : pourquoi une distribution passe-t-elle d'un état à l'autre ? Les hypothèses relatives à cette question sont posées dans le paradigme du « modèle du tas de sable », qui renvoie au concept de « criticalité auto-organisée ». Dans ce cadre, l'équilibre des systèmes de

peuplement oscille entre trois formes, de type « cristallin » (I) faiblement hiérarchisé, « zipfien » parétien et linéaire (II) et « primatial » (III). Le passage de l'un à l'autre passe par des états-critiques, qui peuvent être repérés par des seuils-limites. A ce titre, la loi de la métropolisation (MORICONI-ÉBRARD, 1998) qui révèle un rapport entre deux stocks et deux espaces, métropolitain, et urbain, est valable à une période précise de l'histoire de l'urbanisation : dès qu'une société rurale passe à une société urbaine et que la population urbaine devient majoritaire.

Références

CHATEL Catherine, Dynamiques de peuplement et transformations institutionnelles. Une mesure de l'urbanisation en Europe de 1800 à 2010, Thèse de doctorat, Université Paris Diderot-Paris VII, 2012.

DE VRIES Jan (1984). European urbanization : 1500 – 1800. London : Methuen, 350 p.

MORICONI-ÉBRARD François (2000) [1]. De Babylone à Tokyo, les grandes agglomérations du Monde. Gap/Paris : Ophrys, Coll. Géophrys, 344 p.

MORICONI-ÉBRARD François (1994). Géopolis : pour comparer les villes du monde. Paris : Éd. Economica, Anthropos, Coll. Villes, 246 p.

MORICONI-ÉBRARD François (1998). « La loi de la métropolisation : un modèle pour la croissance des systèmes urbains » in Revue de Géographie de Lyon, Vol. 73, 1998-I, pp. 55-70. URL : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geoca_0035-113x_1998_num_73_1_4803

PUMAIN Denise (1982). La dynamique des villes. Paris : Economica, 231 p.

BAK Per (1999). Quand la nature s'organise. Paris : Flammarion, 283p.

VAN CAENEGEM, R.C., 2002, European Law in the Past and the Future. University and diversity over Two Millennia, Cambridge University Press, 175p.

Fractalopolis - un système de peuplement multifractal dans le but du développement durable

Pierre Frankhauser

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 – CNRS –
Université de Franche-Comté
32 rue Mégevand, F-25000 Besançon

Contexte

Dans le contexte du développement durable la périurbanisation est souvent mis en cause car elle est susceptible de générer un étalement urbain diffus dont deux types de conséquences néfastes sont mis en avant, la consommation d'espace et la génération de trafic. La consommation d'espaces est associée à la forte présence de maisons individuelles, mais aussi à une fragmentation de l'espace bâtie par l'implantation de lotissements parfois détaché de l'habitat existant. La génération de trafic est un problème complexe car elle est directement liée au lieu d'implantation des habitations. En effet une implantation de lotissements dans des communes situées loin d'infrastructures commerciales et d'emplois augmente le nombre et la longueur des déplacements en général effectués en voiture personnelle ce qui génèrent une consommation d'énergie et de pollution (Newman et Kenworthy, (1998)). En outre la construction de routes et une urbanisation diffuse sont susceptibles de fragmenter et de fragiliser les espaces naturels.

Pour contrecarrer cette évolution, de nombreux auteurs prônent la ville compacte. Ils mettent en avant le fait que celle-ci favorise l'utilisation des transports publics, permet une bonne accessibilité aux commerces et services et réduit la ségrégation sociale. Dans le même esprit, des politiques ont été mises en place qui visent une densification des zones urbaines. Toutefois la périurbanisation correspond à un mode de vie. Une enquête réalisée en 2007 (Gault et Bedeau (2007)) a mis en évidence que l'habitat souhaité par 76% des ménages français est

la maison individuelle. Il paraît donc difficile de convaincre ces ménages d'une densification (Breheny (1997)) et ce n'est pas surprenant que les opérations de densification des zones résidentielles soient souvent contestées par les populations concernées (Fouchier (1995)). Schwanen et al. (2004) ont montré que la densification risque à moyen terme d'inciter les ménages à se relocaliser vers des zones moins denses.

Refuser la périurbanisation ne semble donc pas être efficace tout comme un étalement diffus et non-contrôlé paraît inacceptable par rapport à ses conséquences environnementales. Différents concept d'urbanisme visent à concilier ces deux aspects. Citons comme exemple le plan de Copenhague qui favorise le développement le long des axes de transport en commun en intercalant entre ces axes des zones vertes qui assurent la proximité de zones de loisir aux résidents tout en contribuant à un apport d'air fraîche au centre urbain. D'autres concepts intègrent l'idée d'une hiérarchie fonctionnelle dans leur réflexion comme par exemple le transit oriented development qui propose un développement le long des axes de transport en commun en distinguant différents niveau de service.

Un nouveau concept d'aménagement

La distinction de lieux centraux en fonction de la fréquence de recours introduite par Christaller (1933) semble en effet une approche intéressante dans ce contexte. Dans ce modèle les aires de chalandise des services et commerces dépendent de leur ni-

veau hiérarchique. On affecte aux services et commerces à faible fréquentation des aires de chalandises plus larges qu'aux services banaux qui devrait être accessible de préférence par mode doux comme le prévoit le transit oriented development. Toutefois l'organisation spatiale proposée par Christaller part d'une réparation uniforme du système de peuplement ce qui n'est pas en cohérence par rapport à l'objectif de réduire en général les distances à parcourir.

Ceci nous a incités à développer un modèle conceptuel d'aménagement qui s'inspire du principe hiérarchique caractéristique pour les objets fractals (Frankhauser et al. (2011)). Dans cette approche différents niveaux d'offre de commerce et service sont distingués selon leur fréquence de recours (quotidienne, hebdomadaire, mensuelle, rares). L'outil d'aide à la décision MUP-city permet de développer des scénarios de développement et d'évaluer leur performance par rapport à l'accessibilité aux services et commerces (Tannier et al (2012)).

Dans ces travaux le système spatial proposé s'inspire de la logique des tapis de Sierpinski. Un système emboîté d'axes de transport en commun irrigue les zones pour lequel un futur développement est préconisé. La faible interconnexion du réseau réduit l'accessibilité aux autres centres du même niveau de service en évitant les infrastructures circulaires dont on sait qu'elles sont susceptibles de générer à terme une urbanisation supplémentaires. En revanche on préserve un système connexe de zones vertes de taille variée qui évite des coupures et qui pénètrent à de multiples endroits les zones urbanisées. En poursuivant le principe d'emboîtement d'échelles à l'échelle intra-urbaine on favorise l'articulation des zones habitées et du paysage ouvert à travers un allongement de la bordure urbanisée.

Un modèle avancé : Fractalopolis

Dans le modèle simple introduit au précédent les zones urbaines ou à urbaniser sont

tous de même taille. Ceci pose des difficultés si on s'intéresse à l'échelle d'une zone métropolitaine. En effet l'étendu de la ville centre est plus importante que celui des centres secondaires ou tertiaires. Le modèle présenté élargit donc le concept géométrique de base en admettant qu'il existe un centre principal entouré d'un certain nombre de centres secondaires. Un principe d'emboîtement d'échelle qui correspond à une logique multifractale permet alors de générer un système hiérarchique de tâches urbaines de tailles différentes. Ce modèle permet en outre, contrairement au modèle initial, d'ajuster la position des zones urbaines ou à urbaniser de façon plus libre tout en respectant les restrictions imposées par la logique fractale.

La présentation se focalise sur un aspect particulier du modèle, la répartition de la population dans le système de peuplement considéré (Frankhauser (2012)). Il est en effet possible d'affecter aux différentes zones des parts de la population. Dans une première étape on définit le générateur constitué d'un centre principal et de N centres secondaires localisés autour de la ville centre sur des axes de transport en commun. Chaque centre est représenté par son aire de développement, habituellement des zones carrées, centrées sur la ville en question. L'aire affectée à la ville principale est plus grande que les aires des centres secondaires. Les zones qui ne font pas partie de cet ensemble sont perçues comme arrière-pays rural. On distingue alors la part de la population qui est affectée au hinterland rural, la part qui est attribué au centre principal et celle qui est attribuée aux N centres secondaires. Ceci permet en principe d'ajouter mais aussi de réduire la population rurale et de concentrer plus de population dans la ville centre ou, au contraire, de favoriser une certaine concentration dans les villes secondaires

La prochaine étape procède de façon équivalente. On distingue maintenant au sein des aires d'attraction des centres déjà définis de nouveau des centres principaux entourés de centres tertiaires. La localisation des centres devrait de nouveau cor-

respondre à une bonne desserte par transport en commun. Le système spatial se complexifie par la logique d'emboîtement d'échelles des facteurs qui régissent la taille des aires d'attraction. On génère aussi des zones rurales supplémentaires formant un hinterland plus proche des zones urbaines. Le modèle prévoit au sein des zones urbaines définies au précédent un ajustement pour la répartition de la population entre centres principaux, centres tertiaires et hinterland proche. Les étapes suivantes reprennent le même principe.

Le logiciel développé permet d'estimer les facteurs de répartition à partir de la situation réelle, mais permet aussi d'imposer des facteurs, par exemple en préconisant une plus forte ou moins forte concentration de la population à certains niveaux. Il permet de visualiser la différence entre modèle théorique estimé et répartition réelle et entre modèle imposé et situation réelle. Il est donc possible de tester une grande variété de scénarios et de les comparer à la situation réelle. Ceci sera illustré à travers un exemple concret.

Références

- Breheny M. J. (1997) : *Urban compaction : feasible and acceptable?* , *Cities*, 14, pp. 209-217.
- Christaller W. (1933) : *Die zentralen Orte in Süddeutschland*, G. Fischer, Reproduction par la Wissenschaftliche Buchgesellschaft, (1980).
- Fouchier V. (1995) : *La densification : une comparaison internationale entre politiques contrastées* , *Les Annales de la Recherche Urbaine*, 67, pp. 95-108.
- Frankhauser P., Tannier C., Vuidel G., Houot H. (2011) : *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.
- Frankhauser P. (2012) : *The Fractalopolis model - a sustainable approach for a central place system*, working paper HALSHS, hal-00758864
- Gault G., Bedeau L., (responsables) (2007) : *Les Français et leur habitat - Perception de la densité et des formes d'habitat, Principaux enseignements du sondage réalisé pour l'Observatoire de la Ville du 10 au 12 janvier 2007* , TNS Sofres : Département Stratégies d'Opinion / Société, HHHTUTU-TU <http://www.observatoiredelaville.com/pdf/SyntheseSondage.pdfUUUTTTTHH>
- Newman P.W.G., Kenworthy J.R. (1998) : *Sustainability and cities - Overcoming automobile dependence*. Washington D.C., Island Press.
- Schwanen T. , Dijst, M., Dieleman F.M. (2004) : *Policies for Urban Form and their Impact on Travel : The Netherlands Experience*, *Urban Studies*, Vol. 41, No. 3, pp. 579-603
- Tannier C., Vuidel G. , Houot H. , Frankhauser P. (2012) : *Spatial accessibility to amenities in fractal and nonfractal urban patterns*, *Environment and Planning B*, Vol. 39, pp. 801 - 819

Space syntax analysis in support of tourists facilities. A case study based on Venice

Coda Alessandra

Polytechnic of Milan, DASTU - Department of Architecture and Urban Studies
Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133, Milan, Italy.

alessandra.coda@mail.polimi.it

Key words - Urban tourism, tourist facilities, space syntax analysis, labyrinth, Venice.

Urban experience of tourist

The presence of numerous heritage cities in Italy makes the phenomenon of urban tourism, (Page,1995) particularly important for our country and, therefore, needs more and more attention. The main components of this topic are, as the name highlights, the city and the tourist. As the aim of this work, it is useful to consider these two features focusing, on the one hand, for the city chosen to visit, on its compositional nature of roads that constitute it and, on the other hand, for the tourists, on their perceptive nature with which they discover the urban reality.

The composition of the spaces is, for the tourists, one of the dominant factors determining their predisposition to follow a certain path. In this context, focusing on the tourist experience (Graefe-Vaske, 1987) of the city, different of the one of the resident, the Space Syntax Analysis, as one of the techniques to measures the urban spaces, seems to be the one that best correlates the properties of the network to the way in which the tourists perceive and move through it :

1. the analysis lends itself better to estimate the pedestrian movement, that characterizes the majority of the short displacements of tourists, rather than the vehicular one, well predicted also from the OD models ;
2. the analysis explores and describes the property of every elements of the

system in respect of all the other possible elements and it is appropriated to cover the tourist movement not affected only on a specific route origin – destination like the home-work movement, typical of the residents ;

3. the technique assigns to the urban space, as it is designed and structured, the main role in influencing the formation of movement and it easy to assume that it impacts deeply in the visitors displacements : they gradually try to know and store the information of the city's layout during the exploration, unlike the residents that have already a good knowledge of the roads structure ;
4. the space, as composed in visual perception units, is measured through the concept of topological distance, represented in the number of sight lines, deeply different from the one of the metric distance : this approach suits well with the tourists behaviour as they tend to follow the paths with the least changes of direction, easier to store in mind and along which they less easily tend to get lost, unlike the resident that, realistically, prefer those paths that minimize costs and time.

Space Syntax Analysis : methodology and main indices

As previously introduced, the Space syntax analysis (Hillier 1976, Cutini 2010) fo-

cuses on the exploration of the urban grid, composed of all those spaces in which the people can move without any kind of limitations. Following the Axial Analysis, the urban grid is discretized into a finite number of sight segments, called axial lines.

Between each elements of the system multiple relationships, called configurational indices, can be derived. It is possible to outline two levels of measures. The first order measures refer at the ones directly calculated on the system :

- the connectivity index is a local measure defined as the number of lines directly connected with a chosen line.
- the integration index is a global measure that describes, providing an accessibility degree, the mean depth of a lines compared to all the other lines of the system.
- The control index is a local measure defined, for a chosen line, as the sum of inverted connectivity indices of the directly connected lines.
- The choice index is a global measure that describes the frequency with which a line falls within the paths of minimum topological length that connect all the lines to all the other lines of the system, excluding those to and from the considered line.

The second order measures (Hillier et al., 1987) refer at the relations between the first order measure :

- The intelligibility index represents the degree of the correlation between the connectivity and integration index, showing the degree with which a local property reflects the global asset.
- The movement interface index represents the degree of the correlation between the integration and choice index, showing the potential of an elements to be the result of both the to-movement and through-movement.

The case study of Venice : the critical issues that affect the tourist experience

It is now appropriate to ask whether the Space Syntax Analysis highlights, in the first instance, through the study of the urban network's configurational properties, the critical points for a city and, hence, the difficulty for tourists during their visit.

To answer this question, it is useful to take into account a real experiment ; the city of Venice has been chosen to carry out the study for different reason :

- it is one of the most popular cities in Italy and characterized by the presence of a strong flow of tourists ;
- due to the conformation of the lagoon soil, it has a complicated structure, comparable in terms of configurational properties, to the ones typical of a mazy structure ;
- it has adopted a pedestrian way of circulation.

The Space syntax analysis investigates the critical issues that characterize the urban grid of Venice, which might influence the tourists exploration :

1. the problem of mazy structure : all the network presents low values of the connectivity index (the mean connectivity value is equal to 3.6) ;
2. the issue of low resilience : trying to remove a line, like the Rialto bridge, the integration core, ie the lines with the highest values of integration, shifts significantly (in a more stable and orthogonal structure it wouldn't happen).
3. the accessibility issue : in terms of transport, the addition of the ferry lines to the streets network change the integration distribution ; the transport line in the Canal Grande becomes the ones with highest value of this index ; in terms of the areas accessible by disabled people, they appeared fragmented and characterized by a discontinued

distribution in the values of the integration index.

If the first two issues involve low value of intelligibility index, that implied wayfinding and orienteering problems for the tourists (Hillier, 2012), the third point highlights the low degree of movement interface, outlining the different movement of the residents, guided by the choice index, and the visitors, guided, initially, by a more intuitive layout property like the local and global integration.

Solutions to tourist’s difficulties and needs : the location of facilities through the space syntax indices

In a second instance, it is now appropriate to ask whether the Space syntax analysis

meets the needs of tourists by providing them with, following the values and distributions of configurational indices, the location of any additional services (Jansen-Verbeke, 1986). Through the experiment on Venice, the analysis is proved to be an excellent tool for setting up the facilities in overcoming the difficulties encountered by the tourists and in improving their experience. Table 1 reports the tourists needs, the type of facilities to be localized on the basis of those needs, and the relative locational criteria based on the values and distribution of the configurational indices; Figure 1-4 show the representations of the new localized facilities through the criteria outlined in the table.

| Tourist needs | | Solutions | Criteria |
|---------------|----------------------------------|--|---|
| Accessibility | By transport | Plane a touristic ferry line | Ensure the continuity of the more integrated areas |
| | For disable people | Plan new stairlifts and facilitated bridges | |
| | During the high water phenomenon | Plan new paths at 120 cm high continuous with those already existing | Based on the high choice values paths, which already well correspond to the routes reported from Venice municipality |
| Liveability | | New public toilette location | Based on the local and global integration index, that highlights the paths characterized by the high tourist flows |
| | | New drinking water points location | |
| Information | | Simple directional signals location | Based on the high choice values, where they correspond also to high integration values: the high presence of people in those areas gives to the visitor additional information besides the one of the roads composition |
| | | Information bars, maps and wireless points location | Based on the high choice values, where they correspond to low integration values: in this areas the visitors have less information, they tend to get lost walking randomly until falling in the same routes, characterized by high choice values that the residents, on the contrary, familiar with the network (Conroy, 2001) follow without hesitating. |
| Safety | | Security cameras location | Based on the high control values index, that highlights the lines that constituted the unique possible result in moving from and to the lines nearby. |

Table 1 : Criteria and solutions referred on the tourist needs

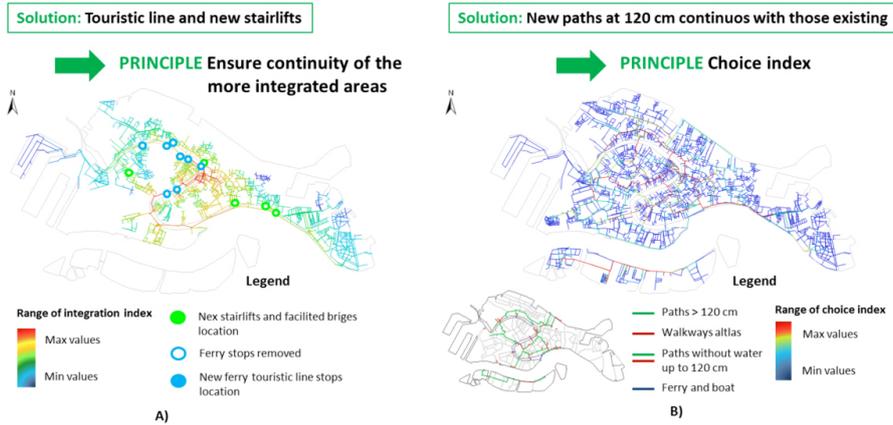


Figure 1: Localization of accessibility facilities through the distribution of the configurational indices: A) new ferry line to improve the accessibility in term of transport and new stairlifts to improve the accessibility for the disable people; B) new paths at 120 cm of high to increase the existing paths in case of high water phenomenon.

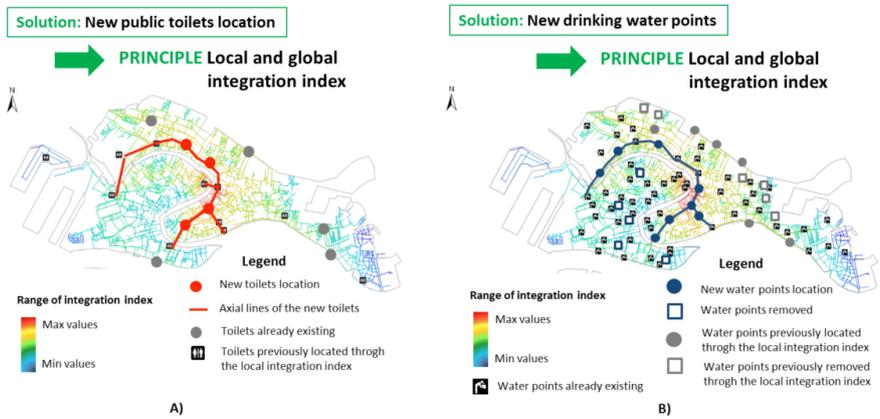


Figure 2: Localization of Liveability facilities through the distribution of the configurational indices: A) new public toilets location; B) new drinking water points location.

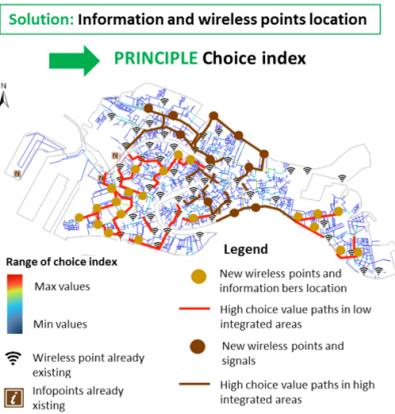


Figure 3: Localization of Information facilities through the distribution of the configurational indices.

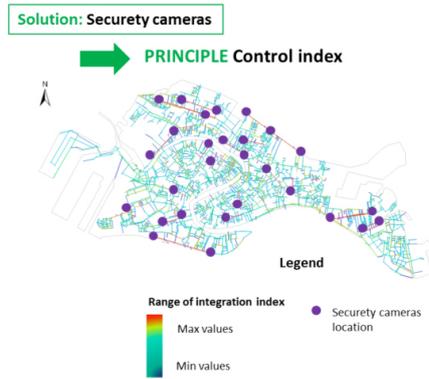


Figure 4: Localization of Safety facilities through the distribution of the configurational indices.

Références

Conroy R, 2001. *Spatial navigation in immersive virtual environments*, PhD Thesis, University of London.

Cutini V, 2010. *La rivincita dello spazio urbano. L'approccio configurazionale allo studio e all'analisi dei centri abitati*, Plus, Pisa University Press.

Graefe A. R, Vaske J. J, 1987. *A framework for managing quality in the tourist experience*, Annals of tourism research, vol.14, pp.389-404.

Hillier B, 1976. *Space is the Machine. A configurational theory of architecture*, Cambridge University Press.

Hillier B, Burdett R, Peponis J, Penn A, 1987. *Creating Life : or, does architecture determine anything ?*, Arch. &Comport/Arch. Behav., vol. 3, pp. 233-250.

Hillier B, 2012. *Studying cities to learn about minds : some possible implications of space syntax for spatial cognition*, Environment and Planning B : Planning and Design, vol. 39(1), pp.12-32.

Jansen, Verbeke M. 1986. *Inner city tourism : resources, tourist and promoters*, Annals of tourism research 13(1).

Page S. 1995. *Urban Tourism*, London Routledge topics in Tourism.

Atelier 7

Indicateurs et analyse spatiale

Une exploration de l'effet de voisinage sur des variables démographiques

Sébastien Oliveau¹, Yoann Doignon¹, Christophe Z. Guilmoto²

¹ESPACE UMR 7300

Sebastien.oliveau@univ-amu.fr

Yoann.doignon@univ-amu.fr

²IRD, CEPED UMR 196

Christophe.guilmoto@ird.fr

Mots-clefs - Autocorrélation spatiale, LISA, population, France

La dimension spatiale des phénomènes démographiques

Depuis plus de 20 ans, le développement de méthodes et outils informatiques de traitement de l'information géographique ont permis de changer notre regard sur les phénomènes démographiques. Les données ont migré des tableaux vers les cartes. Si localiser ces phénomènes constitue un premier gain (une « intelligibilité supplémentaire » pour reprendre l'expression de Pumain et Robic), les cartes n'autorisent qu'une approche encore trop subjective des dimensions spatiales. Les structures spatiales, si elles deviennent lisibles, ne sont pas encore mesurables.

Mesurer les dimensions spatiales

La question de la mesure des structures spatiales n'est certes pas récente : les premiers indices datent des années 50 (Moran, 1950; Geary, 1954), mais il faudra tout de même attendre les années 90 et le développement des capacités de la micro-informatique pour voir ces approches renouvelées (Haining, 1990). Les travaux de Getis & Ord (1992) et Anselin (1995) à propos des indicateurs locaux d'association spatiale ont permis aux chercheurs d'aller plus loin dans leurs explorations. D'une estimation globale des structures spatiales, que l'on peut décliner sous forme de diagramme (corrélogramme), il est devenu

possible d'envisager chaque entité séparément pour estimer sa contribution à l'indicateur global, mais aussi d'estimer le niveau local d'organisation spatiale.

Effet d'échelle : le MAUP est toujours présent

L'observation locale de l'autocorrélation spatiale a remis au goût du jour le problème du MAUP - Modifiable Areal Unit Problem (Openshaw, Taylor 1979; Wong, Amrhein, 1996). Le MAUP se rapporte d'une part aux différences de formes des unités spatiales et à la résolution utilisée de l'autre. Alors que le problème de la forme (ou effet de zonage) est assez difficile à résoudre, celui de la résolution (effet d'échelle) peut être plus facilement exploré pour comprendre son impact sur la mesure des structures spatiales. En effet, selon la résolution choisie, l'effet de voisinage peut varier significativement. Les indicateurs démographiques montrent justement des variations de structures selon l'échelle d'analyse retenue.

L'effet de voisinage : désagrégation et portée

L'exploration des dimensions spatiales des effets de voisinage suivra deux voies. Le premier aspect de notre analyse concernera l'exploration des effets d'agrégation et de désagrégation des unités spatiales. Il nous

permettra en particulier de mesurer les effets de voisinage à différentes échelles. La seconde approche examinera la portée des effets de voisinage. Les effets des changements de portée (distance ou ordre de contiguïté) éclaireront spécifiquement les dimensions spatiales. Le passage d'un niveau d'agrégation à un autre illustrera bien l'effet d'agrégation des données sur la perception des dimensions spatiales du phénomène étudié. On peut en effet montrer facilement que selon le niveau auquel on observe des variables, la mesure de leur structure spatiale par des indicateurs d'autocorrélation spatiale diffère.

En observant les changements de portée des voisinages pour chaque mesure, nous sommes par ailleurs capable d'estimer les dimensions spatiales du phénomène observé à une échelle donnée. Même si des entités spatiales proches ont souvent des valeurs similaires, l'impact de la distance qui les sépare n'est pas le même pour toutes les variables, illustrant ainsi la force de certaines structures spatiales.

Liens entre voisinage et échelle

La question du voisinage est très liée à celle des échelles et de la portée. Pour les besoins de la démonstration, nous proposons une comparaison des structures spatiales de trois indicateurs démographiques fréquemment utilisés : la densité de population, la proportion des 65 ans et plus dans la population et le taux de croissance démographique.

Notre étude repose sur des données françaises à six échelles IRIS, communes, cantons, arrondissements, départements et régions. Ces six divisions administratives comptent plus de 50.000 individus pour les IRIS et sont agrégés graduellement en 36.000, 4.000, 340, 95 et finalement 22 unités. Nous explorerons aussi les changements de structures spatiales dans le temps

en comparant Les données de six recensements : 1968, 1975, 1982, 1990, 1999 et 2007. Des exemples de résultats préliminaires sont présentés plus bas sous forme de tableaux, diagrammes et cartes.

Explorer les structures spatiales : un besoin crucial pour l'analyse statistique.

Ces comparaisons à travers des échelles et des temps variés soulignent la pertinence de l'exploration spatiale des données. La notion d'échelle est centrale à la description des variables comme l'est la notion de portée pour comprendre la structure spatiale des données. Leur exploration systématique nous aide à déterminer la meilleure échelle et la meilleure résolution pour les étudier. Il permet aussi, dans une certaine mesure, d'expliquer la variabilité observée en fonction du niveau d'agrégation choisi pour chaque variable.

Perspectives

Les perspectives de ce type d'exploration ne sont pas que théorique puisque les applications sont au moins de deux ordres.

D'abord, ce type d'approche permet de définir des régions sur des bases empiriques plutôt que sur l'interprétation subjective (et donc toujours hasardeuse) de cartes ou de régions administratives. Ce premier point est particulièrement important puisqu'il permet de fournir un cadre d'interprétation pertinent pour l'explication, mais aussi dans une perspective prospectiviste ou d'aide à la décision. Le second champ d'application est la définition de modèle plus efficace, dans lesquels les structures spatiales sont prises en compte à la meilleure échelle. Ceci constitue un élément central de l'amélioration des modèles économétriques spatiaux.

Références

ANSELIN L., (1995), « Local indicators of spatial association - LISA », *Geographical Analysis*, Vol. 27, n°2, pp. 93-115.

GEARY R.C., (1954), « The contiguity ratio and statistical mapping », *The Incorporated Statistician*, vol. 5, no 3, pp. 115-145.

GETIS A., ORD J.K., (1992), « The analysis of spatial association by use of distance statistics », *Geographical Analysis*, vol. 24, no 3, pp. 189-206.

HAINING R.P., (1990), *Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Sciences*, Cambridge : Cambridge University Press, 409 p.

MORAN P.A.P., (1950), «Notes on continuous stochastic phenomena», *Biometrika*, vol. 37, no 1-2, pp. 17-23.

<http://iussp2005.princeton.edu/download.aspx?submissionId=51529>

OPENSHAW S.O., TAYLOR P.J., (1979), « A million or so correlation coefficients : Three experiments on the Modifiable Areal Unit Problem », in WRIGLEY, N., (Ed.), *Statistical applications in the spatial science*, Pion Limited, Londres, pp. 127-144.

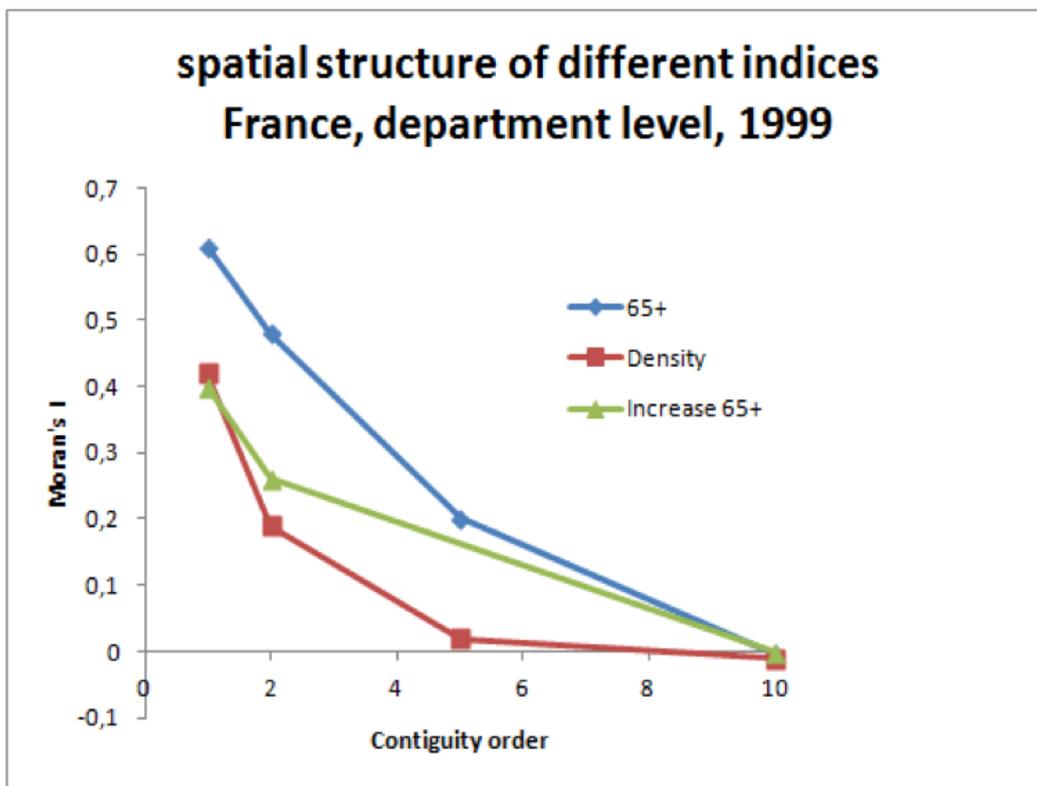
PUMAIN D., ROBIC M.-C., (2002), « Le rôle des mathématiques dans une « révolution » théorique et quantitative : la géographie française depuis les années 1970 », *Revue d'histoire des sciences humaines*, 6, pp. 123-144.

WONG D., AMRHEIN C., (1996), « Research on the MAUP : old wine in a new bottle or real breakthrough? », *Geographical systems*, Vol. 3, n°2-3, pp. 73-76.

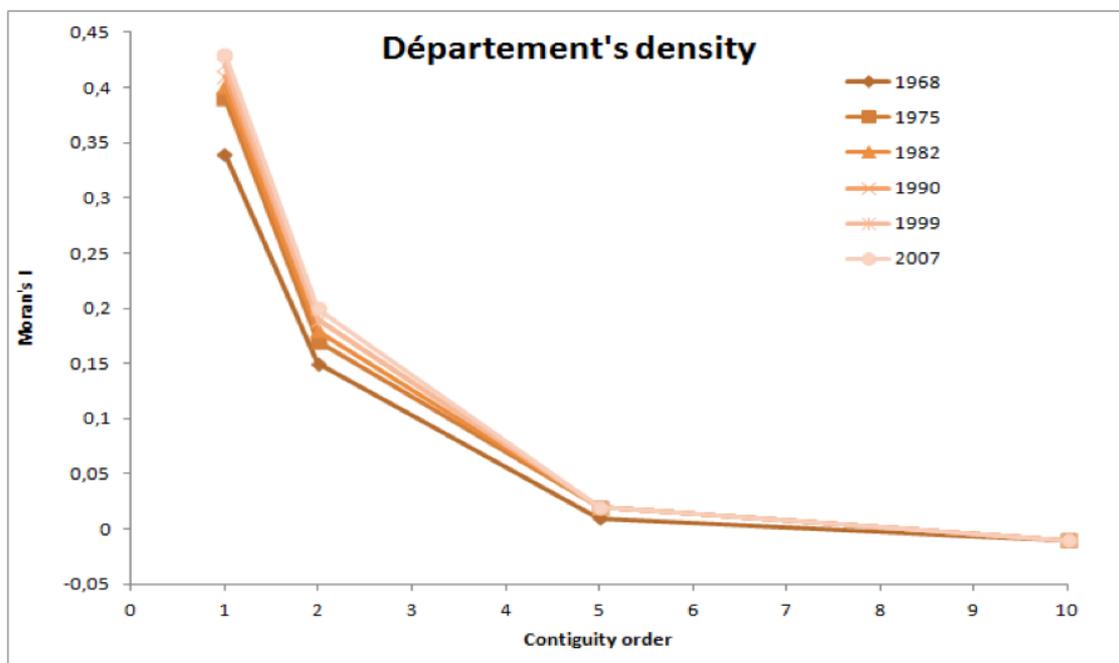
Exemples

| | proportion of 65+ in population | | | | | |
|------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | 1st order | 2nd order | 3rd order | 4th order | 5th order | 10th order |
| 1968 | 0,11 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,09 |
| 1975 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,08 |
| 1982 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 0,1 | 0,11 | 0,1 |
| 1990 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,13 |
| 1999 | 0,19 | 0,19 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,15 |
| 2007 | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,14 | 0,13 |
| | Density | | | | | |
| | 1st order | 2nd order | 3rd order | 4th order | 5th order | 10th order |
| 1968 | 0,22 | 0,2 | 0,19 | 0,18 | 0,17 | 0,1 |
| 1975 | 0,23 | 0,21 | 0,2 | 0,19 | 0,18 | 0,11 |
| 1982 | 0,23 | 0,21 | 0,2 | 0,19 | 0,18 | 0,11 |
| 1990 | 0,24 | 0,22 | 0,2 | 0,19 | 0,18 | 0,12 |
| 1999 | 0,23 | 0,2 | 0,19 | 0,19 | 0,18 | 0,11 |
| 2007 | 0,22 | 0,2 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,1 |

EXEMPLE 1 Une exploration de l'indice de Moran global à l'échelle communale pour la proportion de personnes de 65 ans et plus et la densité de population.



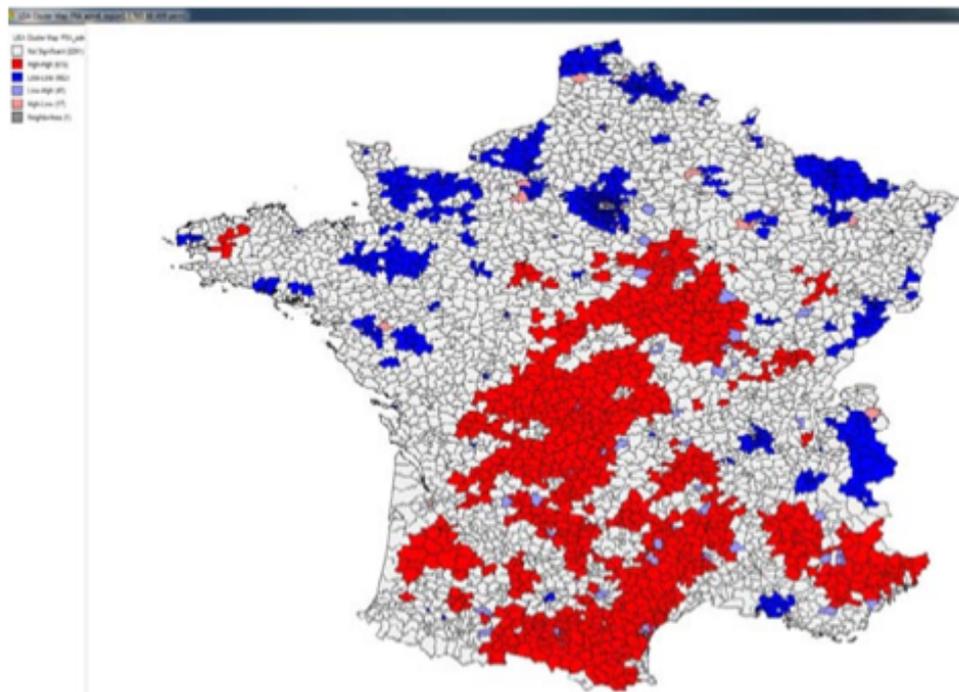
EXEMPLE 2 Comparaison des structures spatiales de différentes variables à l'échelle des départements français en 1999.



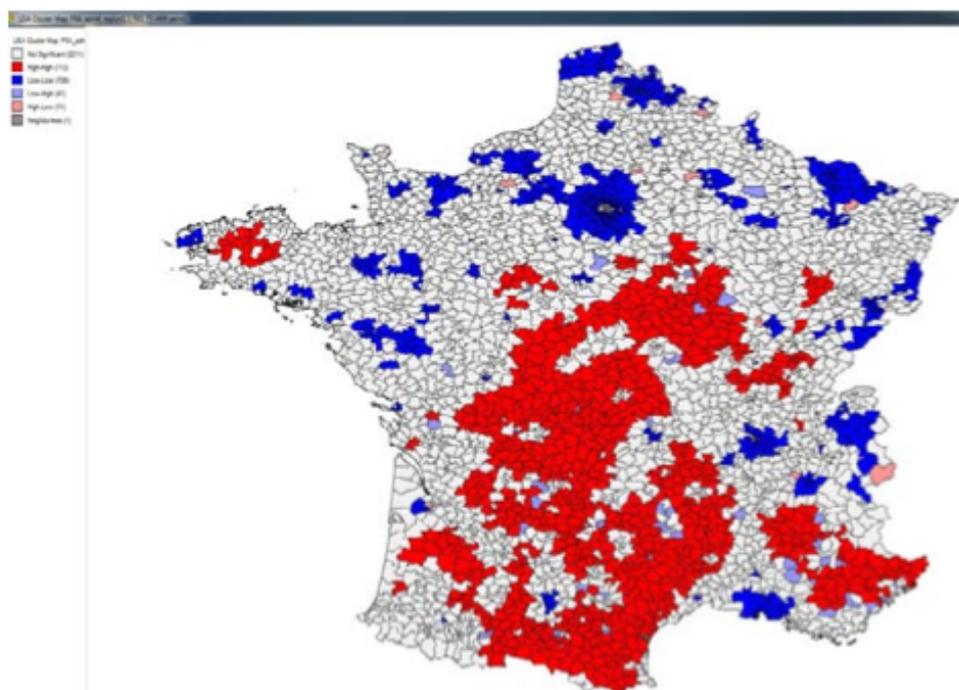
EXEMPLE 3 Evolution de la structure spatiale dans le temps de la variable densité de population à l'échelle des départements français.

EXEMPLE 4 structure spatiale de la proportion des personnes de 65 ans et plus dans la population totale à l'échelle des cantons pour différents recensements (carte des LISA pour une contiguïté d'ordre 1)

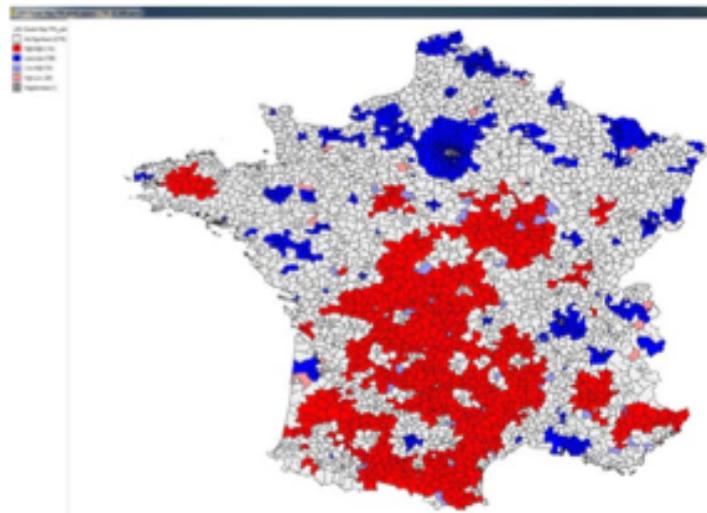
1968:



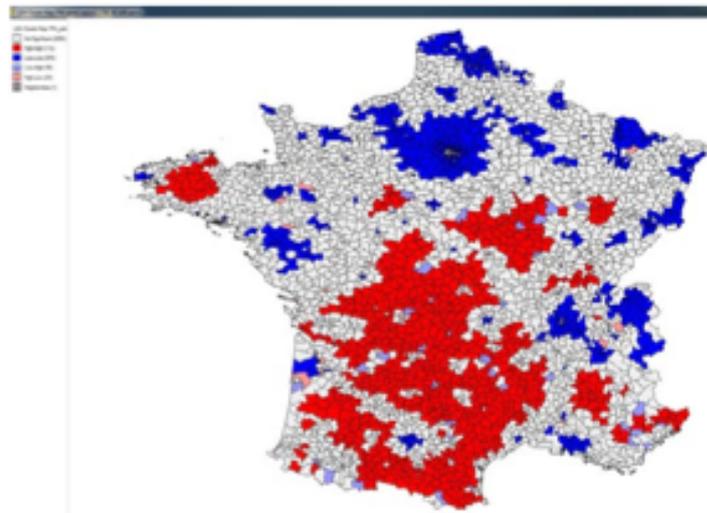
1975:



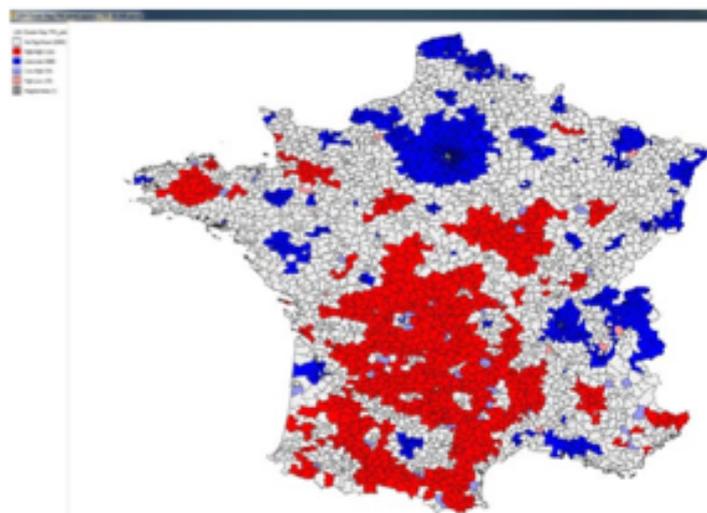
1982:



1990:



1999:



Vers de nouveaux indicateurs morphologiques pour caractériser les tissus urbains ?

Badariotti Dominique

UMR 7356 LIVE

Mots-clefs - Indicateur morphologique – géographie urbaine – graphe – modélisation - proximité

Introduction

Nous nous intéressons à la forme de la ville et aux processus morpho-dynamiques, et morpho-fonctionnels qui s’y déploient. Nous savons que la forme physique de la ville s’est constituée progressivement au cours du temps, par l’action aménagiste et urbanistique des sociétés qui nous ont précédées et des individus qui les composaient. La ville bâtie est ainsi le résultat physique de processus morphogéniques très différents : certains sont fondés sur l’application plus ou moins ferme d’une règle, alors que d’autres semblent tirer leur origine dans des dynamiques auto-organisées de type complexe, impliquant tous les citadins.

Rappelons que le débat sur l’origine des formes urbaines est - et restera ouvert - : il semble toutefois certain que la plupart des villes, ainsi que leurs extensions, ont été réellement construites sur la base de plans préétablis. A l’opposé, il est tout aussi certain que ces plans ont été progressivement dévoyés, sous la pression de décisions individuelles mal maîtrisées par les pouvoirs publics. La ville ancienne médiévale, qui forme le coeur de la plupart de nos cités actuelles (du moins en Europe) est donc un savant mélange de voulu et de vécu, d’éléments pré-conçus et d’objets surajoutés sans ordre ni contrôle au cours du temps.

Contexte

Quels que soient les origines de ces différenciations, il demeure que nos villes contem-

poraines se composent bien souvent – lorsqu’elles n’ont pas été construites de novo, ou reconstruites intégralement - d’un assemblage de quartiers aux trames urbaines variées, qui traduisent leur histoire singulière. Ces trames morphologiques urbaines racontent par leurs caractéristiques autant les organisations sociétales qui ont prévalu, avec leurs traductions spatiales, que les modes successives en matière d’urbanisme, ou que la succession des transitions technologiques en matière de mobilité. Les politiques patrimoniales menées à la fin du XX^e siècle ont ensuite contribué à « geler » ces formes en protégeant les paysages de ces quartiers et donc en maintenant artificiellement les formes urbaines héritées du passé.

Ces tracés hérités sont aujourd’hui les horizons immenses de nos villes : nous y circulons, et nous ne pouvons nous en abstraire - à moins de lancer des programmes de restructuration d’ampleur. A ce titre, ils conditionnent fortement les usages que nous avons de la ville aujourd’hui. Ainsi il semble plus facile de circuler à pied dans nos vieux centres médiévaux, qu’en voiture – et à l’inverse, beaucoup de quartiers périphériques des années 60 ne se prêtent guère à la marche et sont plus aisés à parcourir en véhicule automobile.

Le lien général entre forme urbaine et fonctionnement est ainsi posé. L’organisation des tissus urbains, selon leurs plans, impacte directement les distances de déplacements et leur organisation : les formes urbaines contribuent de ce fait à la mobilité urbaine et au fonctionnement général de la ville. L’évaluation des capacités d’un type

de tissu donné, en terme d'économie de mobilité par exemple, devient dès lors un enjeu important des politiques urbaines actuelles.

Objectifs

Nous proposons ici de développer des outils de caractérisation de la morphologie urbaine, et notamment de ses impacts sur les proximités mesurées d'immeuble à immeuble, pour les mettre en relation avec des données de fonctionnement urbain. Un des enjeux est de développer des indicateurs morphologiques qui soient adimensionnels,

comparables, univoques et parlants, de façon à pouvoir comparer les quartiers entre eux.

De nouveaux indicateurs ont été construits au sein du modèle Remus, permettant de qualifier quantitativement les tissus urbains, du point de vue des proximités des immeubles, dans l'espace des distances réseaux, et de les comparer. Ces indicateurs se basent tous sur une logique itérative qui permet d'identifier à plusieurs seuils de distance l'environnement, le voisinage, d'un lieu donné par le réseau de rue, ce voisinage pouvant être localement très différent du voisinage euclidien (Figure 1)

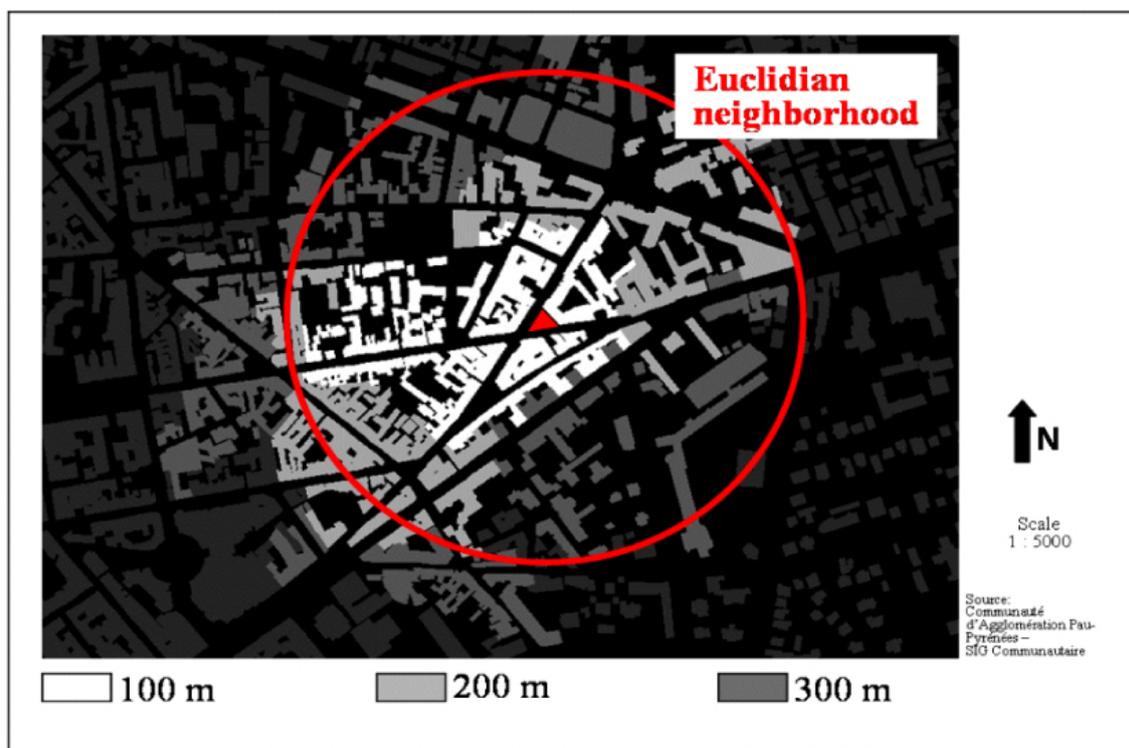


FIGURE 1 Voisinage réseau et euclidien à Pau

Résultats : les indicateurs développés

Le degré, qui traduit l'intensité du voisinage en fonction de la proximité

La représentation de la progression du degré en fonction de la distance permet d'analyser la structure spatiale des tissus ur-

bains. Cette représentation permet d'une part de confronter un tissu urbain donné à des configurations théoriques comme un tissu développé aléatoirement ou un tissu reposant sur des proximités uniquement euclidiennes. (Figure 2).

Mais il permet aussi de comparer les tissus urbains de quartiers entre eux (Figure 3), voire de villes entières

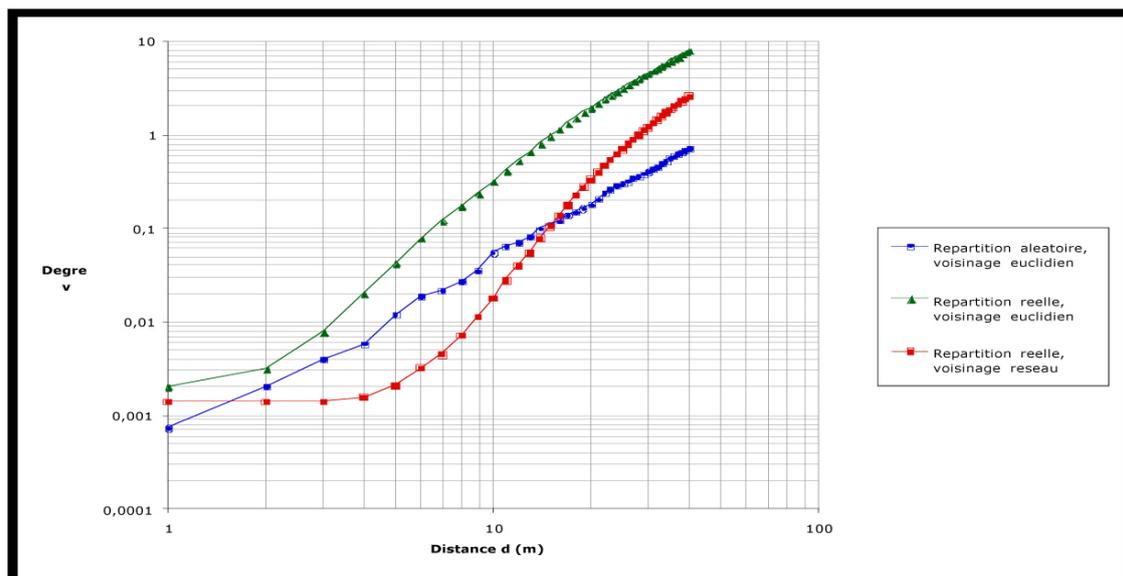


FIGURE 2 Analyse de la progression du degré selon la distance à Pau

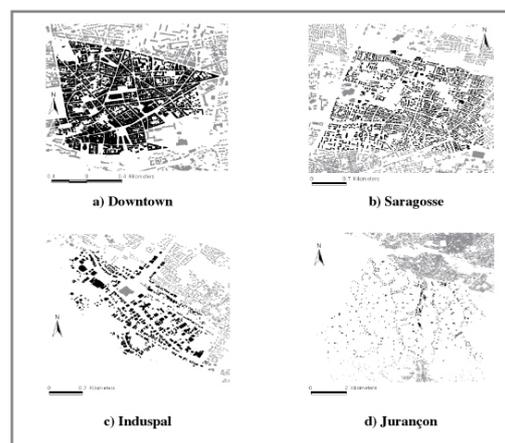
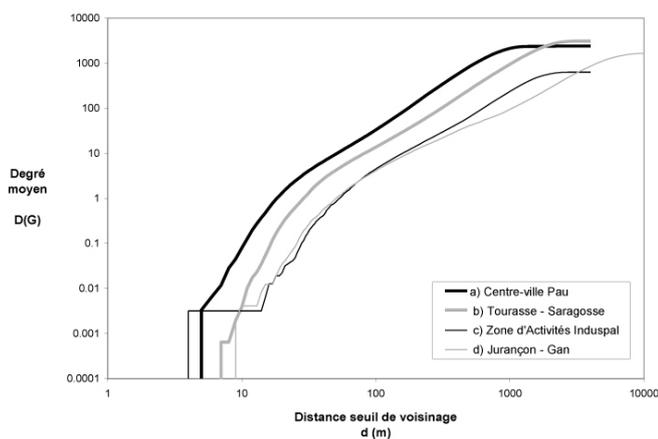


FIGURE 3 Analyse de la progression du degré selon la distance à Pau

Le calcul du PGI/PPC, à savoir le calcul plus grand cercle inscrit dans le voisinage (calculé en distance réseau), rapporté au plus petit cercle circonscrit dans le voisinage.

Le calcul du PGI/PPC, constitue un indicateur d'anisotropie, de compacité ou de pervasivité du tissu urbain. Cet indicateur permet d'apprécier le caractère plus ou moins sélectif de l'accessibilité à un immeuble : plus l'indicateur se rapproche de 1, plus l'immeuble en question est accessible de toutes parts. A l'inverse, plus il s'éloigne

de 1, et plus il est accessible uniquement selon quelques directions privilégiées.

Il peut être calculé immeuble par immeuble (Figure. 4), en couronnes successives, ou être cartographié pour l'ensemble des immeubles (Figure 5), pour une distance donnée. Il peut également tenir compte du sens de circulation, ce qui localement va évidemment changer complètement la forme de la zone d'attractivité desservie par chaque immeuble, comme cela est visible sur la figure 15, où une zone assez centrale dans l'est du centre ville a une faible accessibilité pervasive en raison des nombreux sens uniques présents dans ce quartier.

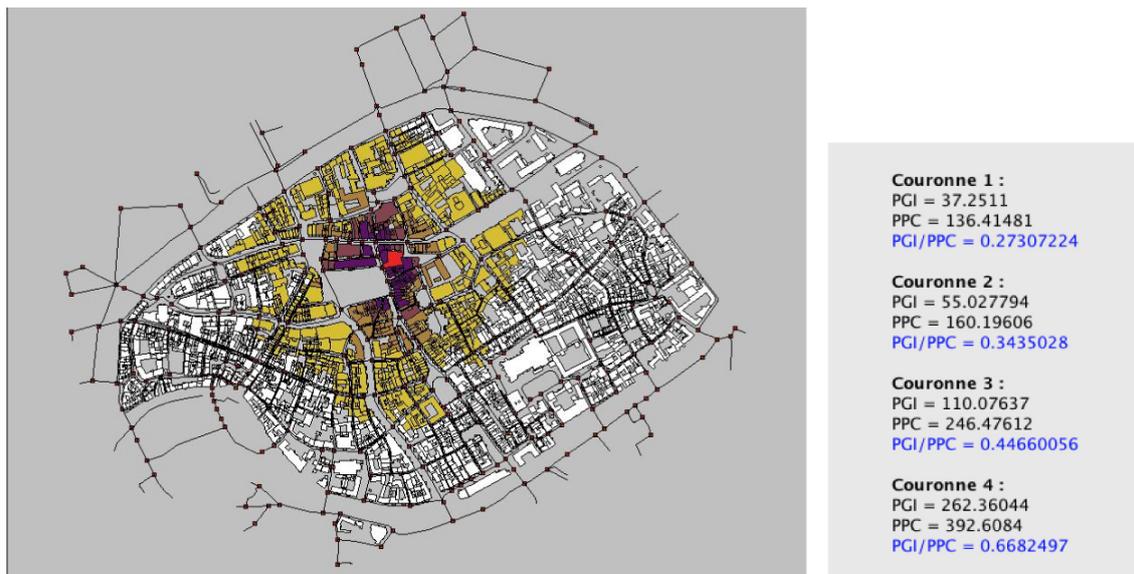


FIGURE 4 Carte de la progression des PGCI/PPCC à Strasbourg de 100 à 400 m pour un immeuble donné (en rouge).

Cet indicateur nous donne une information sur l'accessibilité directionnelle ou non d'un immeuble, selon le mode de déplacement (piéton ou voiture). Il permet d'apprécier localement et globalement la plus ou moins « bonne » accessibilité pervasive

d'un immeuble, ce qui est une donnée intéressante si cet immeuble doit être facilement accessible par du public (une gare, une école, une mairie, . . .), ou à l'inverse s'il doit être en retrait de ce point de vue.

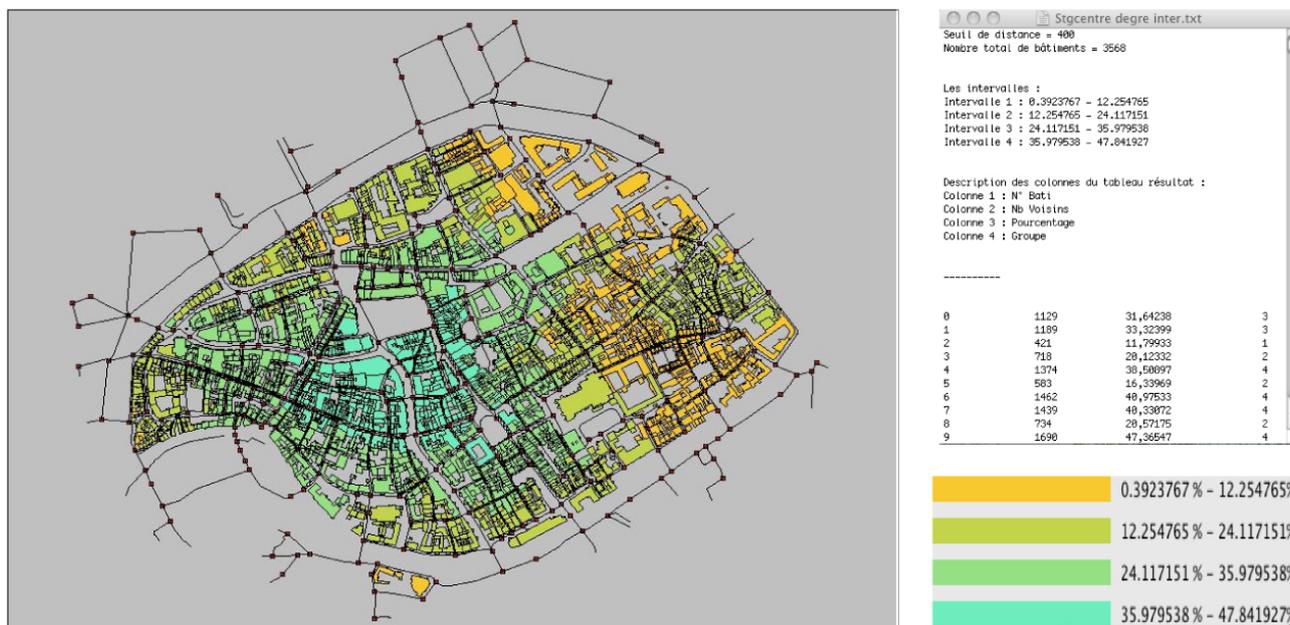


FIGURE 5 Carte du rapport PGCI/PPCC à Strasbourg centre à 400 m

Ces indicateurs sont comparables entre eux, et leurs cartes également. Ils donnent des dimensions informatives différentes, et complémentaires, sur le voisinage de chaque immeuble tout en tenant compte de la

forme du réseau de rues dans lequel ces immeubles sont insérés, et de l'incidence de cette forme sur les voisinages des immeubles.

Ils permettent également d'effectuer des comparaisons globales au sein d'une agglomération et de voir comment se structure la pervasivité du voisinage en fonction de la distance.

La figure 6 montre une analyse de l'évolution de cet indicateur, en termes de distances pour le centre ville de Strasbourg, croisé au nombre de voisins. Nous avons fait varier la distance du voisinage réseau de 20m (en haut à gauche), à 50m, 100m, 200m, 300m et 400 m. et où nous avons cherché à le croiser avec le nombre de voisins à chacun de ces seuils. En X nous avons le nombre de voisins et en Y le diamètre du cercle (PPCC ou PGCI), c'est à dire la dis-

tance de rayonnement. Les données rouges représentent le PPCC, et les données bleues le PGCI. On y voit très nettement que le PPCC n'est pas discriminant du point de vue de la distance et du voisinage, alors que le PGCI montre une vraie progression du voisinage en fonction de la distance.

D'autres analyses sont possibles : on peut aussi analyser l'évolution de la taille du PGCI (le plus discriminant) en relation avec la distance (Figure 7). On voit notamment que le diamètre du PGCI et le nombre d'immeubles concernés, croit avec la taille du voisinage jusqu'à 400m. seuil ou du bruit apparaît du fait de l'effet de bord.

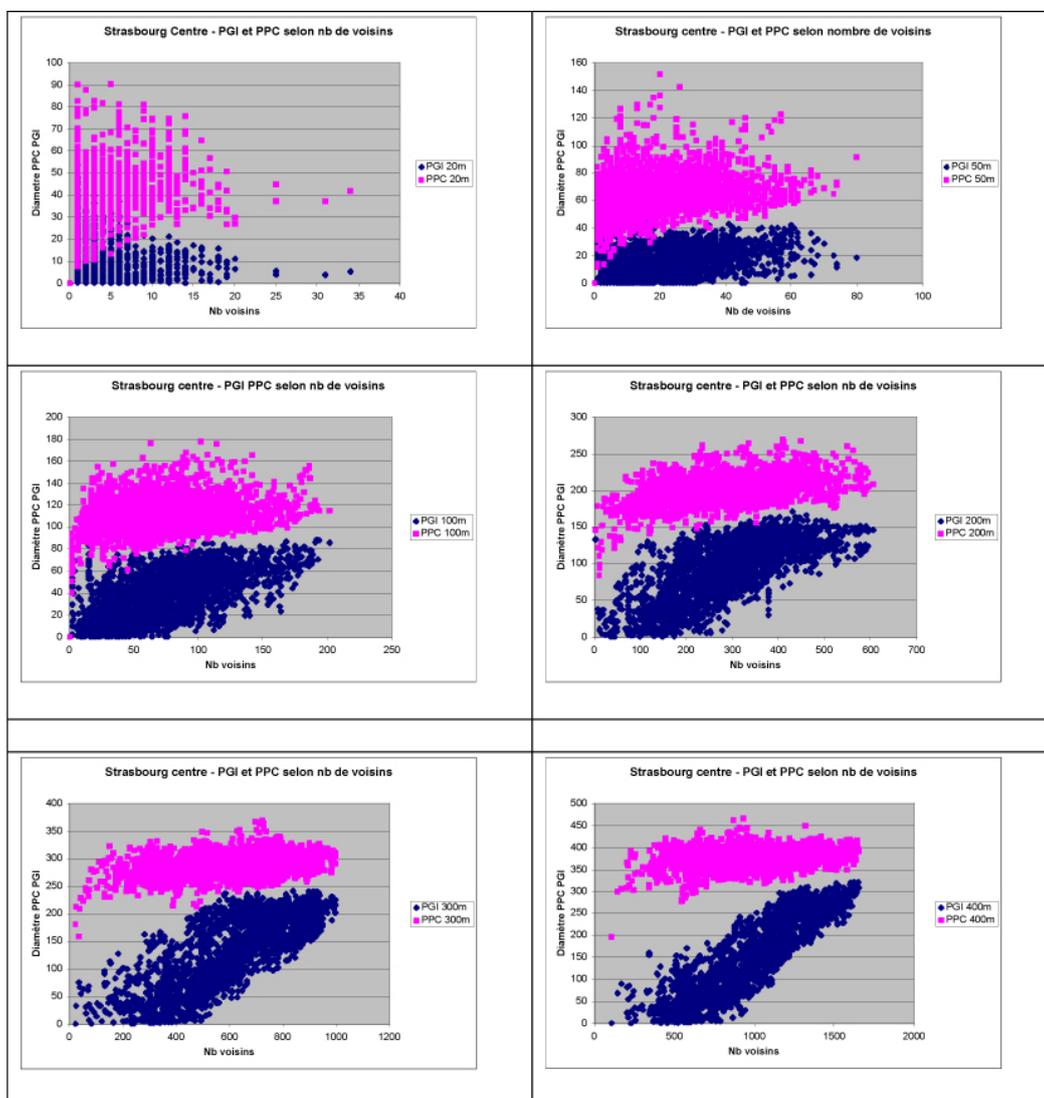


FIGURE 6 Analyse de la progression du diamètre des PPCC et PGCI (Y) en fonction du voisinage (X)

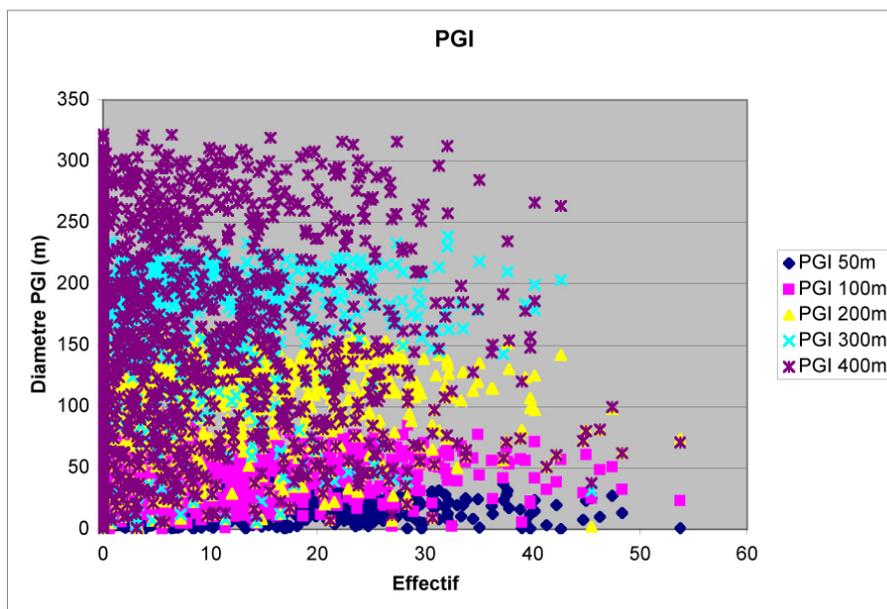


FIGURE 7 Analyse de la progression du diamètre des PPCC et PGI (Y) en relation avec le nombre d'immeubles concernés (X) et la distance de voisinage

Autre point, on a également essayé d'analyser la progression du nombre de voisin par immeuble (Figure 8), toujours selon les seuils de distance. Et on constate que des différenciations importantes existent entre immeubles (lecture en horizontal), ou certains immeubles ont bien davantage de voisins que d'autres. Mais aussi du point de vue vertical, on observe que certains immeubles peuvent avoir un nombre relatif de

voisins important en local, mais finalement beaucoup moindre à d'autres échelles. Par exemple l'immeuble n°500 a plus de 200 voisins à 200m, contre une centaine seulement pour l'immeuble n°100, alors qu'à 400m il en a environ 1300 contre plus de 1600 pour le second immeuble. On voit bien que cet outil permet d'analyser à différentes échelles la structuration du voisinage de chaque immeuble.

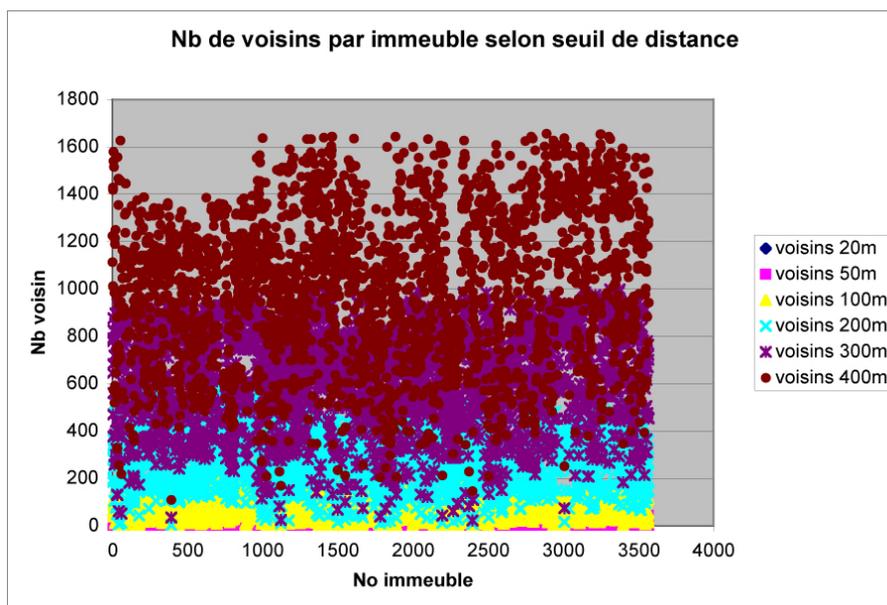


FIGURE 8 Analyse de la progression du diamètre des PPCC et PGI (Y) en relation avec le nombre d'immeubles concernés (X) et la distance de voisinage

Le calcul d'indicateurs basés sur la théorie des graphes

Nous calculons aussi des indicateurs basés sur la théorie des graphes qui nous permettent de comparer des tissus urbains entre eux, et de les rapporter à un espace euclidien. Ainsi, on peut évoquer le calcul du diamètre du graphe, ainsi que le calcul du total des distances réseaux (somme de toutes les arêtes), qu'on va pouvoir comparer aux indicateurs similaires construits sur des distances euclidiennes.

Certains de ces indicateurs sont repris dans

le tableau suivant (Figure 9) qui compare les tissus très différents du centre de Pau au centre de Strasbourg (Figure 10). On observe que Strasbourg est environs 13 fois plus grande que Pau du point de vue du nombre d'immeubles, mais si on prend le rapport des diamètres du graphe urbain le rapport tombe à 3, et si on prend le déployé de distances réseaux, ou de distances euclidiennes, il s'élève à 418 et 450 respectivement; ce qui démontre qu'il y a une vascularisation très importante du tissu urbain de Strasbourg par rapport à celui de Pau, vascularisation qui ne peut qu'être incidente sur les mobilités.

| | Stg Centre | Pau hyper-centre | Rapport |
|---|------------|------------------|---------------|
| Diamètre du graphe (distance réseau) | 1775,0775 | 600,91504 | 2,95 |
| Diamètre du graphe (distance euclidienne) | 1313,6232 | 464,74924 | 2,83 |
| Total des distances réseaux | 7,46E+09 | 1,78E+07 | 418,64 |
| Total des distances euclidiennes | 5,79E+09 | 1,29E+07 | 450,48 |
| Total des bâtiments | 3568 | 269 | 13,26 |
| Total des distances réseaux / Diamètre du graphe (distance réseau) | 4203113,5 | 29657,86 | 141,72 |
| Total des distances réseaux / Diamètre du graphe (distance euclidienne) | 5679598,5 | 38347,246 | 148,11 |
| Total des distances réseaux / Total des bâtiments | 2091046 | 66252,24 | 31,56 |
| Total des distances euclidiennes / Total des distances réseaux | 0,776668 | 0,72176814 | 1,08 |

FIGURE 9 divers indicateurs et statistiques comparatives

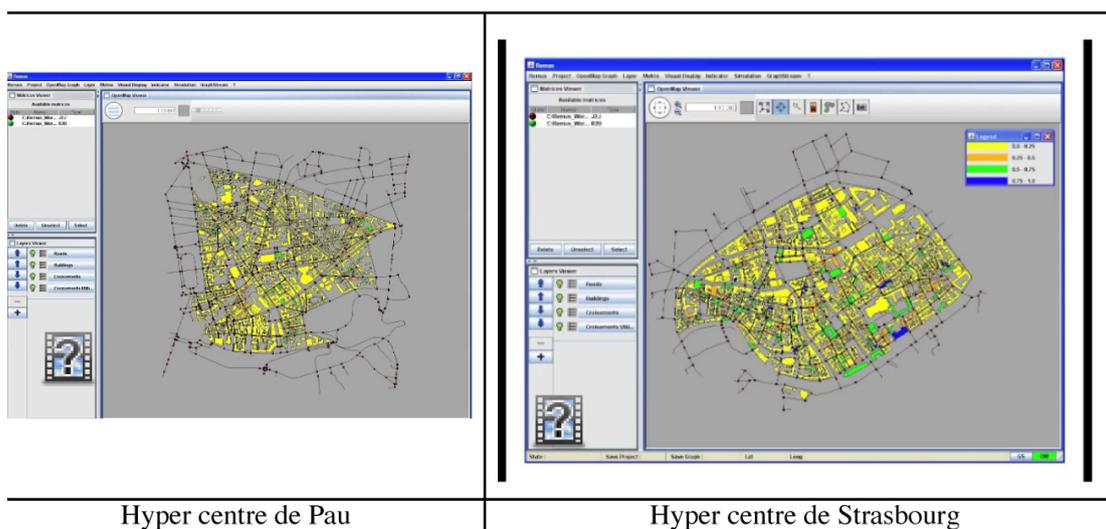


FIGURE 10 Hyper centre villes de Pau et de Strasbourg

Bilan et perspectives

Les nouveaux indicateurs construits sont basés sur une approche par graphe des tissus urbains, et permettent d'explorer la structuration des distances – ou des proximités inter-immeubles - dans une ville. Ces indicateurs constituent de très intéressants outils de comparaison des tissus urbains entre eux. Mais au delà, ils constituent aussi de très utiles moyens d'évaluation de l'accessibilité des immeubles, et de leurs espaces environnants, notamment les indicateurs basés sur le degré et le PGCI.

A ce titre, ces indicateurs peuvent être utili-

sés pour faire des typologies de tissus. Mais ils pourraient surtout être utilisés dans des études de recherche de localisation optimale pour des équipements, par exemple des écoles, des mairies de quartiers, des arrêts de bus (car leur mode de calcul permet aussi d'avoir une valeur en chaque point de la voirie, et non pas uniquement pour les immeubles) , ou des commerces. Ils permettent d'identifier, pour une distance donnée, non seulement l'intensité du voisinage, soit le nombre d'immeubles potentiellement desservis, mais aussi l'accessibilité directionnelle à l'immeuble, selon le mode de déplacement utilisé.

Références

Bejan Adrian, Lorente Sylvie, 2005, La loi constructale, Paris, L'Harmattan, 109 p.

Bejan, A., Ledezma, G.A. (1998). "Streets tree networks and urban growth : optimal geometry for quickest access between a finite-size volume and one point", *Physica A* 255, p.211-217

Crane R., 1999, *The impacts of Urban Form on Travel : A Critical Review*, Lincoln Institute of land Policy, Working Paper, 48 p. D'Arcy Wentworth Thompson, 1917, *On growth and form*, rééd. Dover edition 1992, 1116 p.

Gilliland Janon, Gauthier Pierre, 2005, The study of urban form in Canada, pp.51-66 in *Urban Morphology*, 1966, international seminar on urban form. Pinol Jean Luc, 2003,

Histoire de l'Europe urbaine Le Seuil, 2 volumes

Remus (Reticular Model for Urban Simulation) est un projet de recherche porté par les laboratoires LIVE, LVMT, LITIS, SET, et la CUS, et financé par le Predit G06, 2009, Subvention n°09 MT CV 33

Sauvy Alfred, 1968, *les 4 roues de la fortune*, Flammarion, 242 p.

Tran Dong Binh, Ignatowicz Michal, Frigui Rassil, Moreno Diego, Piombini Arnaud, Badaritotti Dominique (2011) « Relation entre morphologie uraboine et mobilité. Approts de la théorie des graphes et de l'analyse morphologique confrontés aux Enquêtes ménages déplacements (EMD) », Besançon, colloque Théoquant, p.125-126

Proposition d'un système d'indicateurs des enjeux foncier pour l'évaluation des politiques d'anticipation foncière. Le cas de l'Etablissement Public Foncier et de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Desgranges C., Casanova L., Helle C.

UMR CNRS 7300 ESPACE

Mots-clefs - Foncier, indicateur, évaluation politique publique, Etablissement Public Foncier, Provence-Alpes-Côte d'Azur

Depuis les années 80, le mouvement de décentralisation s'est accompagné du développement de l'évaluation des politiques publiques qui a pour ambition de légitimer l'action des collectivités territoriales auprès des citoyens. L'évaluation permet, au sein d'un cadre institutionnel et démocratique, de porter le jugement le plus objectif possible sur une politique en estimant sa valeur sur la base d'une série de critères quantitatifs et qualitatifs. Même si de nombreuses méthodes ont été développées pour mener ces démarches d'évaluation, les dimensions spatiale et territoriale sont peu ou pas prises en compte. Il apparaît alors opportun que la géographie quantitative se saisisse de cette question en réfléchissant à la façon dont elle peut enrichir les concepts et méthodes mobilisés dans cette approche. Dans une démarche d'évaluation des politiques

publiques, la première question est de mesurer les besoins sociétaux auxquels elles se doivent de répondre (cf. schéma 1). Dans le cas de politiques d'anticipation foncière, il s'agit de mesurer les enjeux fonciers, actuels et à venir, qui ont des incidences sur le rapport des sociétés au territoire et qui peuvent se traduire par des phénomènes de pression sur la ressource foncière disponible ou encore de tension sur les prix. On pose l'hypothèse qu'on ne peut pas définir ces enjeux de façon absolue, mais qu'ils dépendent des objectifs du commanditaire, de la problématique et de la démarche dans laquelle on se place. Selon le public auquel l'analyse des enjeux fonciers est destinée, les critères retenus dans le calcul ne seront pas nécessairement les mêmes (collectivité territoriale, agent ou promoteur immobiliers, association...).

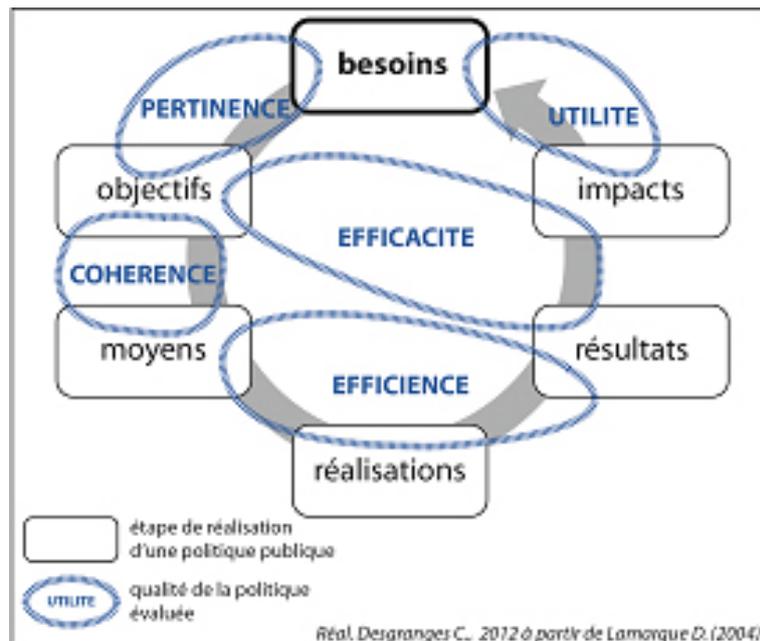


SCHÉMA 1 Les différentes phases de l'évaluation d'une politique publique

L'objectif de cette communication est de présenter un système d'indicateurs statistiques révélant les enjeux fonciers en région PACA. Ce territoire apparaît intéressant pour cette étude car il offre la possibilité de travailler sur des enjeux fonciers très différenciés, des espaces alpins au littoral, et qui se traduisent par des tensions extrêmes sur les espaces concernés par les plus forts enjeux. La finalité est de répondre aux besoins de connaissance d'un acteur de l'anticipation foncière au service des projets de territoire, l'Etablissement Public Foncier (EPF). Sa mission est de mobiliser auprès des collectivités des capacités d'acquisition et d'ingénierie foncières pour les aider à assurer la maîtrise foncière de leurs projets. Notre démarche consiste d'abord à proposer une relecture des indicateurs existants. L'objectif est d'en déceler les critères récurrents, puis, d'évaluer la pertinence de les inclure et/ou d'en soumettre d'autres afin de répondre aux besoins de connaissance de l'EPF tout en n'omettant pas d'intégrer la dimension spatiale constitutive de toute politique foncière.

Les indicateurs des enjeux fonciers d'un territoire utilisés par les acteurs publics pour concevoir leur politique foncière sont de plusieurs types. Ils peuvent être calcu-

lés au niveau de la France entière ou bien concerner une échelle locale, ils peuvent encore être composites ou ne concerner qu'un aspect précis de la question foncière : les besoins en logements (DGUHC 2003, DREAL-GTC) ou en foncier, les gisements fonciers, l'évolution de la consommation d'espace, les dynamiques de construction, la tension sur les marchés (DREAL 2010 et 2011), la pression de l'urbain sur le rural... Même si ces indicateurs ne couvrent pas tous le même champ, on peut dégager comme critère récurrent : l'adéquation entre le marché foncier (stock de foncier disponible, prix des biens, type et taille...) et la demande en logements des populations (type des ménages, revenus, activité...).

Cependant, ces indicateurs n'ont pas été pensés pour répondre aux attentes d'un EPF qui, de par ses missions propres (régulation foncière, réalisation de logements notamment sociaux, lutte contre l'étalement urbain), a des besoins de connaissance spécifiques : différencier les temporalités des pressions foncières (pressions qui nécessitent une réponse urgente, pression de moyen à long terme), connaître le profil social des populations souhaitant acquérir ou avoir accès à du foncier ou à un logement et connaître la traduction spatiale de

la pression foncière.

Or, les indicateurs que nous avons listé n'intègrent pas tous la dimension prospective, ni la dimension spatiale même s'ils peuvent être cartographiés et faire l'objet d'une interprétation géographique. En effet, ils sont construits à une échelle spatiale particulière (départementale, communale, infra-communale) et ne tiennent compte ni de la forme prise par l'urbanisation (mitage, étalement...), ni des relations de voisinage et de proximité, ni de l'évolution spécifique de ce territoire. Une commune peut, par ses caractéristiques propres, ne pas être soumise à tension, mais l'être ultérieurement par celles de ses voisins.

Nous proposons donc un système d'indicateurs qui permet de répondre à trois interrogations correspondant à l'action de l'EPF :

- Quels territoires ont besoin d'une régulation des prix fonciers ?

- Quels territoires ont besoin de logements, notamment sociaux ?
- Quels territoires doivent lutter contre l'étalement urbain ?

Ce système d'indicateurs met en relation trois dimensions des enjeux fonciers (la tension sur les prix, la tension sur l'offre de logements et la tension sur l'espace) et trois temporalités (court, moyen et long terme). Pour les calculer, plusieurs bases de données sont mobilisées : INSEE, Sit@del, données MAJIC et cadastre.

L'évaluation des enjeux fonciers d'un territoire en termes de tension sur les prix, les logements et l'espace offre la possibilité de juger de la pertinence de l'intervention de l'EPF. Celle-ci peut être qualifiée de pertinente si elle se fait sur un territoire à enjeux, au contraire, faire défaut sur un territoire qui subit des tensions et où aucune action n'est programmée. Cette étude se place dans une perspective d'aide à la décision.

Références

Casanova L., 2007, *Proposition pour une approche renouvelée de l'évaluation territoriale*. Huitièmes rencontres des Théoquant, Besançon.

Casanova L., Helle C., 2012, « Ce que les dynamiques foncière révèlent du devenir des territoires : éléments de prospective du Sud-Est français. » in *L'Espace Géographique*, n°2012/2, Tome 41, Belin.

Charre J., 1995, *Statistique et territoire*. Reclus, Coll. Espaces modes d'emploi, Montpellier.

DGUHC, CDC, Geru, 2003, *Connaître les besoins en logements*. Guide méthodologique.

Donzel A., François D., Géniaux G., Napoléone C., 2008, *Les déterminants socio-*

économiques des marchés fonciers, in Territoires Méditerranéens, cahier n°19, Observatoire des Territoires et de la Métropolisation dans l'espace méditerranéen.

DREAL, 2010, *Démarche de caractérisation de la tension du marché de l'habitat en Bretagne*.

DREAL Midi-Pyrénées, 2011, *Analyse de la tension des marchés de l'habitat en Midi-Pyrénées*. Rapport d'étude.

DREAL Poitou-Charentes, Guy Taieb Conseil (non daté), *Etude sur les besoins en logements territorialisés en Poitou-Charentes à l'horizon 2020. Analyse prospective, évaluation des besoins*.

Dron D. (dir.), 2012, *Urbanisation et consommation de l'espace, une question de mesure*. La Revue du CGDD, Commissariat Général du Développement Durable, Service de l'Observation et des Statistiques.

Eckert D., 1996, *Évaluation et prospective des territoires*. Montpellier, GIP Reclus, La Documentation française, Paris.

Hass S., Vigneron E., 2007, *Évaluation et territoires*. La Documentation française, coll. Travaux de la DIACT, Paris.

Lamarque D., 2004, *L'évaluation des politiques publiques locales*. LGDJ, Paris.

Maby J., 2003, *Objets et indicateurs géographiques*. Collection Actes Avignon.

Trapitzine R., 2005, *Problématiques foncières en région PACA. Préconisations de stratégies et d'actions foncières inspirées des huit études foncières réalisées sous la maîtrise d'ouvrage du conseil régional et de la direction régionale de l'équipement en 2004 et 2005*.

Programme Pluriannuel d'Interventions 2010-2015. Etablissement-Public-Foncier de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Mesurer et tester les différences de répartition spatiale

Jean-Michel FLOCH

Administrateur de l'Insee
Département de l'action régionale
Réfèrent scientifique pour le département
01 41 17 55 89 06
jean-michel.floch@insee.fr

Mots-clefs - statistique spatiale, processus ponctuels, estimation non paramétrique, clusters.

Comment se répartissent populations et équipements sur les territoires ? Y-a-t-il ou non des processus de ségrégation ? Les équipements sont-ils situés au plus près des populations ? Y-a-t-il des processus naturels de formations de clusters d'activité ou de services qui rendent difficiles voire illusoire la perspective d'une équirépartition.

Voici quelques unes des questions qui sont rendues plus actuelles avec les préoccupations réaffirmées d'égalité territoriale, préoccupations auxquelles sont confrontés aménageurs, géographes et statisticiens.

L'objet de cette communication est d'aborder ce problème d'un point de vue de statisticien, en s'appuyant sur des données géolocalisées, issues avant tout du recensement de la population et de la base permanente des équipements (BPE). La réflexion méthodologique se placera dans le registre des techniques ponctuelles, pour reprendre la vision synthétique de Cressie.

Le problème peut être appréhendé de façon générale comme la comparaison de deux processus, ou de deux distributions spatiales. Il peut être exprimé simplement : les formes modélisant les intensités des deux processus vont-elles être les mêmes (ou se déduire l'une de l'autre par une simple homothétie), ou vont-elles faire apparaître des disparités locales ? Ces disparités locales sont elles dues à l'inhomogénéité d'un des processus.

Ce problème général ne va pas se traduire de la même façon selon que l'on s'intéresse :

- à la comparaison d'une population et d'un sous-ensemble de celle-ci (exemple des bas revenus dans une population) ;
- à la comparaison de la répartition d'équipements ou de services de nature diverse ;
- à la proximité entre équipements et population.

La communication portera sur la présentation de quelques techniques mobilisables pour chacun des problèmes considérés, et à l'exposé de des difficultés rencontrées. Les ratios (ou le log du ratio) des intensités (ou densités) estimées constituent un outil descriptif important pour la mise en évidence des gradients de sur-représentation, dans le cas case/control en épidémiologie, mais se prête moins bien à la constitution de tests.

Les fonctions K de Ripley et leurs dérivées, dans les versions univariées (clusters d'équipement) ou bivariées (association entre équipements) permettent une approche globale, mais ne permettent pas de détecter (à l'instar des Lisa d'Anselin dans le monde du « surfacique ») les territoires qui contribuent de façon privilégiée. Des développements plus récents, comme ceux de Marcon et Puech, ou de Thomas-Aignan et Bonneau permettent d'aller plus loin dans ce domaine.

La communication se terminera par des réflexions sur des travaux encore en cours, explorant la possibilité de constituer dans le cadre des processus ponctuels des tests de comparaison de distributions dans le plan. Ces tests sont bien connus dans le cadre unidimensionnel (statistiques de

Kolmogorov-Smirnov, ou de Cramer-Von Mises en particulier). Comme toujours, le passage de \mathbb{R} à \mathbb{R}^2 est complexe, et les pistes sur ces questions sont encore à leur début.

On donnera quelques éléments intuitifs sur le principe de construction de quelques uns de ces tests, ainsi que des illustrations sur la ville de Rennes.

Références

Anselin,L(1995) *Local indicators of spatial association :LISA*, Geographical analysis 27(2),93-116

Bessac,J., Coquet,F., Floch JM., Fromont,M (2012) *Non parametric test for Poisson processe : studies on spatial representativeness of services*, Journées de méthodologie statistique de l'Insee 2012

Diggle,P,J (2003)- *Statistics analysis of spatial point patterns* (2003)- H.Arnold

Diggle,P,J, et Marron,J,S - *Equivalence of smoothing parameter selectors in density and intensity estimation* - JASA-Sept 1988-Vol83 N°403

Floch JM, Detection des zones à enjeux socio-économiques, Document de travail de l'Insee (à paraître en décembre)

Goreaud,F (1998) *"Apports de l'analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à*

l'étude et la modélisation des peuplements complexes" Cemagref (Thèse de doctorat)

Gotway,C,A ,Waller,LA,(2004) *Applied statistics for public health data* ;Wiley

Hardle,W,(1990) - *Applied nonparametric regression*, Cambridge university press

Kelsall,J, Diggle,PJ,(1995),*Kernel estimation of relative risk*,Bernoulli,Vol.1,N°1-2, p3-16

Marcon,E, Puech,F,(2004) *Generalizing Ripley's K function to inhomogeneous populations*, [http ://halshsarchives-ouvertes.fr/halshs-00372631](http://halshsarchives-ouvertes.fr/halshs-00372631)

Rathelot,R.,Sillard,P., (2010), *L'apport des méthodes à noyaux pour mesurer la concentration* Document de travail de l'Insee

Silverman,BW(1986) - *Density estimation for statistics and data analysis* - Chapman & Hall

Atelier 8

Epistémologie et ouvertures géographiques

Art et géographie à l'école, les disciplines en dialogue

Sophie Gaujal

Université Paris VII, UMR 8504, laboratoire EHGO Doctorante en géographie sous la direction de C.Grataloup et la co-direction d'A.S. Molinié, sujet « art et géographie, les disciplines en dialogue »

Mots-clefs - Géographie scolaire, réalisme, approche esthétique, approche spatiale

Contexte

Art et géographie à l'école : le sujet peut intriguer, tant dans la pratique scolaire, la rencontre entre ces deux disciplines est inhabituelle. Pourtant, depuis quelques années, les occasions de favoriser ce dialogue se multiplient dans le champ scolaire et universitaire : dans le champ universitaire en effet, des recherches sont menées tant par des géographes que par des historiens de l'art ou par des artistes pour interroger les rapports qui se nouent entre l'espace et l'esthétique. Ce champ d'investigation récent est par conséquent multiforme, émanant de champs disciplinaires divers : il peut s'agir, comme le fait B.Joyeux Prunel, de proposer une géo-histoire de l'art, en croisant les outils (cartographie) et les concepts de la géographie (étude des logiques spatiales, des répartitions, des flux ...) avec ceux de l'histoire de l'art (étude des mouvements artistiques, des avants gardes ...). La réflexion autour de la conception d'un atlas depuis 2009 participe de la même logique. Il peut s'agir également, comme le proposent les géographes A.Volvey ou G.Tiberghien, de s'intéresser aux approches spatialisées de l'art contemporain : A.Volvey a mené ses recherches autour des expérimentations menées par les artistes sur l'espace (Christo, Jeanne Claude en 2003 puis du land art en 2005) ; G.Tiberghien s'est intéressé aux cartographies imaginaires (2007). La réflexion peut enfin porter sur ce que l'expérience esthétique apporte à la compréhension de la géographie, et se noue alors autour de la notion d'esthétique en-

vironnementale. Ce domaine pluridisciplinaire, qui réunit philosophes, géographes, cognitivistes, esthéticiens, artistes, paysagistes etc. postule la dimension esthétique de la relation des hommes avec leur environnement. Ainsi, la philosophe N.Blanc publie en 2008 « vers une esthétique environnementale » dans lequel elle propose une approche sensible du quartier urbain. L'esthétique n'est plus réservée aux seuls beaux- arts, mais dans une définition large désigne « une perception à partir des sens » : dès lors tout peut être esthétique, y compris notre environnement.

Dans le champ scolaire, les injonctions institutionnelles favorisant une approche de la géographie par l'art se multiplient. Ainsi, la mise en place de l'histoire des arts obligatoire en 2008 représente une occasion de réfléchir aux rapports qui se nouent entre l'art et la géographie scolaire, avec la définition d'un domaine spécifique intitulé « arts de l'espace ». Cependant la vocation de cet enseignement transdisciplinaire est d'entrer en dialogue avec toutes les disciplines scolaires, la géographie n'étant pas identifiée comme une discipline plus concernée que les autres. Dans l'histoire des arts optionnelle en revanche, on assiste à ce qu'on pourrait interpréter comme un « tournant spatial » ; par exemple, si on se limite au programme de l'option facultative en terminale, en 2008- 2011, l'une des deux questions portait sur « de l'internationalisation des arts à la mondialisation », remplacée en 2011-2013 par « les paysages », l'autre question (2012-2014) portant sur « des cités jardins aux éco quartiers ». En géo-

1. Intervention dans le séminaire de didactique animé par C.Leininger, Didagéo, mai 2012

graphie, les programmes donnent de nouvelles occasions à une approche sensible de l'espace, comme l'a montré J.F. Thémimes¹, avec l'introduction de questions comme « l'habiter » en classe de 6ème ou des territoires de proximité en 1ère (2012).

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).

Données et méthode

Pour répondre à cette hypothèse, je propose de mener différentes expérimentations avec des élèves. Enseignante d'histoire-géographie en lycée, ma posture est celle d'une praticienne-chercheuse, telle qu'elle a été définie par B. Wentzel (2011). Me plaçant du côté des pratiques innovantes, ma méthodologie est celle de la recherche-action. Le corpus se décline autour de trois axes :

- Le corpus principal est constitué de cent cinquante photos réalisées par des élèves de première ES/S dans le cadre d'un concours photo inter-lycée, dans un « territoire de proximité ». Il s'agissait de proposer, à travers « une approche esthétique et sensible de l'espace », une autre

écriture de la géographie. Différentes variables ont été introduites pour mener cette expérimentation : certains groupes ont participé à ce concours sans autre éclairage que celui du cours, d'autres ont réalisé une visite de terrain préalable avec leur professeur, d'autres enfin ont bénéficié d'un dispositif spécifique, mis en place en partenariat avec le CAUE Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement, et consistant en une approche explicitement sensible du parcours urbain. L'analyse de ce corpus permettra d'appréhender ce qu'apportent les approches « artistique » et « sensible » (termes qu'il conviendra de définir) à l'apprentissage de la géographie.

- Le corpus secondaire, en cours de constitution, permettra de faire le pendant avec le premier, en tentant d'appréhender ce qu'apporte « une approche spatiale de l'art », à travers une autre lecture de la géographie. Une des expérimentations consistera à inviter les élèves à réfléchir à la manière dont ils pourraient exposer leurs photographies au sein du lycée. Au parcours urbain qui caractérisait le premier corpus succèdera alors une réflexion autour du parcours muséal, et permettra d'introduire les notions de circulation, de centre et de périphérie, et la façon dont elles s'articulent dans l'enceinte même du lycée.
- Le troisième volet du corpus visera à interroger l'approche réaliste de la géographie scolaire, dont j'ai fait mon postulat de départ, à travers des analyses de manuels et des entretiens avec des enseignants.

Premiers résultats

L'essentiel de mon intervention consistera, à faire une analyse critique de mon corpus principal : il s'agira alors de présenter la méthode d'analyse du corpus, qui relève autant de l'analyse de l'image (pour les photos) que du discours (pour les légendes) ; puis de proposer un premier classement de ce corpus, afin d'identifier des idéaux-types, et d'ébaucher un modèle.

Références

- Audigier, F. (1993). *Les représentations que les élèves ont de l'histoire et de la géographie. À la recherche des modèles disciplinaires entre leur définition par l'institution et leur appropriation par les élèves*, thèse s.d. H. Moniot, Paris VII
- Blanc, N., (2008), *Vers une esthétique environnementale*, Quae, Paris
- Crémieux, J, Mousseau, M.J. (1994). *Regard didactique sur les productions scolaires en histoire géographique*. Revue Française de Pédagogie, 106, 47-54.
- Joly, M., 1993, *Introduction à l'analyse de l'image*, Nathan
- Joyeux-Prunel, B., (2005), *Nul n'est prophète en son pays » ou la logique avant-gardiste. L'internationalisation de la peinture des avant-gardes parisiennes, 1855-1914*, Thèse de doctorat sous la direction de Christophe Charle, Paris, Université de Paris I - Sorbonne, 2005, publiée par le Musée d'Orsay en 2009, Paris
- Le Guern A.-L. et Thémines J.-F. (2011), « Apprendre (de) l'ordinaire urbain : culture urbaine et enseignement scolaire de la ville à différents âges de la vie », *Colloque international de Didactique de l'histoire, géographie, éducation à la citoyenneté*, INRP/ENS LSH, Lyon, mars 2011.
- Morin, E. (1990), *Introduction à la pensée complexe*. Paris. Seuil.
- Orain, O., *De plain pied dans le monde, écriture et réalisme dans la géographie française au XXème s*, l'Harmattan, 2009.
- Tutiaux Guillon, N. (2000). *L'enseignement et la compréhension de l'histoire sociale au collège et au lycée, l'exemple de la société d'Ancien régime et de la société du XIXe siècle*, thèse s.d. Henri Moniot, Paris 7, 1998, Lille : Septentrion- thèse à la carte.
- Tibergien, G, (2007), *Finis Terrae, Imaginaires et imaginations cartographiques*, Bayard, Paris
- Vincent, G. (1994), *L'éducation prisonnière de la forme scolaire. Scolarisation et socialisation dans les sociétés industrielles*. Lyon. Presses Universitaires de Lyon.
- Volvey, A., (2003), *Art et spatialités d'après l'oeuvre de Christo et Jeanne-Claude. Objet textile, objet d'art et oeuvre d'art dans l'action artistique et l'expérience esthétique*, thèse de doctorat, sous la direction de M.-C. Robic , Paris, Université de Paris I – Sorbonne
- Volvey,A., (2005), « Christo et le Land Art », *Ligéia*, n°57-58-59-60 (n° spécial : Brancusi et la sculpture), Janvier-Juin, 2005, pp. 221-232.
- Wentzel, B. (2011), *Praticien-chercheur et visée compréhensive : éléments de discussion autour de la connaissance ordinaire*

Tableau comparatif des rivières et montagnes : une re-crédation, des questions

Baptiste Hautdidier

Irstea, UR ADBX

Mots-clefs - hydrographie, cartographie ancienne, SIG, rubbersheeting, déformation

Via portails ou catalogues, la consultation et l'utilisation de cartes anciennes sont d'une facilité sans précédent. Cet usage croissant ne relève toutefois pas seulement d'un besoin d'information primaire (Jenny & Hurni, 2011) de la part des cartographes et analystes spatiaux mais peut tout aussi bien se révéler être une source d'inspiration pour leurs pratiques. Parmi les créations cartographiques les plus marquantes, certaines sont toujours considérées comme des classiques, qu'il s'agisse par exemple de la campagne de Russie (Minard) ou de la propagation du choléra (Snow). Mais on observe par ailleurs que certaines techniques cartographiques semblent faire l'objet de redécouvertes, et d'une re-crédation par le biais des SIG. On peut notamment penser à l'usage de doubles hachures pour figurer le relief (Kennelly, 2012).

Pour d'autres formes de visualisation passées de mode, la « redécouverte » a pu se faire sous l'angle d'une curiosité plus anecdotique et sans lendemain. C'est ainsi le cas d'une famille de compositions particulièrement en vogue dans les atlas français et anglo-américains pendant la majeure part du XIXe siècle, les tableaux comparatifs des hauteurs des montagnes et des longueurs des fleuves (BibliOdyssey, 2008 ; Wolter, 1972). Le principe, relativement stabilisé, consiste à rassembler sur une unique planche deux familles de figures permettant de se représenter les distributions des plus hautes montagnes et des plus longs fleuves du monde. La composante « montagne » est une vue en coupe superposant de manière plus ou moins agrégée les profils des sommets connus. Si l'inspiration Humboldtienne en est évidente,

la plus-value de la composition graphique l'est toutefois moins. La composante « rivière », nettement plus intéressante, présente en parallèle le tracé des fleuves sous une forme étirée. La visualisation s'apparente ainsi à un diagramme bâton préservant un certain nombre d'attributs de l'entourage des fleuves : micro-sinuosité, forme des lacs et embouchures, affluents, principales villes. L'usage est ainsi double : il permet une comparaison graphique rapide mais inclut pour chacun des fleuves un ruban décrivant des composantes potentiellement importantes de leur environnement, ce qui peut notamment mener à l'identification de gradients amont-aval, etc.

Notre proposition est de participer à une réévaluation critique des principes de ce tableau comparatif, en en proposant une re-crédation « moderne » selon une démarche que nous souhaitons générique. La mise en œuvre sous SIG se fait par le biais d'une boîte à outil ArcGIS 10 paramétrable, permettant d'automatiser l'essentiel de la manipulation. Le principe est le suivant : 1. Construire une polyligne pour chacun des continuums fluvio-estuariens considérés ; 2. Approximer automatiquement cette polyligne par une courbe mathématique : nous nous contentons ici de l'algorithme de lissage PAEK ; 3. Construire de part et d'autre de cette courbe un tampon d'épaisseur paramétrable incluant les abords du fleuve ; 4. Référencer linéairement – et depuis l'embouchure- l'axe central et les bordures de ce ruban ; 5. Convertir ces entités en points ; 6. Utiliser les coordonnées ainsi construites comme paramètres de transformation pour la grille d'une déformation caoutchoutée (*rubbersheeting*) ; 7. Appliquer

cette déformation à la polyligne non lissée de départ... mais également à toutes géométries vectorielles jugées d'intérêt incluses dans le tampon. Le ruban final dans lequel s'inscrivent les géométries transformées (avec préservation de la topologie) prend la forme d'un rectangle allongé vertical (ou d'un nœud papillon, selon les choix d'harmonisation des référencements).

Nous présentons la démarche à travers l'exemple de la Garonne et de la Gironde. Les résultats sont ensuite replacés dans un cadre comparatif à l'échelle de la France métropolitaine (en se basant sur les tronçons 'hydro' de la BD Carthage) puis mondiale, aboutissant ainsi à une recréation de la composante « rivière » des *tableaux comparatifs*. La discussion sur ces deux réalisations portera sur la généricité des méthodes de transformation employées : algorithmes de lissage (Guilbert & Saux, 2008), taille

des tampons, transformations linéaires sur les géométries finales. Un enjeu important est de pouvoir définir des degrés de lissage pertinents par rapport aux géométries de base : la taille et la courbure des méandres des fleuves peuvent être hétérogènes, suscitant ainsi des questions différentes selon l'échelle visée. Comme évoqué plus haut, l'objectif n'est pas seulement la démonstration : nous présentons ainsi deux applications originales sur le continuum fluvio-estuarien de la Garonne. L'une s'applique à décrire sous une forme concise les évolutions des occupations du sol. L'autre permet de comparer l'évolution des zonages politico-administratifs (notamment les intercommunalités) par rapport à celle de la logique des bassins versants. L'objectif est ainsi de décliner dans le temps et sur un gradient amont-aval la clef de lecture suivante sur les relations potentiels du fleuve : barrière, trait d'union ou indifférence ?

Références

BibliOdyssey (2008) River Deep Mountain High. 13 oct. 2008, <http://bibliodyssey.blogspot.fr/2008/10/river-deep-mountain-high.html>

Guilbert E.; Saux E. (2008) Cartographic generalisation of lines based on a B-spline snake model. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(8) : 847-870. <http://dx.doi.org/10.1080/13658810701689846>

Jenny B.; Hurni L. (2011) Studying car-

tographic heritage : Analysis and visualization of geometric distortions. *Computers & Graphics*, 35(2) : 402-411. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cag.2011.01.005>

Kennelly P. (2012) Cross-Hatched Shadow Line Maps. *Cartographic Journal*, 49(2) : 135-142

Wolter J.A. (1972) The Heights of Mountains and the Lengths of Rivers. *Quarterly Journal of the Library of Congress*, July, 1972 http://www.davidrumsey.com/pubs/Wolter_Mountains_Rivers_1972.pdf

La consommation, objet géographique ? Les deux visages de la géographie de la consommation

Anne-Cécile Memet

EIREST

Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

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

Longtemps délaissées, les études sur la consommation connaissent un succès inédit, notamment depuis la reformulation des questionnements des sciences sociales par le tournant culturel. Ce nouveau champ de recherche – celui des *consumption studies* – a été essentiellement investi par des sociologues, des anthropologues ou encore des historiens, mais très peu par les géographes. Cependant, depuis les années 1990, on observe un net glissement de la géographie du commerce vers une « nouvelle géographie du commerce » (Wrigley et Lowe, 1996) et enfin une « géographie de la consommation », dont les premiers échos se sont récemment fait sentir dans la géographie francophone (Germes, 2007 ; Lemarchand, 2008). L'approche culturelle, et les méthodologies qualitatives qui lui sont associées à l'instar de l'enquête ethnographique sont clairement privilégiées dans ces nouveaux travaux qui mettent généralement l'accent sur le rôle de l'espace dans la formation des identités collectives et individuelles des consommateurs (Crewe et Lowe, 1995).

Cependant, cette nouvelle branche de la géographie est loin d'être stabilisée et doit résoudre d'importants problèmes. Tout d'abord, cette géographie reste animée par un débat très vif (et vain ? – ces approches sont loin d'être incompatibles) entre les tenants d'une géographie post-marxiste insistant sur la manipulation du consommateur par les concepteurs des espaces de consommation (Goss, 1993, 2004) et ceux rattachés à une géographie culturelle très marquée par les positionnements épistémologiques

postmodernes donnant une place centrale aux tactiques de résistance du consommateur (Jackson et Thrift, 1995 ; Jackson, 2002). Le deuxième problème, plus fondamental, concerne l'identité de la géographie de la consommation en elle-même puisque celle-ci est née des récentes mutations de la géographie du commerce sans véritablement réflexion sur la géographicités de la notion de consommation. La question de la définition des contours géographiques de l'objet « consommation » est pratiquement toujours passée sous silence. L'émergence d'un nouvel objet d'étude géographique, en l'occurrence la consommation, impose pourtant d'accorder une importance majeure à la définition de ce terme.

En effet, la consommation n'est ni un objet classique, ni un objet évident en géographie. L'objectif de cette communication résidera précisément à cerner davantage la dimension spatiale de la consommation et la façon dont on pourrait géographiquement la penser, en adoptant une démarche en deux temps. Il s'agira tout d'abord de définir la consommation et d'évaluer dans quelle mesure elle peut être l'objet d'une réflexion géographique. Dans un deuxième temps, il conviendra de réfléchir aux grands questionnements qui pourraient structurer cette nouvelle branche de la discipline.

La première entrée tentera ainsi de définir véritablement la consommation, à partir d'un corpus de définitions usuelles, de l'analyse de la définition économique – et notamment celle que propose Marx dans ses travaux préliminaires au *Capital* – mais aussi des différentes interprétations que la

sociologie a donné à cette instance socio-économique. On montrera que la consommation apparaît avant tout comme une forme de relation dialectique indissociable entre un objet produit et un sujet consommateur, dont la vocation est double : participer aux logiques distinctives (Baudrillard, 1970) et hédonistes (Lipovetsky, 2008) des individus à partir de la valeur symbolique et expérientielle des objets consommés. On considérera que dès lors, si, dans la perspective des travaux de Henri Lefebvre (19??) on définit l'espace comme une forme de produit social, celui-ci peut être l'objet d'une forme de consommation à finalité distinctive et hédoniste.

À partir de cette définition, il s'agira de questionner la spatialité de cette interaction objet/sujet, ce qui revient à se demander dans quelle mesure on peut penser l'espace comme un objet de consommation. Dans la perspective des travaux du sociologue R. G. Dunn (2008, voir notamment p. 5-6) qui considère que la consommation ne peut se comprendre que comme le rapport d'un sujet consommateur à un objet produit, on proposera une construction de la géographie de la consommation conforme à cette dialectique fondamentale « production d'un objet/consommation par un sujet ». Deux pistes seront ainsi proposées pour structurer cette géographie de la consommation : l'analyse des conditions de production de l'objet « espace de consommation » d'une part et celle des conditions de leur consommation effective par les visiteurs se rendant sur ces lieux d'autre part.

Le premier axe aurait comme objectif d'analyser les paysages de consommation et les jeux d'acteurs qui les sous-tendent en ne se limitant non pas aux dimensions commerciales des espaces – permettant, par là même d'autonomiser la géographie de la consommation de la géographie du commerce – mais intégrant l'ensemble des aménités environnementales des espaces destinées à être « consommés » (cela peut évidemment être des espaces commerçants, mais aussi des espaces touristiques, patrimoniaux, gentrifiés etc., bref, des espaces souvent dédiés à des activités de loisir dans

lesquels la qualité, notamment esthétique, des lieux joue un rôle majeur). On montrera que l'analyse de la production de ces espaces de consommation doit articuler très finement les dimensions matérielles et symboliques de ces paysages.

Le deuxième axe se consacrera à l'analyse de la consommation en acte de ces espaces, s'inspirant notamment des travaux de Sharon Zukin (1991, 1992) et de ceux de John Urry (1997) dans lesquels ces deux auteurs développent l'idée de consommation – notamment visuelle – de l'espace. À l'heure de l'esthétisation de la vie quotidienne (Featherstone, 1991), on porte en effet une attention de plus en plus prononcée à la qualité des espaces que l'on choisit de fréquenter, notamment pour ses loisirs (comme le confirme la tendance très forte à l'esthétisation des espaces publics (Fleury, 2007)). Il s'agira donc cette fois-ci de partir non plus de l'espace de consommation mais du sujet consommateur afin de comprendre ce qu'il fait de ces espaces. L'objectif de ce deuxième versant de la géographie de la consommation serait notamment de se demander dans quelle mesure les caractéristiques environnementales spécifiques des espaces de consommation participent des stratégies distinctives et hédonistes des individus consommateurs.

Ces deux grands questionnements structurant la géographie de la consommation seront illustrés à partir de l'analyse d'un type d'espace de consommation spécifique : les centres historiques, et plus précisément le Marais à Paris et le Vieux Lille qui se sont transformés en véritables espaces de consommation, notamment à partir de vigoureuses dynamiques commerciales et patrimoniales, et dont l'analyse a fait l'objet d'un travail de doctorat. Il s'agira de montrer comment la géographie de la consommation, telle qu'elle aura été proposée, permet de penser de façon originale ces nouveaux types d'espace de consommation. On montrera tout d'abord comment la configuration spécifique de ces nouveaux espaces de consommation produit un discours visuel spécifique qui est in fine lu et approprié par les consommateurs et dont la compré-

hension n'est possible que grâce à ce cadre théorique qui permet à la géographie de la consommation de transcender les cloison-

Références

BAUDRILLARD Jean, *La Société de consommation ? : ses mythes et ses structures*, Paris, Gallimard, coll. « Folio », 1970, 318 p.

CREWE Louise et LOWE Michael, « Gap on the map? Towards a geography of consumption and identity », *Environment and Planning A*, 1995, vol. 27, no 12, pp. 1877-1898.

DUNN Robert G, *Identifying consumption ? : subjects and objects in consumer society*, Philadelphia, Temple university, 2008, 235 p.

FEATHERSTONE Mike, *Consumer culture and postmodernism*, London ? ; Newbury Park (Calif.) ? ; New Delhi, Sage, coll. « Theory, culture & society », 1991, 164 p.

FLEURY Antoine, *Les espaces publics dans les politiques métropolitaines. Réflexions au croisement de trois expériences ? : de Paris aux quartiers centraux de Berlin et Istanbul*, Thèse de 3e cycle de Géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 2007, 685 p.

GERMES Méline, *Expériences vécues et espaces du shopping dans l'agglomération bordelaise*, Thèse de 3e cycle de Géographie, Université Michel de Montaigne Bordeaux III, Bordeaux, 2007.

GOSS Jon, « The « Magic of the Mall » : An Analysis of Form, Function, and Meaning in the Contemporary Retail Built Environment », *Annals of the Association of American Geographers*, 1 mars 1993, vol. 83, no 1, pp. 18-47.

GOSS Jon, « Geography of consumption I », *Progress in Human Geography*, 2004, vol. 28, no 3, pp. 369-380.

nements thématiques dans l'approche de l'espace urbain (l'approche commerciale et l'approche patrimoniale en l'occurrence).

JACKSON Peter, « Commercial Cultures : Transcending the Cultural and the Economic », *Progress in Human Geography*, 2 janvier 2002, vol. 26, no 1, pp. 3-18.

JAYNE Mark, *Cities and Consumption*, New edition., London ? ; New York, Routledge, 2006a, 256 p.

LEFEBVRE Henri, *La production de l'espace*, Paris, Anthropos, coll. « Ethnosociologie », 2000, vol. 1/, 485 p.

LEMARCHAND Nathalie, *Géographie du commerce et de la consommation ? : les territoires du commerce distractif*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris-Sorbonne Paris IV, Paris, 2008, 222 p.

LIPOVETSKY Gilles, *Le bonheur paradoxal ? : essai sur la société d'hyperconsommation*, Paris, Gallimard, coll. « Folio Essais », 2009, 466 p.

MANSVELT Juliana, *Geographies of Consumption*, Annotated edition., London ? ; Thousand oaks (Calif.) ? ; New Delhi, Sage Publications Ltd, 2005, 208 p.

MILLER Daniel, *Acknowledging consumption ? : a review of new studies*, London, Routledge, coll. « Material cultures ? : interdisciplinary studies in the material construction of social worlds », 1995, 341 p.

URRY John, *Consuming places*, London ? ; New York, Routledge, coll. « International library of sociology », 1997, 257 p.

WRIGLEY Neil et LOWE Michelle, *Retailing, consumption and capital ? : towards the new retail geography*, Harlow, Longman Group, 1996, 352 p.

ZUKIN Sharon, « Urban Lifestyles : Diversity and Standardisation in Spaces of Consumption », *Urban Studies*, 1 mai 1998, vol. 35, no 5-6, pp. 825-839.

Un modèle pour appréhender l'identité d'un territoire rural de marge

Francis Dorn

Laboratoire Image Ville Environnement
Université de Strasbourg - ERL 7230

Mots-clefs - identité territoriale individuelle et collective, territoire rural de marge, complexité, horizons, pratiques et représentations

Contexte

L'objectif spécifique de notre contribution est de présenter une méthode pour appréhender l'identité des territoires ruraux de marge ; des territoires ruraux que Rolland-May (2000) définit comme étant à la confluence de multiples systèmes géographiques, économiques, culturels, tout en conservant une identité et une capacité d'organisation propres.

Ce but requiert un objectif plus général : l'élaboration d'un modèle de l'identité d'un territoire, dont nous présentons les principes ici, en abordant tour à tour les présupposés théoriques sur lesquels il repose, et les assises scientifiques sur lesquelles il s'appuie, avant d'entrer dans la présentation stricto sensu du modèle lui-même et de son application à l'Alsace Bossue.

Présupposés, démarche et assises scientifiques du modèle

La poursuite de notre objectif général s'appuie sur des définitions et des présupposés majeurs, qui cadrent notre démarche, et que nous présentons ici

Présupposés

Présupposé 1 :

Le territoire est un construit humain. Le **produit d'un collectif d'individus**, dont le point commun est une interaction forte avec la même portion d'espace. Telle quelle,

l'identité du territoire est **l'identité territoriale d'une collectivité**.

Présupposé 2 :

Le territoire est défini par un **trinôme Espace, Temps, Réseaux**. Si le territoire s'identifie à une portion d'espace, il ne relève pas uniquement de la dimension spatiale, mais également des dimensions temporelle (rythmes, évolutions, trajectoires...) et résilience (réseaux sociaux tissés en son sein et vers l'extérieur)

Corollaire :

L'identité du territoire est une combinaison complexe d'Espace, de Temps et de Réseaux : elle est l'agencement particulier de ces trois composantes

Présupposé 3 :

L'identité du territoire n'a pas d'existence en soi. Elle n'est pas une essence. Produit d'une collectivité, elle n'existe que par les individus dans lesquels elle s'incarne et prend une expression particulière : **l'identité territoriale individuelle**.

L'identité du territoire s'entend à la fois comme **identité territoriale collective** et comme **identité territoriale individuelle**.

Proposition

Nous envisageons l'identité territoriale collective comme le dimensionnement singulier d'un **univers territorial collectif**, s'apparentant à une hypersphère relevant à la fois de l'espace, du temps et des réseaux d'une part, des pratiques et des représentations d'autre part. De même, l'identité

territoriale individuelle est le dimensionnement spécifique d'une « bulle » spatio-tempo-résiliaire secrétée par un individu. Les dimensions de **l'univers territorial individuel** sont appréhendées par son extension maximale : **l'horizon identitaire de l'individu**. Horizon identitaire, qui est la combinaison complexe des horizons spatiaux, temporels et résiliars de l'individu.

Présumé 4

Univers territoriaux individuels et univers territorial collectif entretiennent une liaison complexe :

- d'une part par l'interaction d'individus (corps individuels) mitoyens, voisins dans l'espace et le temps. Interaction des individus entre eux et des individus avec l'espace géographique
- d'autre part par l'incorporation du territoire par chaque individu, à l'incarnation par chacun d'une communauté socio-spatiale (Ramadier, 2005) et médiale (Berque, 2010).

Ces présupposés appellent la démarche suivante.

Démarche

Retrouver l'identité territoriale collective telle qu'elle s'exprime dans les pratiques et les représentations d'une collection d'individus représentatifs de la communauté animant le territoire.

Dans chaque univers (territorial) individuel, pratiques et représentations expriment à l'échelle de l'individu les dimensions collectives de l'identité territoriale, parce qu'elles traduisent les contraintes, les effets d'entraînement, la répulsion exercée par les uns sur les autres, par l'espace géographique, mais aussi les codes communs intériorisés par chacun (distance socio-spatiale, médiane).

La modélisation de l'identité territoriale individuelle est la base du modèle. Elle est l'entrée par laquelle sera retrouvée une identité territoriale collective.

Assises scientifiques du modèle

La constitution d'un modèle de l'identité territoriale individuelle et collective se fonde sur des démarches scientifiques déjà bien balisées, au premier rang desquelles on compte l'approche systémique et celle des systèmes complexes. Approches nécessaires à l'appréhension d'un objet multifactoriel (au carrefour de facteurs économiques, sociaux, culturels, spirituels...) et résultant de l'interaction généralisée entre un espace et une multitude d'individus.

L'approche orientée agent permet de formaliser le comportement d'acteurs très divers selon des concepts et des règles communes. Le territoire est, en effet, le produit de l'action d'individus et de groupes variés. Cette entrée offre la possibilité de les formaliser comme agents individuels et agents collectifs, même si cette présence étendue s'appuie essentiellement sur des agents-individus. L'approche SMA (Systèmes Multi-Agents) restitue leur positionnement au sein du territoire, par la complexité du rôle qu'ils y jouent. Formaliser le territoire par un système multi-agents consiste à disposer les agents selon des niveaux d'organisation de complexité croissante.

L'approche floue est requise pour appréhender un objet dont les contours sont imprécis et incertains. Elle l'est encore davantage pour la connaissance de cet objet, qu'elle émane des individus ou du chercheur. Cognition marquée par le sceau de l'imprécision et de l'incertitude, lorsque l'individu ne sait pas délimiter de manière précise son territoire et/ou qu'il n'est pas sûr de ce qu'il avance. La théorie des sous-ensembles flous et la théorie des possibilités offrent des outils pour gérer imprécision et incertitude de la connaissance.

Le modèle utilisé : présentation et application

Modèle de l'identité territoriale individuelle et collective

La modélisation des identités territoriales individuelles est la pierre angulaire à partir de laquelle sera reconstruite l'identité territoriale collective.

L'identité territoriale individuelle est déclinée dans, ce qu'on appellera, le **méta-univers** de l'agent (MU). Méta-univers, parce que combinaison complexe de multiples dimensions : secrété par l'agent-individu de par ses pratiques, mais aussi de par ses représentations. Pour des raisons pédagogiques et opérationnelles évidentes, le méta-univers est donc décliné selon deux composantes majeures : l'univers des pratiques (UP) et l'univers des représentations (UR). Elles-mêmes déclinées selon 3 dimensions déjà évoquées (spatiale, temporelle, résiliaire) définissant au total 6 partitions : univers des pratiques spatiales (UPS), univers des pratiques temporelles (UPT), univers des pratiques résiliaires (UPR), univers des représentations spatiales (URS), univers des représentations temporelles (URT), univers des représentations résiliaires (URR).

Le méta-univers n'est pas homogène. Certaines parties sont plus familières à l'agent-individu que d'autres. Les plus familières d'entre elles sont appelées cœur. Assez familières : la bordure. Peu et très peu familières : frange proche et frange lointaine. L'extension maximale de chacune de ses parties est appelée horizon. Comme le méta-univers est décliné en 6 univers (UPS, UPT, UPR, URS, URT, URR), les horizons du cœur, de la bordure, de la frange proche et de la frange lointaine sont déclinés dans les 6 univers. Au total, 24 horizons pour

décrire le dimensionnement, c'est-à-dire la singularité de l'identité territoriale individuelle.

L'identité territoriale collective et les identités territoriales individuelles entretiennent une liaison complexe. Par la combinaison des horizons individuels, nous cherchons à retrouver l'identité territoriale collective. Sur un plan strictement graphique, cette combinaison apparaît comme la « cartographie » sur une silhouette de la répartition des horizons individuels.

Traduction graphique du modèle

Le méta-univers d'un agent individuel se traduit graphiquement par une silhouette à 24 branches. Autant de branches que le méta-univers comporte d'horizons. Plus on s'éloigne du centre de la silhouette, plus l'horizon est étendu (Figure 1).

Dans la Figure 2, figure un tableau des 24 variables du modèle. Il est surmonté d'une cible sur laquelle est représenté le profil identitaire d'un épicier de l'entre-deux-guerres en Alsace Bossue.

Après avoir comptabilisé pour chaque nœud de la cible (c'est-à-dire chaque horizon) les effectifs d'individus concernés, est construit avec ArcGis un graphe planaire donnant un aperçu des horizons caractéristiques pour un collectif d'individus à une période donnée. Un exemple de graphe planaire, construit par interpolation, apparaît dans la fig. 3. Il représente un profil identitaire collectif pour les années 1920-30 en Alsace Bossue. Lui est superposé une silhouette rose : le profil identitaire individuel de l'épicier susnommé. La légende associée à la figure illustre les possibilités offertes par la superposition d'un profil individuel à un profil collectif.

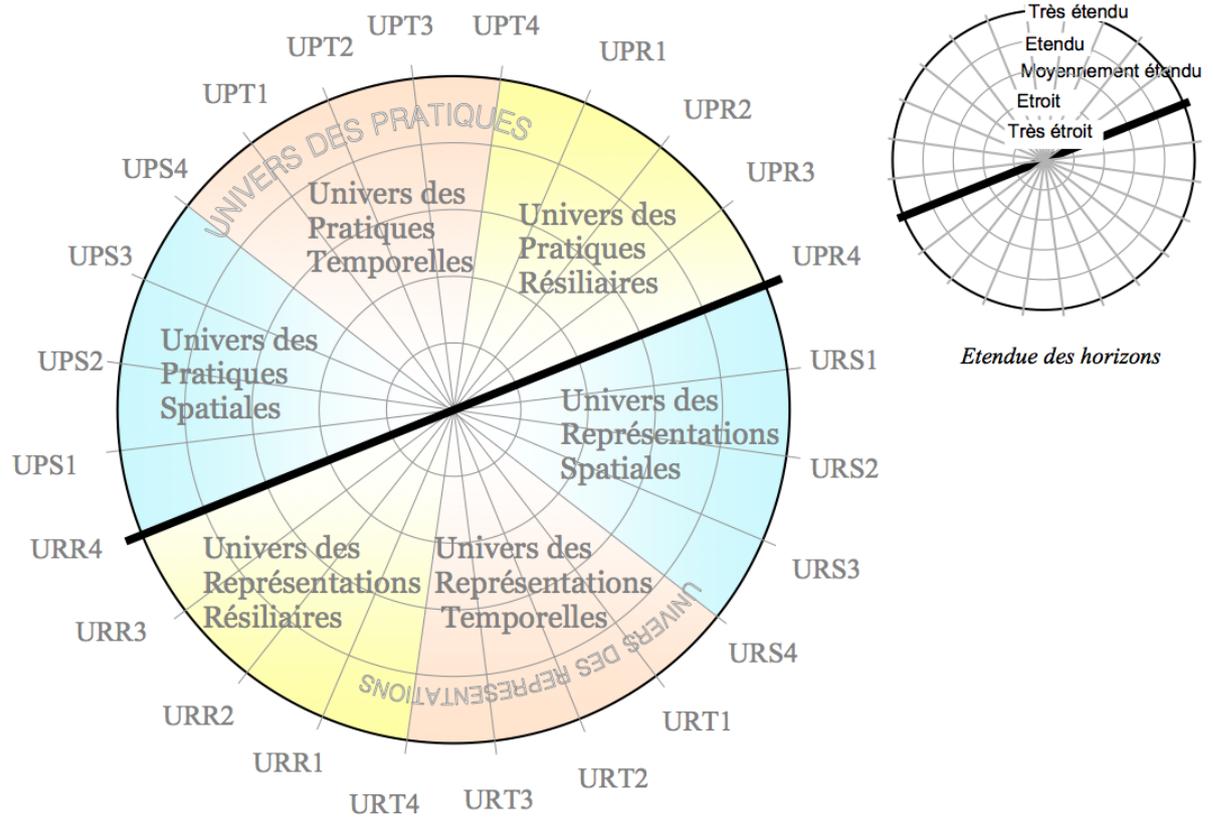
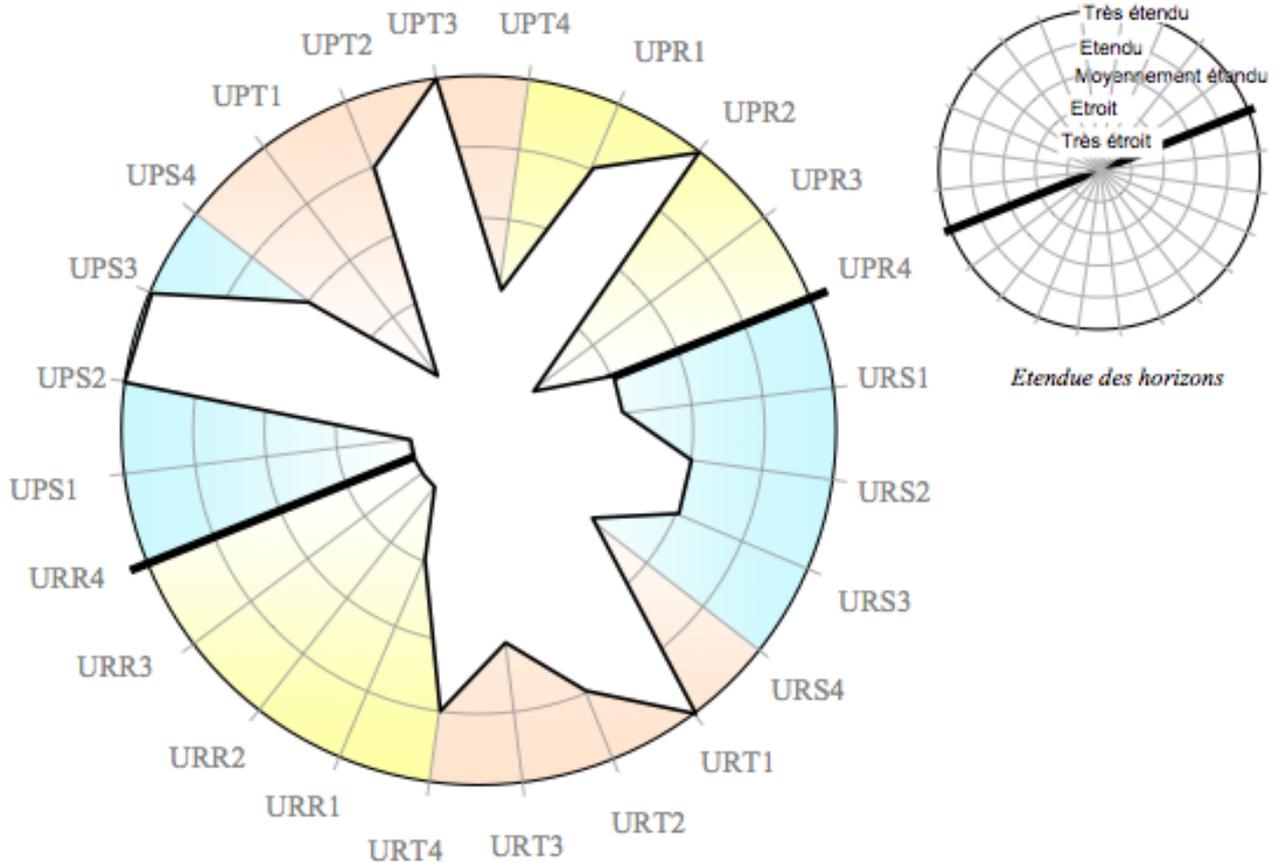


FIGURE 1 Traduction graphique du méta-univers d'un agent-individu.



| Horizon | UNIVERS DES PRATIQUES | Horizon | UNIVERS DES REPRESENTATIONS (espaces, temps et réseaux de référence, tels que l'agent se les représente) |
|---------|---|---------|---|
| UPS1 | Extension max. de l'espace routinier | URS1 | Extension max. de l'espace approprié |
| UPS2 | Extension max. de l'espace des besoins courants | URS2 | Extension max. de l'espace des itinéraires familiaux |
| UPS3 | Extension max. de l'espace des besoins moins courants | URS3 | Extension max. de l'espace jalonné |
| UPS4 | Extension max. de l'aire d'attraction des centres de décision économique | URS4 | Extension max. des espaces lointains polarisateurs |
| UPR1 | Complexité max. des relations entretenues avec des agents jouant un rôle similaire pour le territoire | URR1 | Profondeur de son inscription dans les réseaux familiaux |
| UPR2 | Complexité max. des relations avec des agents jouant un rôle un peu + ou un peu - élaboré | URR2 | Profondeur de son inscription dans un tissu de personnes-ressources extra-familiales |
| UPR3 | Complexité max. des relations avec des agents jouant un rôle beaucoup + ou beaucoup - élaboré | URR3 | Profondeur de son inscription dans des réseaux extra-familiaux à finalité unique |
| UPR4 | Complexité max. des relations entretenues avec des agents extérieurs au territoire | URR4 | Profondeur de son inscription dans des réseaux extra-familiaux à finalité multiple |
| UPT1 | Impact sur la vie de l'agent de ses rythmes quotidiens/hebdomadaires | URT1 | Infléchissement max. de la trajectoire de l'agent |
| UPT2 | Impact sur la vie de l'agent de ses rythmes saisonniers | URT2 | Infléchissement max. de la trajectoire de l'agent par celle de ses contemporains |
| UPT3 | Impact sur la vie de l'agent de ses rythmes pluriannuels à pluridécennaux (biographiques) | URT3 | Infléchissement max. de la trajectoire de l'agent par celle des générations directement voisines dans le temps (passé et futur) |
| UPT4 | Impact sur la vie de l'agent des rythmes intergénérationnels | URT4 | Infléchissement max. de la trajectoire de l'agent par celle des générations plus lointaines dans le temps (passé et futur) |

FIGURE 2 Horizons d'un épicier de 1920

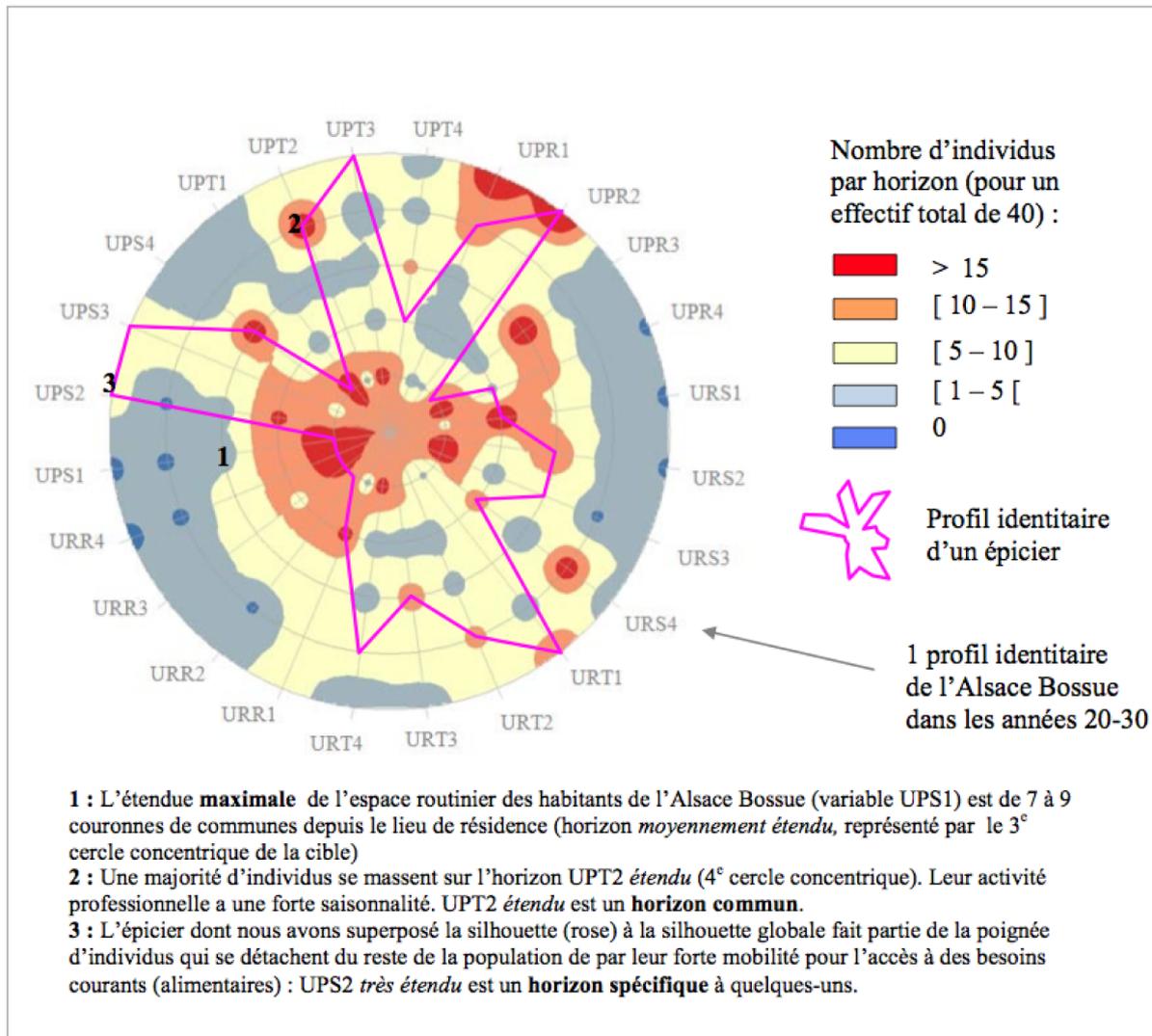


FIGURE 3 Aperçu d'un profil identitaire collectif et individuel – Alsace Bossue (années 20-30).

Application à l'Alsace Bossue

Le modèle a été appliqué pour un territoire rural de marge situé aux limites de l'Alsace et de la Lorraine, entre les villes de Saverne, Sarrebourg et Sarreguemines : l'Alsace Bossue. Deux périodes ont été sélectionnées : les années 1920-1930, phase de modernisation et de restructuration intense des campagnes après la Première Guerre mondiale. Et l'année 2010 au titre de la situation actuelle.

Une quarantaine de personnes ont témoigné en moyenne pendant 3 heures au titre de leurs aïeux adultes dans l'entre-deux-guerres. Une trentaine de personnes éclairant directement leur trajec-

toire pour la période actuelle. Au final environ 70 silhouettes d'individus ont pu être construites. Et à partir d'elle une silhouette globale pour l'identité territoriale collective pour chaque période. L'une d'entre elles figure ci-dessus (Figure 3).

Résultats

L'application du modèle à l'Alsace Bossue des années 20-30 a révélé une identité insulaire étroite à exclaves. Plus de la moitié des 12 variables révèlent pour cette période la concentration des interactions sociales et des spatialités à une échelle ne dépassant pas six couronnes de communes autour du lieu de résidence. Pourtant, l'Al-

sace Bossue se prolonge hors d'Alsace Bossue, dans des exclaves où les ressortissants pauvres viennent accumuler des ressources un temps de leur vie durant, pour venir se refonder ensuite au pays. Ces espaces de refondation sont alors Paris, Strasbourg et les villes des bassins houillers et sidérurgiques lorrains.

L'application à la période actuelle montre que l'Alsace Bossue à une identité ouverte, mais régulée par une « synergie des contraires (Rolland-May, 2012) ». Cette dernière expression évoque la cohabitation au sein du territoire, comme en chaque individu d'un besoin simultané d'ouverture et d'attaches. Loin de se contredire, ces deux phénomènes se nourrissent l'un l'autre.

Titre intégral de la thèse de doctorat soutenue le 27 septembre 2012 à Strasbourg

L'identité d'un territoire rural de marge. Essai de modélisation. Application à l'Alsace Bossue (1920- 30 et 2010)
Directeurs depuis 2007 : Dominique Ba-

Références

- ABRIC J.Cl., 2003, *Pratiques sociales et représentations*, Paris, PUF, Psychologie sociale, 4e édition, p.13
- BERQUE A., 2010, *Milieu et identité humaine. Pour un dépassement de la modernité*, Paris, Editions donner lieu
- BRUBAKER R., 2001, "Au-delà de l'identité", in *Actes de la recherche en Sciences sociales*, 139, p.66-85
- DAUPHINE A., 2003, *Les théories de la complexité chez les géographes*, Paris, Economica, 248 p.

Portée

L'intérêt premier du modèle est de faciliter les comparaisons synchroniques et diachroniques entre profils identitaires individuels, et entre profils identitaires collectifs : l'identité d'un territoire est observée à deux périodes (analyse diachronique). L'identité de deux territoires est comparée pour la même époque (analyse synchronique). En outre, tout profil individuel peut être situé par rapport à un profil collectif : est ainsi observé comment un individu tranche sur le collectif auquel il appartient.

Le modèle est à la fois descriptif, analytique et prédictif. L'analyse diachronique de l'identité d'un territoire laisse apparaître des perspectives d'évolution de certains horizons.

dariotti (Professeur d'université à Strasbourg) et Christiane Weber (Directrice de recherche).

Christiane Rolland-May, ancienne doyenne de la faculté de géographie de Strasbourg a été la 1e directrice de la thèse en 2006. Elle a continué à me suivre après sa retraite jusqu'à l'aboutissement en septembre 2012.

- DI MÉO G., BULÉON P. (dir.), 2005, *L'espace social. Lecture géographique des sociétés*. Paris, Armand Colin, 304 p.
- DUBOIS D., PRADE H., 1985, *Théorie des possibilités*, Paris, Masson
- DUBOIS D., PRADE H., 1994, *Ensembles flous et théorie des possibilités : notions de base*, Paris, Masson, Logique floue.
- FERBER J., 1995, *Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective*, Paris, Interéditions
- RAMADIER T., 2005, *La géométrie socio-cognitive de la mobilité quotidienne. Dis-*

inction et continuité spatiale en milieu urbain, Habilitation à diriger des recherches en psychologie, Université de Nîmes, p.20.

ROLLAND-MAY C., 2000, «Périphéries, bordures, marges territoriales : sous les mots, les concepts » in *Regards croisés sur les territoires de marge(s)*, RITMA, Presses Universitaires de Strasbourg, pp. 39-60

ROLLAND-MAY C., 2000, *Evaluation des territoires*. Concepts, modèle, méthodes, Paris, Hermès

ROLLAND-MAY C., 2002, « Neuro-Res, modèle d'évaluation de territoire et de projet. Approche géographique, logique et fonctionnelle, in *Mosella*, t.XXVI, n°3-4, Metz, Université de Metz

Atelier 9

Modélisation et simulation spatiale

Simulation individu-centrée des mobilités résidentielles à l'aide d'un modèle dynamique prospectif (Mobisim)

Application sur l'agglomération urbaine de Besançon

Joanne Hirtzel, Cécile Tannier

ThéMA UMR 6049 CNRS
Université de Franche-Comté

Mots-clefs - Mobilité résidentielle, décision spatiale, simulation dynamique

Dans un contexte de périurbanisation et de difficultés d'accès au logement pour certains types de ménages, la connaissance des choix résidentiels représente un enjeu majeur pour l'aménagement du territoire. La compréhension des dynamiques résidentielles et des phénomènes qui en résultent constitue un champ de recherche important, et a donné lieu au développement de nombreux outils de simulation (Raju et al. 1998; Benenson et al. 2002; Ettema et al. 2011; Sener et al. 2011). Ces derniers permettent de reproduire les dynamiques urbaines, en considérant différents scénarios de développement urbain.

C'est dans cette perspective qu'a été mis en place le projet Mobisim. En développant un modèle LUTI (Land Use and Transport Integration), il a pour objectif de construire une plateforme de simulation prospective des mobilités quotidiennes et résidentielles, à partir d'une population synthétique et localisée d'individus, de ménages et de logements. Le module de simulation des mobilités résidentielles de Mobisim permet de déterminer les ménages qui vont déménager et leur nouvelle localisation résidentielle.

Les modèles de choix résidentiels distinguent classiquement la propension à déménager (« push ») et les facteurs de choix (« pull ») dans le processus de décision (Ben-Akiva & Palma 1986; Pellegrini & Fotheringham 2002). Notre modèle se concentre également sur ces interactions sous la forme d'un trade-off entre l'évaluation par les ménages de leur situation résidentielle actuelle et l'évaluation de ce qu'ils

pourraient vivre ailleurs. Les préférences et besoins liés au lieu de vie évoluent avec les étapes du cycle de vie, c'est pourquoi nous avons décidé de modéliser ces dernières. A partir de la population synthétique, générée spécifiquement pour chaque zone d'étude, nous implémentons des règles permettant de reproduire les événements démographiques intervenant de manière significative dans les décisions résidentielles : mise en couple, séparation, naissance d'un enfant... Chaque individu vieillit au cours des simulations et évolue dans sa vie selon ces événements. Seuls les revenus et le genre des individus restent inchangés.

Pour la simulation des migrations résidentielles, nous avons développé un modèle individu-centré, qui est une adaptation du modèle probabiliste de migration résidentielle inter-quartiers décrit dans (Tannier et al. 2011). Chaque ménage est caractérisé par 4 variables, qui, au regard de la littérature, semblent être les plus importantes dans le choix résidentiel : âge de la personne de référence, structure du ménage, nombre d'enfants et revenu (Mulder 1996). Chaque logement est décrit par un ensemble d'attributs caractérisant le logement lui-même et son environnement résidentiel (Dieleman & Mulder 2002). Les règles de décision des ménages modélisent des processus d'évaluation compensatoires et non compensatoires formalisés au moyen de la théorie des sous-ensembles flous (variables floues et Analytic Hierarchy Process (Saaty 1977)). Le modèle est itératif et permet de simuler les migrations résidentielles de chaque ménage selon

un pas de temps de un an.

Dans notre modèle, le fonctionnement du marché immobilier (et ses processus) n'est pas modélisé. En effet, nous supposons que la structure spatiale urbaine résulte essentiellement de différenciations spatiales intra-urbaines liées à des différentiels de site (paysage) et de situation (accessibilités), combinées aux caractéristiques individuelles des ménages (CSP, style de vie). Le revenu permet de caractériser le ménage et ses choix, mais n'est pas utilisé comme une contrainte (pas de maximisation de l'utilité sous contrainte budgétaire) et donc, n'a pas d'influence sur le style de vie pour le choix résidentiel. Les styles de vie sont définis sous la forme d'une préférence pour un mode de transport (transports en communs et modes doux versus voiture particulière) et un type d'environnement résidentiel (rural ou urbain).

Les variables d'entrées et les variables simulées nous permettent d'analyser l'évolution de nombreux indicateurs tels que la satisfaction résidentielle des ménages (selon leurs caractéristiques ou leurs lieux de

vie), l'attractivité de chaque quartier pour chaque type de ménage ou encore les soldes migratoires des quartiers, différenciables selon les ménages ou les types de logements. Il est ainsi possible de confronter les scénarios simulés entre eux et d'étudier l'impact de différentes orientations en matière de développement résidentiel au niveau individuel.

Dans cette présentation, après avoir décrit brièvement le module d'évolutions démographiques, nous présenterons la formalisation du modèle de simulation des migrations résidentielles. Nous présenterons ensuite une application concernant l'agglomération urbaine de Besançon dans laquelle nous mettons en regard deux scénarios. Le premier prolonge les tendances observées jusqu'alors, en termes de développement résidentiel et d'évolutions démographiques. Le second simule la réalisation d'une série de projets de politiques publiques en matière de logement sur la commune de Besançon, sur la base des prévisions démographiques énoncées dans le SCoT du Grand Besançon.

Références

- Ben-Akiva, M. & Palma, A., 1986. Analysis of a dynamic residential location choice model with transaction costs. *Journal of Regional Science*, 26(2), pp.321–341.
- Benenson, I., Omer, I. & Hatna, E., 2002. Entity-based modeling of urban residential dynamics : the case of Yaffo, Tel Aviv. *Environment and Planning B*, 29(4), pp.491–512.
- Dieleman, F.M. & Mulder, C.H., 2002. The geography of residential choice. In *Residential environments : Choice, satisfaction, and behavior*. Westport (Conn.) : Bergin & Garvey, pp. 35–54.
- Ettema, D., Arentze, T. & Timmermans, H.J.P., 2011. Social influences on household location, mobility and activity choice in integrated micro-simulated models. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 45, pp.283–295.
- Mulder, C.H., 1996. Housing choice : assumptions and approaches. *Journal of Housing and the Built Environment*, 11(3), pp.209–232.
- Pellegrini, P.A. & Fotheringham, A.S., 2002. Modelling spatial choice : a review and synthesis in a migration context. *Progress in Human Geography*, 26(4), p.487.
- Raju, K., Sikdar, P. & Dhingra, S., 1998. Micro-simulation of residential location choice and its variation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 22(3), pp.203–218.
- Saaty, T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), pp.234–281.
- Sener, I.N., Pendyala, R.M. & Bhat, C.R., 2011. Accommodating spatial correlation across choice alternatives in discrete choice models : an application to modeling residential location choice behavior. *Journal of Transport Geography*, 19(2), pp.294–303.
- Tannier, C. et al., 2011. Probabilistic modelling for simulating intra-urban residential migration - An application to the question of traffic noise annoyance. In Penser et Agir – *Contextes philosophiques, praxéologiques et langagiers* - Tome 2. Paris, pp. 129–172.

Une construction séquentielle de configuration spatiale d'une ville

Mehdi Iraqi

ThéMA UMR 6049 CNRS
Université de Franche-Comté

Mots-clefs - Configuration spatiale, Ville fractale, Mobilités, impact environnemental

La ville par la problématique de sa géométrie

L'urbanisme, a donné lieu à de nombreux travaux sur la modélisation des villes. Nous proposons ici une recherche de nouveaux profils de ville où on entend par le terme profil la forme géométrique de la structure. L'étude de la ville sous son aspect morphologique a pour but de répondre à des exigences préalablement établies que l'on veut lui optimiser. Elles se concentrent d'une part sur les rythmes de vie hebdomadaire de ses citoyens, plus particulièrement envers les comportements indispensables et primordiaux que sont les déplacements au sein de la ville. D'autre part, le contexte des villes durables est grandement favorisé par les politiques de nombreux pays. Depuis maintenant plus d'une décennie, les problèmes de qualité environnementale liés aux déplacements automobiles (Newman & Kenworthy 2000) sont présent à part entière dans ces systèmes.

Cela implique une observation agencée de la ville qui regroupe les réseaux de déplacements (transports en commun/privé et piétons) et la disposition du bâti et des espaces verts. Cela est généré par la présence d'une population dont la taille et les caractéristiques influent l'occupation, la dimension (dans la limite de l'espace géographique disponible) et par conséquent l'architecture géométrique de la ville occupée par ses individus. Pendant un temps pour limiter les déplacements urbains, notamment source de dégradation principale de l'environnement, plusieurs archétypes de villes sont devenus référents dans ce do-

maine. On pense en premier lieu aux villes dites compactes (Neumann 2005) ou polycentriques qui sont les plus fréquemment observées dans le paysage urbain et dont l'essor a été favorisé afin de répondre à des besoins économiques d'accessibilité et donc d'environnement. Mais celles-ci favorisent une densification de l'environnement résidentiel qui ne convainc guère les ménages (Fouchier 1995), (Pouyanne, 2004). Des sondages récents (Gault, Bedeau, 2007) montrent la préférence de certains ménages (souvent des couples avec enfants) à un environnement résidentiel marqué par une forte présence d'aménités vertes. D'autres études mettent en évidence des refus de densification par la population dus à des désirs complémentaires et contradictoires des individus (Frankhauser 1998).

Toutefois toutes ces constructions sont issue de développements de villes déjà existantes auxquelles on a cherché à apporter une optimisation qui puisse répondre aux besoins quotidiens des habitants. Celle-ci peut s'effectuer soit grâce à une réorganisation autant que possible à l'intérieur de la ville initiale, soit grâce à une extension de cette dernière lorsque son espace est saturé. Les choix d'extensions ou de réarrangements dépendent des mobilités quotidiennes et résidentielles des individus. En effet les pratiques spatiales conditionnent le nombre et la longueur des déplacements récurrents. Dans cette optique il paraît important de réfléchir à une structure urbaine qui essaie de répondre au mieux à la demande sociale et aux exigences environnementales. Toutefois la morphologie des villes réelles est complexe car ils sont le

résultat d'un processus historique de longue durée. Ceci rend l'évaluation de l'efficacité de la forme d'un tissu urbain en fonction de la demande de déplacement difficile par rapport à une ville théorique permettant elle, de modéliser à gré les paramètres caractérisant au mieux les mobilités résidentielles des individus.

Ainsi pour effectuer une construction géométrique possible et valable, quelles contraintes de mobilités répondant le mieux à la réalité des ménages prend-on en compte pour la construction d'une ville? Quelles notions de distance doit-on ou peut-on retenir? Et l'objectif de l'étude étant : quel type de géométrie obtient-on d'après les différents choix possibles et/ou le nombre de ménages composant cette ville?

Une construction mathématique séquentielle

Partant d'un espace vierge de toute habitation, nous cherchons à établir quelle construction est la mieux adaptée en fonction des choix retenus pour l'organisation espace/temps des individus afin d'obtenir la géométrie de ville qui converge le plus possible vers des avantages énoncés en amont.

Dans un premier temps, on retient comme références ces critères de déplacements pour les individus ou ménages :

- Déplacements journaliers exigés comme le trajet domicile-travail
- Déplacements nécessaire, régulier pour les accès aux ressources ou autres
- Déplacements occasionnels tels que l'accès aux activités détentes ou culturels qui seront pris en compte d'une manière probabiliste

D'autres facteurs pourront être ajoutés au modèle de construction de base et permettra ainsi d'obtenir une meilleure précision du modèle de ville. Le comportement des individus sera modélisé par une fonction d'utilité du type CES. Il nous est ensuite nécessaire de définir quels objectifs nous favoriserons et optimiserons pour créer la

géométrie de ville la plus adaptée aux ambitions voulues. Ainsi à chaque étape de développement, on cherche à établir la meilleure structure de ville qui favorise :

- une correspondance maximum en nombre mais minimum en longueur entre tous les lieux de fréquentation des individus et leurs lieux résidentiels
- une congestion de trafic la plus faible possible
- un accès aux espaces verts proche de chaque habitation
- une minimisation des effets négatifs sur l'environnement
- Une optimisation de l'utilisation des transports en communs par rapport aux transports individuels.

A cela s'ajoute l'axe de recherche important qui s'articule autour de la notion du choix des distances et de leurs calculs. Ce terme distance implique une vision géographique de la notion et de ce qu'elle représente. Nous utilisons une approche mathématique qui permet de créer une topologie où l'optimisation est obtenue par la meilleure géométrie de ville correspondant aux déplacements des individus.

L'idée de ce travail est de partir de zéro et de fonctionner par installation successives de ménages sur l'espace de départ où l'on localise théoriquement les aménités urbaines, régulières ou occasionnelles, fréquentées par les personnes (emploi, commerces, école, lieux de culture, etc...). Ces dernières sont externalisées donc font office de paramètres et non pas de variables d'ou la possibilité de les déplacer. A chaque ajout d'individus, on établira la disposition la plus adéquate pour maximaliser les critères positifs envisagés. Ainsi on établit donc une construction géométrique qui dépendra dès le départ du nombre d'individus localisés dans la ville. On démarre d'une quantité dénombrable d'individus (S-Ghost et Environment and Planning A) et on essaie d'établir une construction récurrente jusqu'à une dimension infinie pour le nombre d'individus, de la surface de la ville et des tracés de déplacements la configurant. Un des objectifs d'explorer l'intérêt d'une structure fractale d'un tissu ur-

bain dans le contexte donné. L'utilisation d'une ville fractale engendre la problématique du calcul de distance entre les différents centres d'activités des individus et leur lieux de résidences (Frankhauser 2009). En effet on peut éventuellement utiliser une autre métrique distance que la distance euclidienne classique dont la définition est à définir et construire suivant la fractale adoptée pour la ville en étude.

Résultats attendus et perspectives

Cette approche vise à associer des caractéristiques de déplacements d'individus à la

morphologie des tissus urbains.

Les suites de ces recherches devront s'orienter sur plusieurs axes complémentaires. Une des premières ouvertures sera de montrer si la ville est généralisable à un ensemble de facteurs qui diffèrent de ceux proposés initialement. On pourra également essayer d'appliquer ces résultats théoriques à une ville déjà existante et procédant son propre schéma d'organisation. Enfin une question de dévolution temporelle pourra amener des réflexions quand aux changements comportementaux des ménages et l'impact sur le développement structurel de la ville que cela peut engendrer.

Références

Newman P., Kenworthy J., (2000). The Ten Myths of Automobile Dependence. World Transport Policy & Practice, Volume 6, Number , : 15-25.

Pouyanne G., (2004). Des avantages comparatifs de la ville compacte à l'interaction forme urbaine-mobilité. Méthodologie et premiers résultats. Les Cahiers Scientifiques du Transport N°45 : 49-82.

Fouchier V. (1995) La densification : une comparaison internationale entre politiques contrastées , Les Annales de la Recherche Urbaine, 67, pp. 95-108.

Gault G., Bedeau L., (responsables) (2007) Les Français et leur habitat - Perception de la densité et des formes d'habitat, Principaux enseignements du sondage réalisé pour l'Observatoire de la Ville du

10 au 12 janvier 2007 ,TNS Sofres : Département Stratégies d'Opinion/Société, http://www.observatoiredelaville.com/pdf/Synthese_Sondage.pdf

Cavallès J., Frankhauser P. , Peeters D., Thomas I. 2009 : Residential equilibrium in a multifractal metropolitan area, The Annals of Regional Science, Springer, 21, 07., pp. 1-24 DOI 10.1007/s00168-009-0316-5

Frankhauser P., Genre-Grandpierre C. (1998). La géométrie fractale - un nouvel outil pour évaluer le rôle de la morphologie des réseaux de transports public dans l'organisation spatiale des agglomérations. Les Cahiers Scientifiques du Transport N°33 : 41-78.

Neuman M. (2005). The Compact City Fallacy. Journal of Planning Education and Research N°25 : 11-26 DOI : 10.1177/0739456X04270466

Le modèle SimpopNet pour la simulation de la coévolution entre réseaux de transport et système de villes

Clara Schmitt

UMR 8504 Géographie-cités

Mots-clefs - Système de villes, réseau de transport, coévolution, simulation multi-agents, croissance de réseau

Le lien de causalité entre évolution de l'accessibilité et attractivité urbaine et par conséquent croissance économique et démographique urbaine est le thème central d'un débat qui fait rage depuis quelques décennies. Si ce lien de causalité semble banal tant il est repris et cautionné, allant jusqu'à servir d'argument majeur pour le développement de grands projets d'aménagement de transport, il est pourtant loin d'être démontré [Off93, BB01]. Cette question centrale fait encore l'objet de nombreuses études dans différentes disciplines (aménagement, économie, géographie) dont la multiplicité reflète la complexité du problème qui se pose, et ce à différentes échelles du territoire. Quels sont les rapports qu'entretiennent des indicateurs tels que la taille d'une ville, son rang dans la hiérarchie des villes, sa croissance et son accessibilité ? A l'échelle microgéographique, cela revient à se demander si la mise en place d'une nouvelle infrastructure de transport dans un lieu a un impact sur sa croissance économique et démographique ; et à l'échelle macrogéographique du système de villes si une ville en position relative avantageuse dans le réseau de communication tire au mieux profit de l'exploitation d'une « richesse de situation » [Rey81].

Historiquement ce débat a commencé avec une position claire, celle du rôle moteur discriminant des réseaux de transport sur les croissances urbaines. L'arrivée d'un nouveau réseau dans une ville, c'est-à-dire sa mise en connexion à un réseau a priori plus performant, aurait un impact positif sur la croissance économique et donc démographique de la ville. Le nouveau réseau

deviendrait un facteur de modification et de réorganisation du système urbain, avec un fort rôle discriminant sur les rythmes de croissance urbaine (George P. 1968, Auphan E. 1975, cités par [Pum82]p.34). Puis, avec la publication de travaux quantitatifs plus poussés, une autre position se fait entendre. Ce serait plutôt la trame de la hiérarchie urbaine, c'est-à-dire la structure spatiale du peuplement, et les dynamiques de croissances urbaines déjà existantes qui conditionneraient la forme du développement et l'organisation spatiale d'un nouveau réseau. La gain en accessibilité d'une ville ou d'un lieu, par une meilleure connexion au réseau de communication s'appuie sur une économie locale en bonne santé. Il y aurait donc plutôt adaptation des nouveaux réseaux de transport sur les dynamiques de croissance existantes ((Wolkowitsch 1980) cité par [Pum82] p.47, (Lévy 1997 p.109, Garrison 1990 p.9-10, Bavoux et alii p.45 et 206) cités par [Bre05] p.127). J.M. Offner parle même à propos de l'effet structurant des réseaux de transport d'un "mythe politique" et d'une "mystification scientifique" [Off93]. Cependant, avec les apports de nouveaux travaux quantitatifs, une troisième prise de position apparaît. Pour ce troisième courant, essentiellement attaché au niveau macrogéographique, la structuration et le développement d'un réseau de transport se dessine en fonction de la trame existante de la hiérarchie urbaine, mais, par effet retour, la croissance urbaine est ensuite stimulée par cette évolution de l'accessibilité et meilleure connexion au réseau de transport. Il existerait donc une dynamique en boucle de ré-

troaction positive entre croissance et accessibilité. On parle alors de coévolution des réseaux de transport et des systèmes urbains [Pau04, Pum08, Bre09].

La description des faits stylisés, au niveau macrogéographique, de cette coévolution se base sur la corrélation entre la structure spatiale et hiérarchique de la trame urbaine et celle des réseaux de transport. Cette corrélation semble se nourrir d'un effet de rétroaction des deux structures l'une sur l'autre. La structure de la trame urbaine influe sur la structure du réseau de transport parce qu'elle conditionne, lors de sa constitution, son organisation spatiale par une diffusion hiérarchique sur le territoire. En retour, l'organisation du réseau de transport a un effet restructurant sur la trame urbaine par un effet moteur de mise en espacement et un renforcement de la hiérarchisation urbaine [Bre99, Bre09]. Au niveau microgéographique, si l'effet de la taille d'une ville sur son accessibilité est facilement démontrable (par les travaux sur la diffusion hiérarchique des innovations, et [Pum82]), le deuxième effet de la boucle de rétroaction, i.e. l'effet de l'accessibilité sur la taille est beaucoup plus difficile à démontrer. Les différentes études sur les liens entre l'accessibilité et la dynamique démographique urbaine montrent facilement qu'il y a une corrélation entre la taille, son accessibilité et sa croissance démographique [Pum82, Bre09], mais les liens de causalité sont difficiles à discerner notamment du fait de la mise en évidence d'une corrélation positive entre la taille d'une ville et son taux de croissance [GPP90], de l'effet cumulatif de l'accessibilité [Bre03] et d'un décalage temporel des deux effets de la boucle de rétroaction [Bre09].

Le modèle SimpopNet, un modèle multi-agents développé sous la plateforme de modélisation NetLogo, a été conçu dans l'optique de réfléchir sur ces liens de causalité de la coévolution entre système de transport et système de villes. Son enjeu est de simuler la boucle de rétro-action entre taille et accessibilité d'une ville représentative de la coévolution au niveau microgéographique (plus une ville est grande, plus

elle a une influence positive sur son accessibilité, et plus une ville est accessible et plus sa croissance est facilitée), et d'observer les conséquences de cette simulation au niveau géographique supérieur. Avec la simulation de la boucle de rétro-action positive du niveau microgéographique, arrive-t-on à reproduire le pattern de faits stylisés qui caractérise la coévolution au niveau macrogéographique (le développement d'une innovation dans les transports suit une logique réticulaire, par diffusion hiérarchique, mais ce développement a en retour un impact sur la spatialisation du système de villes, par une mise en espacement du territoire) ?

Deux types d'entités sont modélisées : les nœuds et les liens d'un réseau. Les nœuds du réseaux représentent les villes qui sont interconnectées par le réseau de transport. Ces villes sont donc caractérisées par leur localisation dans l'espace et dans le réseau. Elles ont chacune une taille démographique qui évolue dans le temps : leur population. Les liens du réseau représentent les tronçons du réseau de transport qui relient physiquement les villes entre elles. Il existe deux types de lien : les liens anciens, présents à l'initialisation de la simulation et sur lesquels la vitesse de circulation est faible, et les liens innovants, ceux créés par la dynamique du modèle et sur lesquels la vitesse de circulation est plus rapide. Le niveau géographique modélisé est donc celui à l'échelle du système de villes et les plus petites entités géographiques agentifiées sont les villes, en tant que nœuds du réseau.

SimpopNet simule une boucle de rétroaction entre la spatialisation du développement d'un réseau de transport innovant et la trame du système de villes. Durant une simulation, une innovation dans les réseaux de transport se développe sur le territoire avec l'apparition successive de nouveaux liens innovants sur lesquels les temps de transport sont réduits. La probabilité qu'un tronçon innovant soit construit entre deux villes dépend à la fois du potentiel d'interaction entre ces deux villes (calculé suivant une loi gravitaire) et de l'efficacité du réseau de transport déjà existant (en fon-

tion du rapport entre le temps de transport déjà existant et le temps de transport potentiellement amélioré par l'apparition du nouveau tronçon). La croissance démographique d'une ville dépend, elle, de la position relative de la ville par rapport aux autres dans le réseau, car elle dépend du pouvoir d'interaction de la ville avec toutes les autres en fonction de leur accessibilité sur le réseau (suivant un modèle de Favaro [FP11] adapté au réseau). Les temps de transport sont donc calculés non pas à partir de distances topologiques mais à partir de distances "mesurées sur un réseau. L'enjeu de la combinaison de ces mécanismes est de faire émerger certaines propriétés du système, analogues aux faits stylisés obser-

vés, qui justifient de l'efficacité de la modélisation de la boucle de rétroaction entre croissance du réseau de transport et croissance du système de villes. Au niveau de la croissance du réseau, il s'agit de reproduire une diffusion hiérarchique du réseau innovant sur le territoire et un court-circuitage progressif des petites villes "étapes". Au niveau de la croissance démographique du système de ville, il est attendu de voir émerger une corrélation entre la taille d'une ville et son accessibilité, ou plus exactement entre sa taille et son potentiel d'interaction dans le système, résultant finalement en un renforcement de la hiérarchisation du système de ville.

Références

- [BB01] D. Banister and Y. Berechman. Transport investment and the promotion of economic growth. *Journal of transport geography*, 9(3) :209–218, 2001.
- [Bre99] A. Bretagnolle. *Les systèmes de villes dans l'espace-temps : effets de l'accroissement des vitesses de déplacement sur la taille et l'espacement des villes*. PhD thesis, Paris I Panthéon-La Sorbonne, 1999.
- [Bre03] A. Bretagnolle. Vitesse des transports et sélection hiérarchique entre les villes françaises. *Données urbaines*, 4 :309–323, 2003.
- [Bre05] A. Bretagnolle. Les villes dans l'espace-temps : vitesse des communications et structuration des territoires à l'échelle intra et interurbaine, 2005.
- [Bre09] A. Bretagnolle. *Villes et réseaux de transport : des interactions dans la longue durée (France, Europe, Etats-Unis)*. HDR, Panthéon-Sorbonne - Paris I, June 2009.
- [FP11] J.M. Favaro and D. Pumain. Gibraltar revisited : An urban growth model incorporating spatial interaction and innovation cycles. *Geographical Analysis*, 43(3) :261–286, 2011.
- [GPP90] F. Guérin-Pace and D. Pumain. 150 ans de croissance urbaine. *Economie et statistique*, 230(1) :5–16, 1990.
- [Off93] J. M Offner. Les effets structurants du transport : mythe politique, mystification scientifique. *L'espace géographique*, 3(24) :233–242, 1993.
- [Pau04] F. Paulus. *Coévolution dans les systèmes de villes : croissance et spécialisation des aires urbaines françaises de 1950 À 2000*. PhD thesis, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I, 2004.
- [Pum82] D. Pumain. Chemin de fer et croissance urbaine en France au XIXe siècle. *Annales de Géographie*, 91(507) :529–550, 1982.
- [Pum08] D. Pumain. The socio-spatial dynamics of systems of cities and innovation processes : a multi-level model. In Sergio Albeverio, Denise Andrey, Paolo Giordano, and Alberto Vancheri, editors, *The Dynamics of Complex Urban Systems : An Interdisciplinary Approach*, pages 373 – 383. Physica-Verlag GmbH & Co, 2008.
- [Rey81] H. Reymond. Une problématique théorique de la géographie : plaidoyer pour une chorotaxie expérimentale. In *Problématiques de la Géographie*. Isnard H., Racine JB. and Reymond H., Paris, Presses universitaires de France, 1981.

Modélisation dynamique de l'occupation de sol par intelligence artificielle de la Grande Région

Reine Maria Basse, Hichem Omrani, Omar Charif et Philippe Gerber

Objectif et descriptif

Ce papier propose un exercice prospectif territorial au niveau de la Grande Région pour aboutir à différents scénarios de développement spatial par l'intermédiaire d'indicateurs spatiaux. Une fois identifiés et/ou créés, ces derniers pourront servir de base de connaissance et d'outils d'aide à la décision et à la planification des territoires en quête de cohésion à une échelle transfrontalière.

Cette communication propose ainsi une approche socio-spatiale prospective de la question de la cohésion territoriale dans la Grande Région, à l'aide de composantes majeures d'un territoire comme la ligne frontière, la topographie, le maillage du réseau de transport, les évolutions démographiques, etc. Ces composantes sont d'autant plus intéressantes qu'elles peuvent nous renseigner sur leur rôle dans la cohésion des territoires. Par exemple, en partant de l'hypothèse selon laquelle les lignes frontalières sont productrices de différentiels, quelles sont les conséquences de ces dernières sur la cohésion territoriale au Luxembourg et dans la Grande Région ? Différents résultats sont attendus de la modélisation et de la simulation spatiale : (1) la localisation des « poches de cohésion », c'est-à-dire des lieux au niveau de la Grande Région où la cohésion spatiale est une réalité ; (2) la mise en évidence des espaces où la cohésion est en construction, en renforcement, en phase d'effritement, ou simplement en gestation/émergence ; (3) puisqu'il s'agit aussi de réfléchir sur des territoires frontaliers, les résultats relatifs au rôle de la frontière dans la cohésion territoriale seront exposés. La manière dont le modèle

intègre et prend en compte les effets frontalières, effets de voisinage et de proximité pouvant favoriser la cohésion territoriale est un élément méthodologique à intégrer dans la discussion.

Problématique

La modélisation de l'occupation du sol est un exercice complexe. Il dépend des facteurs endogènes (effets de voisinage, interaction etc.) et exogènes (contraintes spatiales, système de transport, zoning, etc.). Les questions de recherche que nous posons ici sont :

- Quelles sont les données (facteurs essentiels) à considérer dans la modélisation de ce système ?
- Comment modéliser et simuler ce système complexe ?
- Comment valider les résultats de simulation ?

Travaux existants, données et méthodes

La modélisation de l'occupation du sol a été réalisée en utilisant plusieurs types d'approches : écologique, physique, néoclassique, comportementale et système. Nous proposons ici d'utiliser une méthode hybride basée sur l'approche système avec la prise en compte des autres approches en utilisant les automates cellulaires (Batty, Xie, 1994) et les réseaux de neurones (Li, Yeh, 2002). D'abord l'occupation et l'utilisation du sol à différentes dates (1990, 2000). L'occupation du sol est une donnée qui a pour avantage de représenter de manière synthétique le fonctionnement

des espaces. Ensuite, le réseau de transport existant et en projet, pour une vision prospective intégrée de l'analyse. Enfin, des données démographiques et économiques comme la répartition de la population (à différentes dates), la localisation des activités de production, l'habitat, vont permettre une analyse approfondie de la cohésion territoriale dans l'aire d'étude.

L'approche prospective, dans le cadre de compréhension des territoires en devenir, permet de montrer les trajectoires (passé + présent) des territoires et ainsi de mieux anticiper leurs devenirs sur des horizons lointains (2020). Elle prend une nouvelle dimension quand elle est appréhendée à partir de la modélisation et de la simulation et, plus particulièrement, quand elle s'appuie sur des modèles dynamiques. Le choix d'un modèle basé sur un automate cellulaire neuronal est privilégié dans la mesure où ces outils (automates cellulaires et réseaux de neurones) ont largement montré leur capacité à prendre en compte les structures spatiales et leurs composantes souvent éminemment complexes (Torrens, O'Sullivan, 2001 ; Openshaw, Openshaw, 1997).

Résultats et validation

L'analyse des résultats montre l'avantage d'intégrer le modèle de réseaux de neurone comme règle de transition dans les automates cellulaires pour la modélisation dynamique de l'occupation de sol. Les résultats de la simulation jusqu'à 2020 montrent des effets raisonnables concernant l'évolution de chaque classe d'occupation de sol ainsi qu'une cohérence dans la simulation en trois niveaux :

1. Quelques classes d'occupation de sol augmentent au détriment des autres. Ceci est le cas de la classe urbaine contre la classe agriculture.
2. Même si cette expansion était continue, elle devient stable avec le temps (exemple des classes urbaine et industrielle). Ceci peut être facilement expliqué par le fait que l'espace de réserve qui était disponible 20 ans auparavant, a été urbanisé d'une manière dispersée et il n'existait plus.
3. Les résultats cartographiques montrent que l'urbanisation en 2020 est la continuité de ce qu'a été observée dans le passé. L'urbanisation s'intensifie dans les zones déjà urbanisées et aussi tout au long du réseau de transport.

Les résultats ont été validés par validation croisée et l'analyse de sensibilité a été effectuée par la courbe sensibilité/spécificité (ROC Curve analysis : Receiver Operating Characteristic).

Conclusion et perspectives

Les résultats de la simulation confirment le postulat que les réseaux de transport favorisent la croissance urbaine. L'application des réseaux de neurones comme règle de transition dans les automates cellulaires a donné des résultats raisonnables. Les travaux à venir consistent à travailler sur la validation de modèle et aussi à explorer le voisinage dynamique en se basant par exemple sur la notion d'accessibilité et de flux de mobilité. Cette piste de recherche est prometteuse dans la thématique de la simulation de la croissance urbaine.

Références

Batty, M., Xie, Y. (1994). "From cells to cities." *Environment and planning B : Planning and Design*, 21 : 531-538.

Li, X., Yeh, A.G.O. (2002). "Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS." *International Journal of Geographi-*

cal Information Science, 16 (4) : 323-343.

Openshaw, S., Openshaw, C. (1997). "Artificial Intelligence in geography". Chichester, England : John Wiley & Sons.

Torrens, P. M., O'Sullivan, D. (2001). "Cellular automata and urban simulation : where do we go from here." *Environment and Planning B : Planning & Design* 28(2) : 163-168

Atelier 10

Données et mobilités quotidiennes

Que peuvent dire les enquêtes-ménages-déplacements sur les résistances automobiles en ville ? Archéologie de l'habitude automobile, dans le cas du centre-ville dijonnais

Thomas Buhler

Docteur en géographie – aménagement – urbanisme de l'INSA de Lyon
ATER en géographie à l'université de Bourgogne – laboratoire Théma

thomas.buhler@u-bourgogne.fr

Mots-clefs - Habitudes, pratiques, modes de déplacement, automobile, rationalités

Contexte théorique

Depuis quelques années se constitue un renouveau théorique majeur au sein des sciences sociales autour de l'édification des « théories de l'action » [Thévenot, 2006 ; J.C. Kaufmann, 2002 ; Lahire, 1998]. Ces approches théoriques ont pour objectif d'interpréter et d'expliquer les comportements individuels en dépassant les dualismes classiques - et relativement stériles - qui opposent le « choix » (et ses rationalités) au « déterminisme social ». En effet, aucune de ces deux entrées n'est pleinement satisfaisante dans l'explication des comportements humains, notamment en ce qui concerne les pratiques modales. L'« habitude » comme réel concept est alors proposée pour compléter le « tableau figuratif » des comportements humains [Thévenot, 2006]. Au-delà de ces démonstrations théoriques, des travaux récents ont montré l'importance de ces « habitudes » dans les pratiques de déplacement en général, et dans les résistances au changement de mode en particulier¹ [Buhler, 2012 ; Enaux, 2009].

Afin d'éviter l'écueil majeur que serait une incompréhension due à la polysémie, précisons ce que nous entendons par « habitude » (comme concept). Contrairement à la définition « courante » de l'habitude qui en

fait une répétition de petites actions quasiment automatisées et parfois dignes de mépris (la fameuses « mauvaise habitude »), nous considérons l'habitude comme une « propension » à agir d'une certaine manière en suivant une longue tradition philosophique [Héran, 1987 ; Brette, 2006 ; Aristote, e1992]. L'habitude est un ensemble de savoir-faire intériorisés (et parfois même incorporés) qui concernent autant des activités « intellectuelles » que des activités plus « corporelles ». Cet ensemble est acquis par une répétition d'actions (« c'est en forgeant qu'on devient forgeron », phrase attribuée à Aristote) mais ne détermine en rien une répétition d'actions identiques une fois celle-ci constituée. L'habitude est donc bien à la fois une disposition active apte à intérioriser de nouveaux schémas, ainsi qu'un ensemble intériorisé de savoir-faire [J.C. Kaufmann, 2001 ; Buhler, 2012].

Nous nous sommes récemment intéressés aux pratiques automobiles « résistantes » aux injonctions au changement de mode formulées par la collectivité dans le cas de l'agglomération lyonnaise [idem]. Nous en avons tiré que l'« habitude automobile » agit comme une force de résistance au changement de mode de transport, celui-ci fut-il « rationnel² » d'un point de vue extérieur. Cette « habitude automobile » joue

1. D'autres travaux sur les résistances au changement de comportement dans l'usage de l'énergie domestique ont également pu être menés récemment [Maréchal, 2010 ; Subrémon, 2009]. Ceux-ci montrent également l'importance des habitudes individuelles, elles-mêmes reliées à des habitudes collectives ou « modèles culturels ».

2. Par « rationnel » nous entendons ici autant la rationalité « économique » que la rationalité « axiologique » [V. Kaufmann, 2000]

donc bien un rôle primordial dans l'explication des pratiques automobiles en centre urbain dense que ne pourraient expliquer ni les théories dites « du choix rationnel », ni les théories proposant un déterminisme « social » [Bourdieu, 1980] voire « spatial » [Dupuy, 1999].

Afin d'identifier les formes et le rôle des habitudes sur les pratiques de déplacement, des dispositifs spécifiques d'enquête ont pu être constitués. Ceux-ci peuvent faire intervenir des enregistrements sonores ou vidéo sur plusieurs jours, des observations sur le temps long ou encore des questionnaires administrés sur plusieurs années auprès d'un panel identique et qui permet alors une lecture « longitudinale » des comportements [Buhler, 2012; McIlvenny, 2010; Laurier, 2010; Goodwin, 1987; Verplanken et Orbell, 2003]. Ces nouvelles méthodes tentent avant tout d'éviter les écueils principaux des méthodes « classiques » (individu considéré comme « décideur », injonction à la rationalisation à posteriori, ...) [Steg et al., 2001].

Objectifs

En dépit de qualités heuristiques très fortes, ces méthodes se limitent pour l'heure à des échantillons relativement restreints en nombre, ce qui limite la généralisation de leurs résultats. Dans cette optique, le but de ce papier est de proposer une discussion critique sur les potentialités des enquêtes-ménages-déplacements (EMD) à permettre une discussion sur l'action individuelle incluant les « habitudes ». Bien qu'elles soient avant tout des enquêtes destinées aux opérationnels, ces enquêtes ont plusieurs avantages puisqu'elles sont standardisées et relativement accessibles aux communautés de chercheurs. Par ailleurs, et en dépit de leur standardisation, elles ne semblent pas empêcher pour autant des traitements et constructions méthodologiques novatrices [Thévenin et al., 2007]. Que peuvent donc apporter les résultats de telles enquêtes pour le moins « transversales » et « classiques » sur les habitudes de déplacement,

et notamment sur les pratiques automobiles en ville? C'est ce que nous cherchons à questionner ici en nous adonnant à une réelle « archéologie » de l'habitude, à une étude des « traces » laissées pour reconstituer les habitudes dans les pratiques de déplacement quotidien.

Données et méthodes

Dans ce travail en cours de réalisation, nous travaillons sur les résultats de l'enquête-ménages-déplacements de Dijon datant de 2009, qui a pour avantage d'associer aux éléments descriptifs classiques quelques questions d'opinion centrées notamment autour de l'arrivée du tramway. Bien entendu, ce type d'enquête étant particulièrement « transversal » et axé sur les choix et les opinions des individus, les habitudes ne peuvent se lire que dans les « interstices ». Notre analyse se fera donc en deux temps.

Tout d'abord, à l'aide d'une lecture des résultats de l'EMD, nous testerons l'hypothèse selon laquelle la « rationalité instrumentale », la « rationalité axiologique » et les « déterminismes sociaux » ne permettent pas de couvrir l'ensemble des « raisons » de la pratique automobile en ville, et notamment en centre-ville dense. Pour cela, nous nous appuierons sur une série de régressions logistiques mobilisant des variables explicatives telles que la « pertinence instrumentale » des modes alternatifs pour effectuer des trajets équivalents à ceux fournis dans l'enquête, mais aussi le groupe social d'origine, et les valeurs qui ressortent dans les questions d'opinion. A la lecture de ces résultats nous pourrions alors défendre l'idée d'un « quatrième pilier » des comportements modaux que nous chercherons à appréhender par une seconde lecture de cette enquête : l'habitude [Klöckner & Matthies, 2004].

Nous tenterons alors de montrer comment s'approcher de l'habitude de déplacement par la lecture des résultats de cette EMD. Plusieurs entrées sont possibles, tout d'abord par les trajets les plus « habituels ». Nous concluons en proposant des ajouts

de questions qui permettraient aux EMD de prendre pleinement en compte les habitudes dans la description des pratiques modales, notamment dans leurs dimensions temporelles, spatiales et psychiques. Ces

ajouts permettraient alors une meilleure mise en lumière de ces phénomènes fondamentaux dans les pratiques de déplacements.

Références

Aristote, e1992, *Éthique à Nicomaque*, Paris, Librairie générale française, Classiques de la philosophie, 447 p.

Bourdieu, P., 1980, *Le sens pratique*, Les éditions de Minuit, 474 p.

Brette, O., 2006, "Expanding the Dialogue between Institutional Economics and Contemporary Evolutionary Economics : Veblen's Methodology as a Framework", *Journal of Economic Issues*, 40, 2, pp. 493-500

Buhler, T., 2012, *Éléments pour la prise en compte des habitudes dans les pratiques de déplacements urbains. Le cas des résistances aux injonctions au changement de mode sur l'agglomération lyonnaise*, thèse de doctorat, INSA de Lyon

Dupuy, G., 1999, *La dépendance automobile. Symptômes, analyses, diagnostic, traitements*, Anthropos, 160 p.

Enaux, C., 2009, « Processus de décision et Espace d'activités/déplacements. Une approche articulant routine cognitive et adaptation événementielle », *Cybergeo : European Journal of Geography*, n°453

Goodwin, P.B., Dix, M.C., Layzell, A.D., 1987, "The case for heterodoxy in longitudinal analysis", *Transportation Research Part A : General*, 21, 4-5, p.p. 363-376.

Héran, F., 1987, « La seconde nature de l'habitus. Tradition philosophique et sens commun dans le langage sociologique », *Revue française de sociologie*, 28, 3, pp. 385-416.

Kaufmann, J.-C., 2001, *Ego : pour une sociologie de l'individu*, Nathan, 2001, 288 p.

Kaufmann, V., 2000, *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines : la question du report modal*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 252 p.

Klößner, C.A., Matthies, E., 2004, "How habits interfere with norm-directed behaviour : A normative decision-making model for travel mode choice", *Journal of Environmental Psychology*, 24, 3, pp. 319-327.

Lahire, B., 1998, *L'homme pluriel : les ressorts de l'action*, Nathan, 271 p.

Laurier, E., 2010, « Two blokes : sharing cars, sharing troubles », *communication à la conférence du réseau de recherche Cosmobilities*, Aalborg, Danemark

Maréchal, K., 2010, "Not irrational but habitual : The importance of « behavioural lock-in » in energy consumption", *Ecological Economics*, 69, 5, pp. 1104-1114.

McIlvenny, P., 2010, "Learning to be mobile. Children in/on bike in a pro-bike environment », *communication à la conférence du réseau de recherche Cosmobilities*, Aalborg, Danemark

Steg L., Vlek C., Slotegraaf G., 2001, "Instrumental-reasoned and symbolic-affective motives for using a motor car", *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour*, 4, 3, pp. 151-169.

Subrémon, H., 2009, *Habiter avec l'énergie. Pour une anthropologie sensible de la consommation d'énergie*, thèse de doctorat, Université Paris X

Thévenin, T., Chardonnel, S., Cochet, E., 2007, « Explorer les temporalités urbaines de l'agglomération de Dijon. Une analyse de l'Enquête-Ménage-Déplacement par les programmes d'activités », *Espace Populations Sociétés*, 2007 /2-3

Thévenot, L., 2006, *L'action au pluriel. Sociologie des régimes d'engagement*, La Découverte, 310 p.

Verplanken, B., Orbell, S., "Reflections on past behavior : A self-report index of habit strength", *Journal of Applied Social Psychology*, 33 (6), pp. 1313-1330

Un modèle de données séquentiel pour analyser les enquêtes ménages déplacements

Hadrien Commenges

Université Paris Diderot-Paris 7
UMR 8504 Géographie-cités
13, rue du Four, 75006 Paris
hcommenges@parisgeo.cnrs.fr

Mots-clefs - Mobilité, Modèle conceptuel de données, Analyse séquentielle

Contexte

Les enquêtes origine-destination réalisées au domicile des ménages, ou "enquêtes ménages déplacements" font l'objet de l'action normalisatrice des services de l'État dès le milieu des années 1970 (SETRA 1975) et font preuve d'une grande stabilité jusqu'à aujourd'hui. Malgré plusieurs évolutions contextuelles majeures (progrès de l'informatique, nouveaux dispositifs de géolocalisation, nouveaux questionnements) le modèle conceptuel des données d'enquêtes ménages déplacements (EMD) a très peu évolué depuis les origines. Ce modèle conceptuel constitue bien plus qu'un simple formatage des données, il définit la matière de l'analyse et façonne les questionnements, les traitements de données et les interprétations des résultats.

Les travaux retraçant l'histoire des instruments destinés à la planification des transports (Dupuy 1975) amènent à considérer que le dispositif d'enquête et son modèle conceptuel de données sont issus d'un contexte technico-scientifique très particulier, celui de l'ingénierie du trafic (*traffic engineering*). Dans ce cadre, le transport est considéré comme un bien immatériel dont la demande est exprimée en termes de déplacements. Le déplacement, mouvement réalisé sur la voie publique reliant deux motifs (CERTU 1998), est la clef de voûte de l'armature conceptuelle et méthodologique de l'ingénierie et l'économie des transports. Le dispositif d'enquête, l'EMD, est littéralement un dispositif qui recueille les dépla-

cements réalisés par les ménages. Depuis les premières enquêtes origine-destination réalisées aux États-Unis dans les années 1940 (Weiner 1997), de nouvelles approches ont été proposées s'intéressant aux individus et à leurs activités assorties de nouveaux types d'enquêtes. Cependant, l'EMD est restée le dispositif dominant de mesure de la mobilité jusqu'à aujourd'hui, et elle porte toujours le modèle conceptuel de données originel, qualité ici de modèle déplacement-centré.

Les EMD peuvent toutefois être considérées comme productrices d'une information longitudinale. Il s'agit certes d'un dispositif d'enquête transversal (*cross sectional survey*), mais les données qu'elles produisent qualifient les individus à différents moments, ce en quoi elles produisent une information longitudinale par des questions rétrospectives. Le fait de considérer les EMD comme productrices d'une information longitudinale amène à leur appliquer des méthodes et des modèles conceptuels de données adaptés à ce changement de perspective, et plus particulièrement des méthodes d'analyse séquentielle. Certains auteurs ont déjà appliqué ces méthodes à l'analyse des programmes d'activités : les "actogrammes" présentent ainsi des séquences d'activités et de déplacements réalisés tout au long de la journée (Bonnafous et al. 1981, Joh et al. 2002, Thévenin et al. 2007).

Objectif et plan

Cette communication propose une transformation du modèle de données originel en un modèle qualifié de "séquentiel", qui s'appuie sur des travaux anciens de time-geography et sur des travaux plus récents sur les patrons d'activités (Chardonnel et al. 2004). Cette transformation ne se limite pas aux activités (issues des motifs de déplacement) mais s'étend à toute l'information pertinente pouvant être considérée comme des états de mobilité. Elle est structurée en trois temps : d'abord une brève réflexion sur les modèles conceptuels de données amènera à réfléchir au statut de la proposition qui fait l'objet de cette communication : les séquences d'états ou d'activités type "actogramme" sont-elles de simples représentations graphiques ? Ensuite, l'intérêt du modèle de données séquentiel sera présenté à travers de brefs exemples de traitements sur la coprésence et sur les trajectoires. Finalement, une analyse plus poussée sera réalisée qui mènera à concevoir la mobilité comme la *variabilité temporelle de la présence spatiale* des individus.

Données et méthodes

Tous les traitements sont réalisés sur l'Enquête Globale Transport (EGT) 2001-2002. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une EMD à strictement parler, les différences entre les EMD "standard CERTU" et l'EGT sont marginales et n'affectent pas le fil de cette communication. Les algorithmes permettant de reformater les données de l'enquête dans un modèle séquentiel sont implémentés dans le logiciel R. Les représentations graphiques de séquences et les mesures réalisées sur ces séquences sont réalisées avec la bibliothèque TraMineR du logiciel R (Gabadinho et al. 2011). Les exemples de trai-

tements sur la coprésence et les trajectoires sont traités rapidement, il s'agit uniquement de montrer comment le modèle de données séquentiel amène facilement à des résultats et des représentations sur les rythmes urbains (Banos et Thévenin 2004, Bertrand et al. 2008) et sur les trajectoires (Chardonnel et al. 2004).

L'analyse finale est plus poussée. Dans le but de comparer les deux modèles de données, nous partons d'un exemple simple utilisant le modèle de données et le schéma interprétatif classiques avec deux variables fréquemment utilisées dans les études mobilité et de transport : le nombre de déplacements réalisés par individu et la distance totale parcourue. Ensuite, une analyse comparable est réalisée avec le modèle de données séquentiel et les résultats issus de cette analyse sont confrontés aux premiers. La comparabilité est bien sûr relative, les traitements sont réalisés sur des propriétés différentes dans les deux cas mais, dans les deux cas, elles ont trait à la distance : distance parcourue d'abord, puis présence dans des espaces plus ou moins lointains.

Les deux types d'analyses ne donnent pas les mêmes résultats. En effet, l'analyse déplacement-centrée se focalise sur les états mobiles des individus et ne tient pas compte de tout ce qui se passe, "en creux", entre les déplacements, à savoir la présence spatio-temporelle des individus. D'un point de vue conceptuel, cette confrontation mène à une définition partielle mais opératoire de la mobilité. A la différence de l'approche classique qui considère que la mobilité s'exprime en termes de déplacements, l'approche séquentielle amène à considérer la mobilité comme la *variabilité temporelle de la présence spatiale*, dont les épisodes d'immobilité font partie au même titre que les épisodes de mobilité.

Références

- Banos, A. et Thévenin, T. (2004). Révéler les rythmes urbains par la carte animées. *Revue internationale de géomatique*, 15(1) :11- 32.
- Bertrand, F., Couderc, C. et Ladegaille, E. (2008). La dynamique des activités en Ile-de-France. DREIF - Les cahiers de l'EGT.
- Bonnafous, A., Patier-Marque, D. et Plasard, F. (1981). *Mobilité et vie quotidienne*. Presses universitaires de Lyon, Lyon.
- CERTU (1998). *L'enquête ménages déplacements méthode standard. Notes méthodologiques et annexes*. CERTU. Chardonnel, S., du Mouza, C., Fauvet, M., Josselin, D. et Rigaux, P. (2004). Patrons de mobilité : proposition de définition, de méthode de représentation et d'interrogation.
- Dupuy, G. (1975). *Une technique de planification au service de l'automobile. Les modèles de trafic urbain*. Ministère de l'équipement, Paris.
- Gabadinho, A., Ritschard, G., Mueller, N. S. et Studer, M. (2011). Analyzing and visualizing state sequences in r with *traminer*. *Journal of Statistical Software*, 40(4) :1 - 37.
- Joh, C.-H., Arentze, T., Hofman, F. et Harry, T. (2002). Activity pattern similarity : a multidimensional sequence alignment method. *Transportation Research Part B : Methodological*, 36(5) :385 403.
- SETRA (1975). Dossier pilote concernant la réalisation des enquêtes ménages. SETRA, Bagneux. Thévenin, T., Chardonnel, S. et Cochet, E. (2007). Explorer les temporalités urbaines de l'agglomération de Dijon : une approche activité-centrée de l'Enquête Ménage Déplacement. *Espace Populations Sociétés*, 2-3.
- Weiner, E. (1997). *Urban transportation planning in the United States : an historical overview*. Praeger Publishers, Westport.

De l'excess commuting à l'excess energy : potentiels de réduction des consommations d'énergie liées aux déplacements domicile-travail en Ile-de-France

Emre Korsu, Florent Le Néchet

Laboratoire Ville, Mobilité, Transport (LVMT)
Université Paris-Est Marne-la-Vallée
florent.lenechet@univ-mlv.fr

Mots-clefs - Excess commuting, déplacements domicile-travail, modes de transport, consommation d'énergie, Ile-de-France

Contexte

La réduction des émissions de gaz à effet de serre et de la consommation d'énergie dans les villes est devenue une composante incontournable de l'agenda des politiques urbaines. Plusieurs pistes s'ouvrent aux politiques pour marquer des points dans la poursuite de cet objectif. Une de ces pistes concourt à réduire les distances que parcourent les citoyens au titre de leurs déplacements quotidiens. Cette problématique a stimulé depuis de nombreuses années un nombre considérable de recherches en sciences sociales, de la part de géographes, économistes, sociologues, consacrées aux raisons pour lesquelles les citoyens parcourent de si grandes distances dans leur vie quotidienne et les conditions nécessaires pour que ces distances puissent être modérées. Ces recherches tentent notamment de comprendre si les grandes distances sont une conséquence de contraintes qui pèsent sur les ménages et qui les « obligent » à des déplacements longs ou si, au contraire, les marges de choix dont disposent les ménages sont plus grandes, de sorte qu'on peut voir les déplacements longs comme un prix à payer jugé acceptable par les ménages en échange d'un certain nombre de « biens » (un emploi mieux rémunéré, plus intéressant, un logement plus grand, de meilleure qualité, dans un environnement agréable, etc.).

Les travaux consacrés à l'« *excess commuting* » constituent un sous-ensemble par-

ticulièrement foisonnant dans cet univers de recherches. En l'espace d'une trentaine d'années, depuis les travaux pionniers de Hamilton et White dans les années 1980, cette famille de recherche s'est enrichie d'un grand nombre de contributions, essentiellement nord-américaines. Il s'agit, dans ces recherches, de chercher la distance moyenne minimale qu'autorise la structure spatiale de la ville, étant donnée la localisation des emplois et des logements, pour les déplacements domicile-travail. Cette distance minimale s'obtient en appariant les emplois et les actifs (et leurs logements) de manière à ce que la distance totale à parcourir soit la plus petite possible. La comparaison de ce minimum avec la distance domicile-travail moyenne observée est riche d'enseignements. Elle permet notamment de mesurer le potentiel que contient la ville en l'état en matière de réduction des distances à parcourir au titre des déplacements quotidiens – puisque la distance minimale s'obtient par simple réappariement des couples emplois-actifs, sans intervention sur la localisation des emplois et des logements, ni modification de leur volume. Par extension, l'écart entre l'observé et le minimum est aussi interprété comme une mesure du « gâchis » accumulé en termes de distances « inutilement » parcourues – le « surplus » de volume kilométrique par rapport au minimum correspondant à des kilomètres de déplacements qui auraient pu être « évités » théoriquement.

De manière implicite, la littérature scienti-

fique tend à considérer que l'économie de kilomètres que promet le simple réappariement des emplois et des actifs est aussi un indicateur de l'économie qu'on réaliserait par la même occasion sur le plan de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre. Moins de distance à parcourir devrait se traduire logiquement par moins d'énergie à consommer pour les déplacements et donc de moindres émissions de gaz à effet de serre. Il reste que le rapport quantitatif entre les deux économies est tributaire de la question des modes de transport. Le bilan énergétique et environnemental d'un déplacement dépend du mode de transport qu'on utilise pour ce déplacement. Comme on le sait, de manière générale, toutes choses égales par ailleurs, un déplacement effectué en marchant ou à vélo est plus « sobre » sur le plan énergétique et environnemental qu'un déplacement en transports en commun (TC), lui-même plus « sobre » qu'un déplacement en véhicule particulier (VP). Il s'ensuit que la sobriété énergétique et environnementale qu'induirait la minimisation des distances domicile-travail par réappariement des emplois et actifs dépend, en théorie, de la manière dont les choix modaux des actifs pour se rendre à leur lieu de travail seraient modifiés par les nouveaux appariements. Rien ne garantit que cette modification soit systématiquement dans le sens d'une plus grande sobriété, avec des transferts modaux de type VP vers TC ou VP vers la marche ou le vélo.

Un simple exemple peut suffire à illustrer ce point. Imaginons un actif qui habite à la périphérie d'une grande ville et qui se rend à son travail, localisé au cœur de la ville, en transports en commun. Si cet actif était apparié à un emploi localisé plus près de son domicile, de manière à réduire sa distance domicile-travail (DT), son choix modal pourrait bien glisser vers l'usage de la voiture, bien plus efficace sur des déplacements de type banlieue-banlieue. Dans ce cas, la réduction de la distance DT à parcourir n'induirait non pas un meilleur mais vraisemblablement un plus mauvais bilan énergétique et environnemental. Cette si-

tuation est assez fréquente dans une métropole comme l'Île-de-France où une majorité de trajets de longue distance (plusieurs dizaines de kilomètres) est réalisée en transports collectifs.

Objectif

L'objectif de notre recherche est d'explorer, dans le contexte de la métropole parisienne, cet aspect jusqu'ici inexploré, à notre connaissance, de la question de l'excess commuting. Dans quelle mesure l'excess commuting est aussi un excess energy consumption? En minimisant les distances DT, réduirait-on la consommation énergétique et l'émission de gaz à effet de serre liés aux déplacements DT dans les mêmes proportions? Ou alors la minimisation des distances DT entraînerait-t-il des cas de reports modaux « régressifs » suffisamment nombreux pour atténuer significativement l'économie sur le plan énergétique et environnemental?

Cette question est complexe car il y a plusieurs manières de modéliser les reports modaux induits par la reconfiguration des déplacements domicile-travail suite à la minimisation des distances DT par réappariements des actifs et emplois (suivant la procédure habituelle des recherches sur l'excess commuting). Afin de déterminer la structure modale la plus vraisemblable sur une liaison origine (lieu de résidence)/destination (lieu d'emploi), on peut se baser sur l'observation des choix modaux réels et des déterminants de ces choix (notamment la distance entre l'origine et la destination, le type de tissu dans lequel elles se localisent, le volume de navetteurs sur cette liaison, les pratiques des navetteurs avant réappariement, etc.) ou encore sur une modélisation des choix modaux après réappariement, prenant en compte une reconfiguration fictive des réseaux de transport collectif pour accommoder la nouvelle demande de transport sur les différentes liaisons, sur le principe d'une mutualisation des consommations énergétiques unitaires pour les liaisons les plus

fréquentées. Notons que le problème de minimisation directe de la consommation d'énergie est trop complexe mathématiquement pour être traité ici puisqu'il interdit de calculer à priori une matrice de coût énergétique entre zones, donnée d'entrée nécessaire au module de calcul que nous utilisons.

A l'arrivée, on pourra donc procéder à une comparaison du bilan énergétique et environnemental des déplacements DT observés avec le bilan énergétique sous l'hypothèse d'une minimisation des distances DT.

Données et méthode

La méthodologie décrite est mise en place dans le cas de la région parisienne à l'aide du logiciel TransCad, S.I.G. orienté transport qui possède un module intégré permettant de traiter le problème de minimisation de la distance. Le calcul des consommations d'énergie liées aux déplacements domicile-travail s'appuie sur un croisement entre le recensement de population de l'INSEE et l'Enquête Globale de Transport de la DREIF (2001). Pour chaque couple de communes origine / destination, l'utilisa-

tion des modes de transports VP, TC routier, TC ferré et modes doux est pondérée en fonction de leur consommation unitaire par kilomètre.

Par ailleurs pour augmenter le caractère réaliste des appariements réalisés, nous limitons les réappariements potentiels à des catégories d'actifs et d'emplois homogènes. Nous travaillons ainsi avec douze types d'actifs croisant catégorie socio-professionnelle (six modalités) et niveau d'éducation (deux modalités). Nous étudions ainsi le potentiel de réduction des consommations d'énergie au sein de la métropole parisienne en prenant en compte la réalité de la géographie sociale francilienne : un employé de faible niveau d'éducation ne pourra pas échanger son lieu d'emploi avec un cadre diplômé de l'université. Il sera intéressant d'analyser les différences après réappariements du point de vue de la géographie (quels territoires bénéficieraient le plus des réappariements) et de la sociologie francilienne (quelles catégories d'actifs sont les plus contraintes aujourd'hui). Plus fondamentalement nous étudierons les limites du paradigme de l'excess commuting quant à la minimisation des consommations d'énergie liées au transport.

Références

Hamilton, B. 1982, «Wasteful commuting», *Journal of Political Economy*, vol. 90, n° 5, pp. 1035–1053.

White, M.J. 1988, «Urban commuting journeys are not "Wasteful" », *Journal of Political Economy*, vol. 96, n° 5, pp. 1097-1110

Atelier 11

Diffusions et répartitions spatiales

Effets de la géographie dans la diffusion des pièces euros étrangères en France. Une approche par la simulation individu-centrée

Le Texier Marion

UMR Géographie-Cités
Université du Luxembourg

Mots-clefs - Simulation individu-centrée, euro, diffusion, interaction, mobilité

Résumé

Avec l'introduction il y a dix ans de l'euro comme monnaie unique dans douze pays d'Europe et étant donné que chaque pièce porte le symbole de son pays d'émission sur sa face, la possibilité est née de suivre les mobilités internationales dans cette partie de l'Europe à partir des traces laissées par la circulation de ces pièces. En effet, les pièces en euro sont principalement véhiculées de part et d'autre des frontières par les individus au cours de leurs déplacements professionnels, touristiques ou autres (Grasland et al., 2012). Cependant, la spécificité des pièces euros en tant que marqueur des mobilités tient dans le fait qu'il n'est pas possible d'en suivre directement la circulation et qu'il n'est donc pas possible de connaître le chemin exact réalisé par une pièce que l'on observe en un lieu donné (Grasland et Guérin-Pace, 2003, Grasland et al., 2005b, Le Texier, 2011). Pour palier à cette limite, des enquêtes ont été menées dans différents pays d'Europe afin de mesurer, puis de prédire, la répartition des différentes origines de pièces en différents lieux au cours du temps à partir du contenu des porte-monnaie individuels considérés comme le résultat d'une série de mobilités et d'échanges (Grasland et al., 2002).

Plusieurs équipes de physiciens ont ainsi construit des modèles markoviens agrégés à l'échelle des pays, lesquels sont caractérisés par une proportion de pièces étrangères qui évolue au cours du temps (van Blokland et al., 2002 ; Stoyan, 2002 ; Stoyan

et al., 2004 ; Seitz et al., 2009, 2012). Les calibrations de leurs modèles menées dans un système fermé prévoyaient pour 2012 un mélange parfait en Allemagne. Celui-ci est supposé atteint lorsque la proportion de pièces allemandes en Allemagne remplit deux conditions : (1) elle correspond à la part des pièces allemandes dans l'ensemble des pièces émises dans l'Eurozone et (2) reste stable au cours du temps (Stoyan, 2002 ; Stoyan et al., 2004 ; Seitz et al., 2009). L'introduction des pertes et de la production de nouvelles pièces au modèle reporte, quant à elle, l'estimation de la date d'obtention d'un tel mélange à 2050 (Seitz et al., 2012).

En parallèle de ces études, C. Grasland et F. Guérin-Pace (2003) ont étudié les effets de la distance à la frontière au sein d'un modèle d'interaction spatiale statique calibré à partir de données empiriques. S. Berroir et al. (2005) utilisent une stratégie similaire pour identifier les effets de barrière liés à la frontière linguistique en Belgique. La même année, C. Grasland et al. (2005a) étudient la dynamique temporelle dans un modèle théorique proche de ceux élaborés par les physiciens puisqu'ils utilisent une approche markovienne, mais qu'ils intègrent dans un espace en 2-D représentant une dizaine de villes appartenant à deux pays différents. La probabilité pour une ville de recevoir une pièce d'une autre ville est définie à partir d'une probabilité de transition qui décroît avec la distance. Les auteurs montrent que, même dans le cas d'un espace transfrontalier très actif, la pénétration des pièces d'un pays

vers les villes de l'autre pays après un grand nombre d'itérations reste faible puisque les pièces vont et viennent d'un côté à l'autre de la frontière.

L'intégration d'un niveau intermédiaire de modélisation, le passage à un espace linéaire à plusieurs villes et la prise en compte de l'effet de la distance sur les probabilités d'interaction ont permis à C. Grasland et al. (2005a) d'obtenir de meilleurs ajustements aux données empiriques. En effet, l'importance de l'espace comme canal de diffusion a été démontrée dès le début des années 1950 par T. Hägerstrand (1952) dans le cadre de la diffusion d'innovations. Depuis, de nombreux auteurs se sont intéressés à l'importance du type d'espace dans la forme de la diffusion (Hudson, 1972, Saint-Julien, 1985 ; Rogers, 1995, en autres). D'autres se sont attachés à montrer l'importance de la mobilité et des canaux de circulation dans la diffusion d'épidémies (Hunter et Yung, 1971, Cliff et al., 2000, Daudé et Eliot, 2005, Daudé et Langlois, 2006, entre autres). Dans le cas de la diffusion des pièces en euro d'un pays vers un autre, le schéma diffère quelque peu des modèles susmentionnés. Il s'agit dans un premier temps d'un processus irréversible (il est peu probable, par exemple, qu'après avoir atteint un certain taux de mélange, les pièces retournent toutes dans leurs pays d'émission). Deuxièmement, lorsqu'une pièce est transmise d'un individu à un autre, l'individu « donneur » n'est immédiatement plus « porteur », alors que la guérison, lorsque celle-ci est possible, n'est pas due au processus de transmission.

On pourrait alors formaliser la diffusion des pièces en euro étrangères dans le cadre d'un modèle d'échanges où l'on simulerait le brassage entre différentes populations. En ce sens, on se rapprocherait des modèles d'automates cellulaires simulant les processus ségrégatifs depuis les travaux pionniers de Schelling (1971) et dont la formalisation de l'espace a depuis été complexifiée (O'Sullivan, 2001). Toutefois, le mélange des pièces en euro se distingue quelque peu des processus étudiés puisque quand

bien même il s'agit d'un processus itératif avec dépendance historique (la probabilité d'échanger un type de pièce plutôt qu'un autre dépend de ce qui s'est passé avant), les répartitions de pièces issues des échanges réalisés aux états précédents ne modifient pas les potentiels d'attraction et/ou de répulsion des lieux, et n'influent donc pas les choix de destination.

De plus, l'intérêt d'une approche individuelle dans une simulation dynamique du processus de diffusion des euros étrangers en France a été illustré par M. Le Texier et G. Caruso (2013) dans une étude comparant différentes stratégies de modélisation du processus d'échange de pièces entre deux pays à partir de mobilités individuelles. S'ils montrent que l'échelle de modélisation (ville-état ou individu) ne modifie pas le comportement général du modèle lorsque l'on définit les actions de mobilité et d'échanges comme deux processus successifs d'un même pas de temps, la variation du nombre de pièces échangées entre deux individus dans le modèle individualisé introduit des différences de calibration au regard de la définition du taux de mobilité nécessaire au meilleur ajustement et du temps de convergence estimé. La modélisation du système à l'échelle des individus permet, de plus, d'intégrer des règles de comportements liées aux différences socio-spatiales dans les pratiques de mobilité et d'échange révélées par les analyses empiriques de S. Berroir et al. (2005) et Nuno et al. (2005). Le modèle que nous nous proposons de construire s'inscrira donc dans une approche désagrégée de l'échange monétaire.

Enfin, si l'intégration de la dimension spatiale dans le modèle apparaît nécessaire, l'étude de l'effet de l'espace dans le processus de diffusion des euros étrangers que nous nous proposons de faire est néanmoins réalisée dans une géographie simplifiée. En effet, si l'essence de la diffusion des euros tient dans la répétition de transactions monétaires effectuées par des individus (ou parfois entre un individu et une machine) se trouvant au même endroit au même moment, mesurer les effets distincts des diffé-

rents canaux de mobilité individuelle sur la répartition des pièces observée à un niveau agrégé n'est pas chose facile puisque l'on peut imaginer que différents effets se combinent (Wilson, 2002). Pour palier à cette difficulté, nous proposons d'introduire pas à pas les différentes structures d'intérêt au sein du modèle de simulation : (1.1) effet du passage de 2 à 3 unités dans un espace circulaire puis (1.2) dans un espace linéaire ; (2.1) introduction d'une trame cristalline avec mobilité contrainte aux voisinages directs, ou (2.2) par probabilité décroissante en fonction de la distance puis (2.3) avec étude des effets de taille par l'in-

troduction de hiérarchies urbaines ; et, enfin, (3.1) analyse des processus de différenciation spatiale liés à l'attractivité touristique de certaines zones ou (3.2) à des effets barrières comme le langage.

Trois indicateurs de sortie seront comparés à l'échelle des pays et leurs variabilités analysées à l'échelle des villes :

- la vitesse de convergence vers un état stable ;
- la proportion de pièces étrangères dans les villes à l'état de stabilité ;
- la spécialisation, ou non, dans une origine de pièces particulière.

Références

- Berroir, S., Grasland, C., Guérin-Pace, F., et Hamez, G., 2005, « La diffusion spatiale des pièces euro en Belgique et en France », *Revue belge de Géographie* (Belgeo), 4, p. 345–358.
- van Blokland, P., Boot, L., Hiremath, K., Hochstenbach, M., Koole, G., Pop, S., Quant, M., et Wirosoetisno, D., 2002, « The euro diffusion project », *Proceedings of the 42nd European Study Group with Industry*.
- Cliff A. D., Haggett P., Ord J. K., et Versey G. R., 1981, *Spatial diffusion : an historical geography of epidemics in an island community*, Cambridge University Press.
- Daudé, E. et E. Eliot, 2005, « Exploration de l'effet des types de mobilités sur la diffusion des épidémies », *Actes des 7ème Rencontres Theoquant*, Besançon, 26-28 janvier 2005, 17 p.
- Daudé, E. et Langlois, P., 2006, « Les formes de la diffusion », *La forme en géographie, Actes du Colloque GéoPoint'04*, Avignon, p 171-175.
- Grasland, C., 2009, « Spatial analysis of social facts », *Handbook of Theoretical and Quantitative Geography*, Bavaud, F. et Mager, C. (Eds.), FGSE, Lausanne, p. 117-174.
- Grasland, C., et Guérin-Pace, F., 2003, « Euroluca : a simulation model of euro coins diffusion », *Proceedings of the 13th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*, Lucca, Italie, 5-9 septembre 2003, p. 24.
- Grasland, C., Guérin-Pace, F., Le Texier, M., et Garnier, B., 2012, « Dix ans de diffusion des euros étrangers en France », *Population et Sociétés*, 488, 4p.
- Grasland, C., Guérin-Pace, F., et Nuno, J.-C., 2005a, « Interaction spatiale et réseaux sociaux. modélisation des déterminants physiques, sociaux et géographiques de la diffusion des pièces euro entre pays de la zone euro », *2eme Colloque "Systèmes Complexes en SHS"*, Paris.
- Grasland, C., Guérin-Pace, F., et Terrier, C., 2005b, « La diffusion spatiale, sociale et temporelle des pièces euros étrangères : un problème complexe », *Actes des journées de Méthodologie Statistique*.
- Grasland, C., Guérin-Pace, F., et Tostain, A., 2002, « La circulation des euros, reflet de la mobilité des hommes », *Population et Sociétés*, 384, 4p.
- Hägerstrand T., 1952, *The propagation of innovation waves*, Lund Studies in Geography, Serie B, vol. 4.
- Hudson J. C., 1972, « Geographical diffusion theory », *Studies in geography*, 19, Northwestern University, Illinois.

- Hunter, J.M., et Young J.C., 1971, « Diffusion of influenza in England and Wales », *Annals of the Association of American Geographers*, 61, p. 637-653.
- Le Texier, M., 2011, « La pièce euro comme marqueur de mobilités transnationales », *Actes des Dixièmes Rencontres Theoquant*, Besançon, 23-25 février 2011, 11 p.
- Le Texier, M. et Caruso, G., 2013 (à paraître), « Aggregate and disaggregate dynamic spatial interaction approaches to modelling coins diffusion », *Spatial Analysis and Location Modeling in Urban and Regional Systems*, J.C. Thill (Ed.), Springer.
- Nuno, J., Grasland, C., Blasco, F., Guérin-Pace, F., et Olarrea, J., 2005, « How many coins are you carrying in your pocket ? », *Physica A*, 354, p. 432-436.
- O'Sullivan, D., 2001, « Exploring spatial process dynamics using irregular cellular automaton Models », *Geographical Analysis*, 33(1), p.1-18.
- Rogers E.M., 1995, *Diffusion of innovations*, New-York, Free Press, Macmillan Publishing Co, 4ème édition (1er ed. 1962)
- Saint-Julien T., 1985, *La diffusion spatiale des innovations*, Montpellier, RECLUS, coll. RECLUS modes d'emploi.
- Seitz, F., Stoyan, D., et Tödter, K.-H., 2009, « Coin migration within the euro area », *Deutsch Bundesbank Discussion - Paper Series 1 : Economic Studies*, 27.
- Seitz, F., Stoyan, D., et Tödter, K.-H., 2012, « Coin migration and seigniorage within the euro area », *Jahrbücher für National Ökonomie und Statistik*, 232 (1), Deutsche Bundesbank.
- Stoyan, D., 2002, « Statistical analyses of euro coin mixing », *Mathematical Spectrum*, 35, p. 50-55.
- Stoyan, D., Stoyan, H., et Dödge, G., 2004, « Statistical analyses and modelling of the mixing process of euros coins in Germany and Europe », *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 46, p. 67-77.
- Wilson, A.G., 2002, « Complex Spatial Systems : Challenges for Modellers », *Mathematical and Computer Modelling*, 36, p. 379-87.

Analyse spatiale intra-urbaine des courants politiques français (2007-2010)

Laurent Beauguitte, Michel Bussi

UMR IDEES

Mots-clefs - Analyse spatiale, géographie électorale, autocorrélation spatiale, métropoles françaises

L'analyse des résultats électoraux a long-temps été menée à l'échelle départementale, essentiellement pour des raisons de disponibilité des données. Ainsi les données électorales à l'échelle communale et cantonale sont disponibles sous forme numérique depuis 2001 seulement. Le projet Cartelec (www.cartelec.net) permet une analyse à une échelle inédite des résultats électoraux : celle du bureau de vote pour toutes les villes de plus de 30 000 habitants pour la séquence électorale 2007 - 2010¹. Si affiner le niveau d'analyse permet une étude plus précise des spécificités de tel ou tel espace métropolitain (Rivière, 2012) et présente des atouts statistiques pour l'analyse électorale (Russo et Beauguitte, 2012), cela permet également de mobiliser des méthodes d'analyse spatiale sur un échantillon d'une ampleur inédite.

Notre étude porte sur toutes les communes métropolitaines de plus de 50 000 habitants pour lesquelles le découpage au niveau agrégé le plus fin, le bureau de vote, est disponible (voir liste en annexe). Trois élections successives sont étudiées : les présidentielles de 2007, les européennes de 2009 et les régionales de 2010. Prendre trois élections d'intensité variable (très faible abstention en 2007, très forte abstention pour les scrutins suivants) permet de contrôler la stabilité des résultats obtenus. Les indicateurs politiques retenus sont au nombre de

cinq : taux d'abstention, vote PS, vote Modem, vote UMP et enfin vote FN. Ces cinq indicateurs ne permettent évidemment pas une caractérisation exhaustive des espaces politiques urbains mais autorisent les comparaisons temporelles. L'objectif de l'étude est double : utiliser des indicateurs politiques pour caractériser les espaces urbains et, inversement, mobiliser les espaces urbains pour caractériser des courants politiques.

Les outils utilisés sont d'une part le croisement d'un indice d'autocorrélation spatiale globale (indice de Geary, voir Cliff et Ord, 1973) et d'un indice de ségrégation (indice de Duncan, voir Duncan et Duncan, 1955 ; Duncan et al., 1961) suivant la méthode proposée par Girault (Girault, 2000 ; Girault et Bussi, 2001) et d'autre part un indicateur d'autocorrélation spatiale locale, le Gi de Getis et Ord (Getis et Ord, 1992 ; Ord et Getis, 2001), permettant de repérer les hot spots (zone où le phénomène est intense et l'autocorrélation spatiale positive) et les cold spots (zone où le phénomène est faible et l'autocorrélation spatiale positive).

L'intérêt du « ségrographe » est de combiner un indicateur prenant en compte la dimension spatiale (Geary) et un indicateur prenant en compte l'intensité du phénomène. Girault a proposé quatre idéaux-types (voir Figure 1) mis en évidence par le croisement de ces deux indicateurs.

1. Les données 2012 (résultats et fonds de carte) sont en préparation.

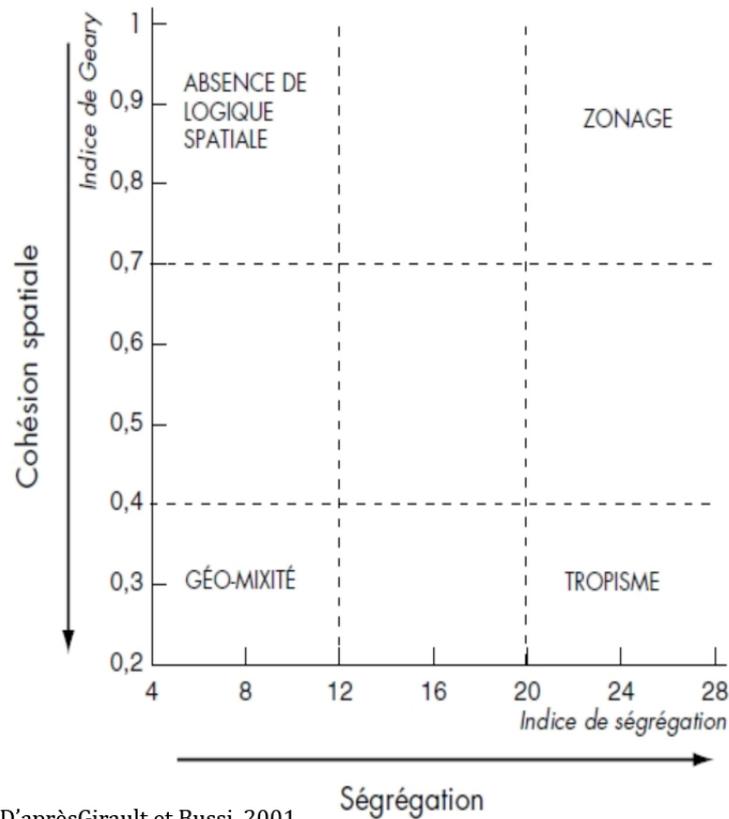


FIGURE 1 : Ségrographe et idéaux-types

Les hypothèses que nous cherchons à valider sont les suivantes :

- les communes urbaines centrales possèdent systématiquement une structure politique spatialement plus marquée que les communes urbaines périphériques (Geary plus faible et Duncan plus élevé ; proportion plus grande de bureaux de vote dans les hot et les cold spots). En effet, les communes urbaines centrales peuvent être marquées par d'importantes différenciations de richesse (immobilières et foncières notamment) entre quartiers, alors que les communes périphériques peuvent apparaître plus homogènes du point de vue de leur peuplement et/ou des opinions politiques majoritaires dans la commune ;
- plus la commune est peuplée, plus les phénomènes de ségrégation sont importants et plus les différenciations politico-spatiales sont fortes. Certains types de bureau de votes très spécifiques d'un point de vue socio-économique et politique n'apparaissent ainsi qu'à partir d'un certain rang urbain.

En ce qui concerne les comportements et courants politiques, nous cherchons à valider les deux hypothèses suivantes :

- plus le score d'un courant politique est important, plus l'autocorrélation spatiale est forte mais plus l'indice de ségrégation est bas. Réaliser un score important suppose en effet de posséder de bastions solides et de réaliser des scores substantiels dans tous les territoires ;
- les structures géographiques des partis de gouvernement demeurent stables quel que soit le contexte de mobilisation électorale.

L'objectif n'est donc pas uniquement descriptif : il s'agit au contraire de mettre en évidence des invariants politico-spatiaux dont la pertinence pourrait ensuite être testée pour d'autres scrutins et d'autres espaces. De façon plus périphérique, cela permet également de contrôler si la « très grande spatialité du vote d'extrême-droite » (Grésillon, 1999) est valable en milieu urbain à cette échelle d'analyse.

Les premiers résultats obtenus confirment

certaines des hypothèses formulées. Ainsi, quelle que soit l'élection retenue, l'autocorrélation spatiale est généralement plus forte pour les villes centrales que pour les villes périphériques (Figure 2). Le degré de différenciation, terme plus approprié sans doute que ségrégation pour une analyse électorale, mesuré par l'indice de Duncan est également systématiquement plus élevé pour les villes centres. Ceci reste valable quand

les dix plus grandes communes urbaines, qui comportent davantage de bureaux de vote, sont extraites de l'échantillon avant analyse. Ces différences s'effacent quand le score du courant politique est très faible (exemple du Modem en 2010). Dans ce dernier cas, aucune différence nette n'apparaît entre villes centrales et villes périphériques car aucune structure spatiale n'est lisible...

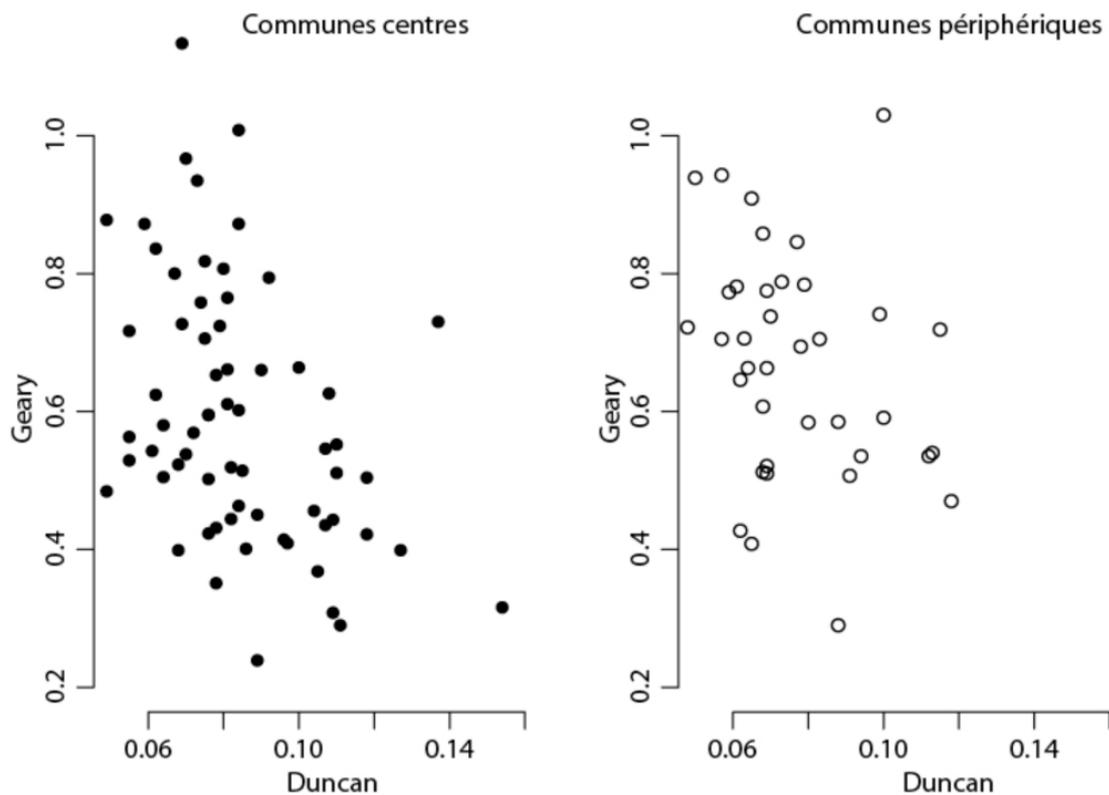


FIGURE 2 : Des structures politico-spatiales plus nettes dans les communes centres, l'exemple du vote pour Nicolas Sarkozy, 2007, premier tour

En ce qui concerne la caractérisation spatiale des comportements politiques, les résultats obtenus sont moins conformes aux hypothèses de départ. Pour les trois élections considérées, l'indice de Geary de l'UMP reste stable alors qu'il varie fortement pour tous les autres courants politiques. La relation attendue entre score important d'un courant et autocorrélation spatiale croissante s'inverse dans le cas de l'abstention : lorsqu'elle touche 50% ou plus des électeurs inscrits, sa structure spatiale perd en lisibilité. Quant au Front national,

ses indices (Geary et Duncan) ne présentent aucune originalité notable dans cet espace d'analyse.

La cartographie des *hot* et des *cold spots* de Getis et Ord permet de mettre en évidence deux grands types de structures politico-spatiales : des structures centre-périphérie très largement dominantes pour l'abstention ou le vote FN ; des gradients pour les scores de l'UMP ou du PS. Les deux cartes ci-dessous illustrent ces deux configurations dans le cas parisien.

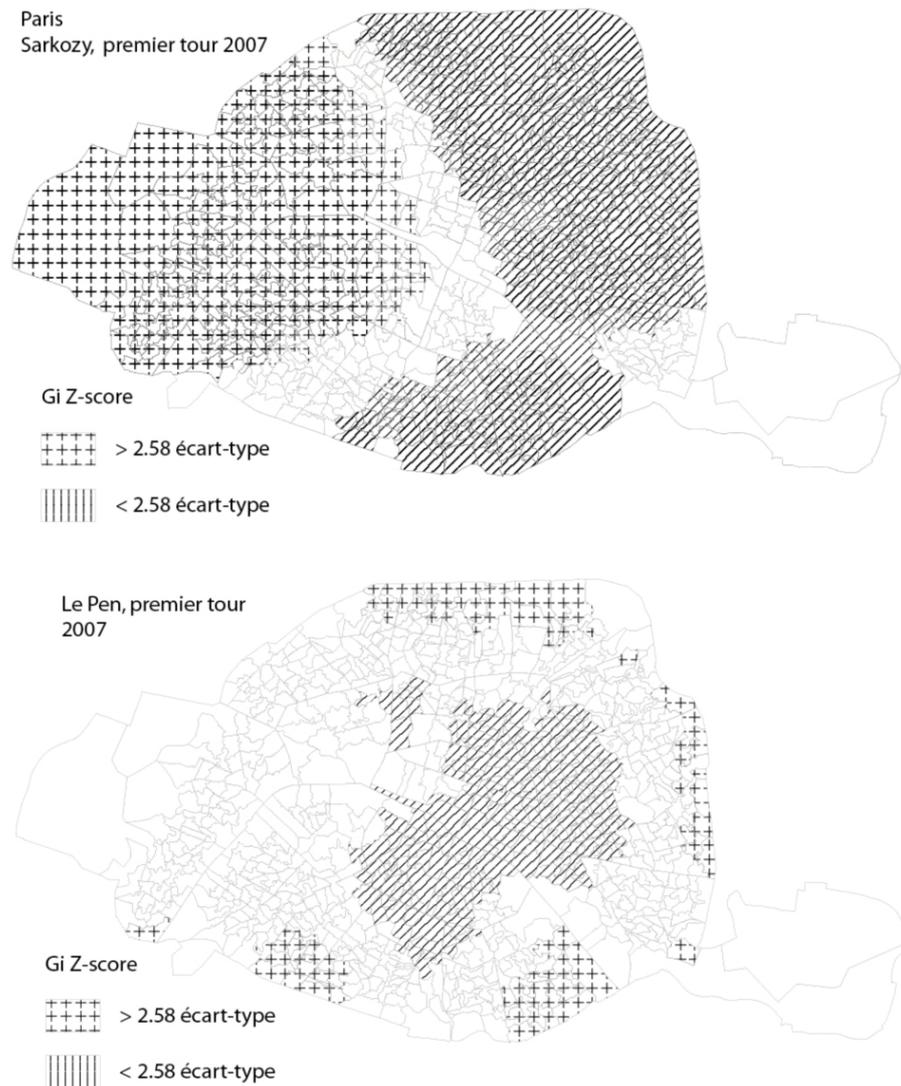


FIGURE 3 : Une structure centre-périphérie (Le Pen, 2007) vs une structure est-ouest (Sarkozy, 2007)

Ces premiers résultats montrent que la structure spatiale des opinions politiques dans les espaces urbains, loin d'être aléatoire, s'organise selon des configurations qui ne correspondent pas toujours aux modèles attendus. Il est ainsi plus courant de mettre en évidence des modèles urbains à des échelles « macro » (centre-ville à gauche, espaces périurbains à droite ou à l'extrême droite) qui écrasent souvent des différences fortes repérables à des échelles plus fines. Au delà de l'explication purement électorale, l'analyse précise des opinions politiques importantes ou majoritaires en fonction de la taille de la commune ou de sa position dans une agglomération, permet d'interroger les logiques municipales de

la gestion des villes en France. Le vote est en effet le résultat de variables lourdes de la gestion communale (habitat, impôts, politiques sociales et culturelles...), directe (opinion sur la politique locale) et indirecte (type de peuplement généré par les politiques locales).

Ces premiers résultats montrent également l'intérêt d'une démarche hypothético-déductive appliquée au champ de la géographie électorale qui, comme le soulignaient Johnston et ses co-auteurs il y a plus de vingt ans, souffre d'un abus de données et d'un manque de théories (Johnston et al., 1990, p.1). Plusieurs pistes complémentaires apparaissent dignes d'in-

térêt : croiser données politiques et données socio-démographiques, réaliser des régressions géographiquement pondérées et des analyses multi-niveaux (Gombin, 2009),

comparer ces premiers résultats avec des résultats concernant d'autres espaces ou d'autres scrutins.

Références

A.D. Cliff et K.J. Ord, 1973, *Spatial Autocorrelation*, Londres, Pion.

O.D. Duncan et B. Duncan, 1955, A Methodological Analysis of Segregation Indexes, *American Sociological Review*, 20(2), p. 210-217.

O.D. Duncan, R.P. Cuzzort et B. Duncan, 1961, *Statistical Geography : Problems in Analyzing Areal Data*, The Free Press, Glencoe.

A. Getis et K.J. Ord, 1992, "The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics", *Geographical Analysis*, 24(3), p.189-206.

F. Girault, 2000, *Le vote comme expression territoriale des citoyens. Contribution à l'étude des ségrégations urbaines*, Thèse de géographie, Université de Rouen.

F. Girault et M. Bussi, 2001, « Les organisations spatiales de la ségrégation urbaine : l'exemple des comportements électoraux », *L'Espace géographique*, 30(2), p. 152-164.

J. Gombin, 2009, « Analyse écologique, modèles multi-niveaux et sociologie électorale : l'exemple des votes pour le Front national », Communication au congrès de l'AFSP.

M. Grésillon, 1999, « La grande spatialité du vote d'extrême-droite », *Données urbaines*, p. 45-58.

R.J. Johnston, F.M. Shelley et P.J. Taylor (Eds), 1990, *Developments in Electoral Geography*, Londres et New York, Routledge.

K.J. Ord et A. Getis, 2001, "Testing for Local Spatial Autocorrelation in the Presence of Global Autocorrelation", *Journal of Regional Science*, 41(3), p. 411-432.

J. Rivière, 2012, « Vote et géographie des inégalités sociales : Paris et sa petite couronne », *Metropolitiques*.

L. Russo et L. Beauguitte, 2012, "Aggregation Level Matters : Evidence from French Electoral Data", *Cartelec working paper*, http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/71/79/82/PDF/russo_beauguitte_2012.pdf

Annexe

Liste des communes centres considérées : Aix en Provence, Ajaccio, Amiens, Angers, Amiens, Anancy, Arles, Avignon, Beauvais, Belfort, Besançon, Béziers, Bordeaux, Bourges, Brest, Caen, Calais, Cannes, Chambéry, Charleville Mézières, Clermont Ferrand, Colmar, Dijon, Dunkerque, Evreux, Fréjus, Grasse, Grenoble, Hyères, La Rochelle, La Roche sur Yon, Laval, Le Havre, Le Mans, Lille, Limoges, Lorient, Lyon, Marseille, Metz, Montauban, Montpellier, Mulhouse, Nancy, Nantes, Narbonne, Nice, Nîmes, Niort, Paris, Pau, Perpignan, Quimper, Reims, Rennes, Roubaix, Rouen, Saint Etienne, Saint Nazaire, Strasbourg, Toulon, Toulouse, Tourcoing, Tours, Troyes, Valence, Vannes.

Liste des communes périphériques : Antony, Argenteuil, Bondy, Boulogne Billancourt, Champigny sur Marne, Clamart, Clichy, Colombes, Courbevoie, Créteil, Drancy, Epinay sur Seine, Evry, Fontenay sous Bois, Issy les Moulinaux, Ivry sur Seine, Le Blanc Mesnil, Maisons Alfort, Mérégnac, Montreuil, Nanterre, Neuilly sur Seine, Noisy le Grand, Pessac, Rueil Malmaison, Saint Denis, Saint Maur des Fossés, Saint Quentin, Sarcelles, Sartrouville, Sevran, Vénissieux, Versailles, Villejuif, Villeneuve d'Ascq, Villeurbanne, Vitry sur Seine.

Les communes pour lesquelles le découpage en bureau de vote a changé entre 2007 et 2010 ont été exclues de l'analyse.

Entre nouveaux et anciens critères de ségrégation socio-spatiale dans les villes polonaises après 1989

Caroline Bouloc

Doctorante à l'Université Paris I (Panthéon-Sorbonne)

UMR Géographie-Cités

Département de Géographie urbaine

Académie des Sciences de Pologne, Varsovie ;

13 rue du Four, 75006 Paris

caroline.bouloc@gmail.com

Mots-clefs - Pologne, villes postsocialistes, ségrégation socio-spatiale, critères ségrégationnistes.

Depuis 1989, la Pologne a subi des transformations politico-économiques qui ont bouleversé l'espace interne des villes, aussi bien sur le plan fonctionnel que structurel (A. Zborowski, 2005). La mise en place d'une économie capitaliste, l'ouverture aux marchés extérieurs (européens et mondiaux), suivies de la privatisation progressive des biens immobiliers, ont renforcé les inégalités socio-économiques entre les habitants (G. Andrusz, M. Harloe, I. Szelenyi, 1996 ; K. Stanilov, 2007). La société polonaise s'en tient bouleversée, laissant apparaître une polarisation grandissante aux deux extrémités de la hiérarchie sociale (A. Domanski, 2004). Celle-ci se répercute directement dans l'espace, dont la construction immobilière et la mobilité résidentielle, ainsi que les changements de style de vie, en ont été les premiers indices (A. Zborowski, 2005). Ainsi, aujourd'hui, les villes polonaises font face aux mêmes problématiques que les métropoles d'Europe de l'Ouest quant au regroupement de certains groupes dans l'espace : notamment par le biais des résidences fermées pour les plus aisés, mais aussi par la présence d'enclaves de pauvreté cristallisant toutes les pathologies (G. Weclawowicz, 1999, 2007).

Face à cette situation, les critères de ségrégation socio-spatiale semblent n'être plus les mêmes que durant la période socia-

liste, créant un espace qui s'avère plus fragmenté socio-économiquement qu'auparavant. L'objectif de cette étude est alors d'essayer d'identifier les critères sociaux de concentration des habitants dans les espaces urbains polonais d'aujourd'hui, en cherchant à isoler ceux qui sont hérités de la période socialiste et ceux qui sont apparus plus récemment au rythme des changements socio-économiques de ces dernières années.

Dans cette démarche, nous étudions premièrement, les critères sur lesquels reposaient les concentrations des populations dans ces espaces durant la période socialiste, présentant ainsi les précédentes recherches qui ont été menées sur la question (entre autres : R. A. French, F.E.I. Hamilton, 1979 ; Jagielski, 1978 ; Szelenyi, 1983 ; G. W?c?awowicz, 1979, 1988, J. Dangschat, 1987). Toutes ces analyses démontrent que la concentration des populations, suivant un critère socio-économique spécifique, avait de façon générale moins d'importance que dans les pays d'Europe de l'Ouest à la même période. Cependant, les critères, qui justifiaient de la répartition spatiale de certaines catégories, étaient en définitive peu comparables, dès lors que la propriété privée n'existait plus et que chaque logement était attribué par les pouvoirs publics. Par ce biais, les inégalités

continuaient à exister, mais reposaient sur des fondements totalement différents (R. S. Fuchs, G. J. Demko, 1979; I. Szeleynyi, 1983). Finalement, il s'est avéré que les villes polonaises avaient tendance à se structurer, par ordre d'importance, selon le statut professionnel, l'âge (des résidents et du bâtis), la dimension démographique et migratoire et enfin selon les conditions d'habitation (G. Weclawowicz, 1981, 1988).

La seconde partie se concentre sur l'espace interne des trois plus grandes villes polonaises : Varsovie, Cracovie et Łódź. Cette analyse s'appuie sur le calcul d'indices de ségrégation (O. D. Duncan, B. Duncan, 1955a, 1955b) et de coefficients de corrélation de rang de Spearman¹ à l'échelle des îlots. Ces calculs s'effectuent sur la base des recensements de 1988 et de 2002, par rapport à différentes variables démographiques (sexe, âge), à des variables sociales liées à l'individu (situation socio-professionnelle, éducation), ainsi qu'à des variables sociales liées au logement (sanitaires, nombre de pièces par logements, m²/pers.). Par ailleurs, dans le but de cartographier ces concentrations, nous utilisons le quotient de localisation, qui permet également de comparer ces dernières suivant les différentes variables précédemment évoquées.

Ces critères, ainsi dégagés, croisés avec de précédentes analyses (C. Bouloc, 2011), permettent d'établir des profils de groupes sociaux de concentration dans ces espaces urbains polonais en mutation. Dès lors, les premiers résultats laissent entrevoir une situation quelque peu inattendue. Alors que d'une part, les prix du marché immobilier présentent de plus en plus de divergences au fil des années (d'une zone intra-urbaine à une autre), d'une façon générale les indices de ségrégation ont tendance à dimi-

nuer, présentant des espaces moins ségrégués en 2002, qu'en 1988 (C. Bouloc, 2011; S. Marcinczak, S. Musterd, M. Stepniak, 2011). Ces résultats sont symptomatiques de la lenteur de la mise en place des processus ségrégationnistes, mais s'expliquent également par le boom des mobilités résidentielles qui s'est opéré après 1989. Malgré cette constatation générale, chaque ville présente une structure différente. Varsovie, en tant que capitale est extrêmement dynamique dans son développement et propose les indices de ségrégation les moins importants aux deux dates étudiées. A Cracovie, l'héritage d'avant-guerre marque l'espace de façon extrêmement spécifique, alors que Łódź souffre de son passé industriel, et est ainsi la seule à présenter certains indices en augmentation en 2002, par rapport à 1988. Parallèlement, l'analyse des coefficients de corrélation font apparaître de fortes dépendances entre l'âge d'un logement ou la taille d'un logement avec l'âge des individus, le statut professionnel, ou le niveau d'éducation des résidents. Ainsi, par la lenteur du développement des nouveaux processus ségrégationnistes, critères qui ont perdu de leur sens socialement après 1989, perdurent dans l'espace sous l'effet d'*hystérésis* socio-spatial².

L'analyse des critères de ségrégation, dans un contexte de grands bouleversements, est extrêmement complexe. Même si cet exercice ne permet pas d'identifier toute l'ampleur des changements qui se sont opérés ces dernières années, notamment à cause de l'ancienneté du dernier recensement, il autorise toutefois d'entrevoir leurs directions. Par ailleurs, elle permet également de démontrer que l'approche seule des indices de ségrégation ne suffit pas pour distinguer des critères de concentration des populations. certains anciens

1. Les distributions ne suivent pas une loi normale (Test de normalité d'Anderson-Darling et test de normalité de Jarque-Bera).

2. A l'image de l'hystérésis de l'habitus développé par P. Bourdieu, 1979.

Références

- Andrusz G., Harloe M., Szelenyi I. (dir.), 1996, *Cities after Socialism, Urban and Regional Change and Conflict in Post-Socialist Societies*, Blackwell Publishers, Oxford, 340 p.
- Bouloc C., 2011, *Urban Elites in Polish intra-metropolitan space : the case of Warsaw, Krakow and Lodz, [w] : Kalogirou S. (Ed.), ecQTG 2011 – 17th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography – Proceedings, 2-5 September 2011*, Greek Society for Demographic Studies, Harokopio University, Geography department, ID 33, pp. 42 -51.
- Bourdieu P., 1979, *La distinction, critique sociale du jugement*, Ed. de Minuit, Paris.
- Dangschat J., 1987, "Sociospatial disparities in a « socialist » city : the case of Warsaw at the end of the 1970's", *International Journal of Urban and Regional Research*, 11(1), pp. 37-60.
- Domański H., 2004, *Struktura społeczna*, Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa.
- Duncan O. D., Duncan B., 1955a, "Residential Distribution and Occupational stratification", *American Journal of Sociology*, 60, pp. 493 – 503.
- Duncan O. D., Duncan B., 1955b, "A methodological analysis of segregation indexes", *American Sociological Review*, 20, pp. 210- 217.
- French R. A., Hamilton F.E. I., (dir.), 1979, *The Socialist City, Spatial structure and urban policy*, John Wiley & Sons, Chichester
- Fuchs R. J., Demko G. J., 1979, "Geographic Inequality under Socialism", *Annals of the Association of American Geographers*, 69 (2), pp. 304-318.
- Jagielski A., 1978, „Struktura społeczno-ekologiczna miast polskich a koncepcje szkoły chicagowskiej”, in : Turowski J. (dir.), *Procesy urbanizacyjne kraju w okresie XXXlecia Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej*, K N Socio. PAN, pp. 111 – 133.
- Marcinczak S., Musterd S., Stępnia M., 2011, "Where the grass is greener : social segregation in three major Polish cities at the beginning of the 21st century", *European Urban and Regional Studies*, 19(4), pp. 383-403.
- Stanilov K., 2007a, "Taking stock of post-socialist urban development : A recapitulation », [in :] K. Stanilov (dir.), *The Post-Socialist City, Urban Form and Space Transformations in Central Europe after Socialism, The Geojournal Library*, 92, Springer, the Netherlands.
- Szelenyi I., 1983, *Urban Inequalities under State Socialism*. Oxford University Press, Oxford.
- Weclawowicz G., 1981, "Towards a theory of intra-urban structures of Polish cities", *Geographia Polonica*, 44, pp. 179 – 200.
- Weclawowicz G., 1988, *Struktury społeczno-przestrzenne w miastach Polski*, Prace Habilitacyjne, IGiPZ PAN, Ossolineum, Wrocław, 264 p.
- Weclawowicz G., 1999, "Miasto polskie w transformacji – kształtowanie się miasta postsocjalistycznego”, [in :] J. Kaczmarek, *Zróznicowanie przestrzenne struktur społecznych w dużych miastach*, Konwersatorium Wiedzy o Mieście, XI, Katedra Geografii Miast i Turystyki Uniwersytetu Łódzkiego. Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź, pp. 33 – 43.
- Weclawowicz G., 2007, *Geografia społeczna miast*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa, 222 p.
- Zborowski A., 2005, *Przemiany struktury społeczno-przestrzennej region miejskiego w okresie realnego socjalizmu i transformacji ustrojowej (na przykładzie Krakowa)*, IGiG-PUJ, Kraków, 576 p.

Atelier 12

Risques naturels et vulnérabilité

L'étude de la vulnérabilité sociale face aux séismes, revisitée par le prisme des mobilités

BERTRAN ROJO Marc, LUTOFF Céline, BECK Elise, SCHOENEICH Philippe

PACTE/Territoires
Institut de Géographie Alpine
14 bis av. Marie Reynoard
38100 Grenoble, France marcbertranrojo@gmail.com

Mots-clefs - Vulnérabilité social, risque sismique, mobilité, exposition.

Notre travail vise à mieux comprendre la vulnérabilité sociale aux séismes dans le contexte européen et le rôle plus spécifique de la mobilité individuelle comme facteur de vulnérabilité sociale. Dans le cadre d'autres risques, comme par exemple les crues rapides, la mobilité des personnes constitue en effet un facteur de vulnérabilité important (Ruin 2007). Dans le cas des tremblements de terre, cette mobilité a-t-elle un rôle aussi déterminant ? Les travaux portant sur la vulnérabilité sociale face aux séismes ne sont pas récents sur le plan national ni international mais, la mobilité individuelle ou collective n'est pas envisagée comme un indicateur potentiel d'évaluation (Lutoff 2000 ; Berdica 2002 ; D'Ercole et Metzger 2004 ; Demoraes 2004 ; Combes-cure, Guéguen, et Lebrun 2005 ; Beck 2006 ; Léone et Vinet 2006 ; Guéguen 2007 ; Guéguen 2009 ; Demoraes 2009).

L'année 2011, a été marquée par le séisme au Japon du 11 mars et ses conséquences, en lien avec la pertinence du système nucléaire. Cette année aussi, un séisme de magnitude 8,6 a déclenché une alerte au tsunami sur l'ensemble de l'océan indien. Néanmoins les scientifiques en France s'accordent pour affirmer qu'un tel événement ne peut se produire sur notre territoire (Courboulex et al. 2011). En revanche, d'autres tremblements de terre ont interpellé la communauté scientifique, non pas par la magnitude des événements mais pour les dégâts provoqués. Ce sont entre autres, les séismes de Christchurch en Nouvelle-

Zélande le 22 février de 2011 de magnitude 6,3, la récente et longue série de séismes ce dernier mois de Mai de 2012 en Italie ou celui de Lorca en Espagne, qui avec une magnitude de 5,2 a causé un nombre considérable de dégâts. Ce dernier tremblement de Lorca fait objet de notre étude.

Ce séisme a provoqué 9 morts, fait plus de 250 blessés parmi lesquels plus de 30 à caractère grave et a fait s'écrouler un bâtiment. Près de dix mois après la secousse plus de 16% de la population n'a pas pu rentrer chez elle, les bâtiments étant soit en cours de démolition soit de réparation. Selon les experts, le problème vient du fait que ces séismes sont plus forts que ceux envisagés dans les modèles de prédiction, même pour une période de retour de 10 000 ans (Reyners 2011).

Cette présentation montre les premiers résultats d'une enquête menée auprès de la population, réalisée neuf mois après le séisme de Lorca. Cette enquête recopie des informations très précises de toutes les actions réalisées par 20 individus de la première secousse jusqu'à l'évacuation individuelle. Nous avons recueilli des informations sur les déplacements, les raisons des déplacements, ainsi que les itinéraires choisis. L'objectif, c'est de montrer comment notre échantillon a réagi, et quels ont été ses mouvements, ses activités et pour quelles raisons.

L'expose s'organisera de la manière suivante :

- Principales caractéristiques du séisme de Lorca et ses conséquences pour la ville et sa population.
- Méthodologie d'enquête relative à la mobilité individuelle en période de crise post-séisme (Une méthodologie inspirée de l'analyse de mobilité individuelle en période des crues rapides).
- Premiers résultats. La complexité des différentes phases de mise en protection individuelle et d'évacuation.

Dans ce premier travail nous identifions différentes manières d'agir à une première secousse, et ensuite à une deuxième plus des-

tructive et traumatisante. On observe que l'évacuation individuelle n'est pas l'aboutissement de l'enchaînement d'actions qui ont comme objectif de s'éloigner de la source de danger initiale, provoquant ainsi une diminution graduelle de l'exposition au danger, mais que cet enchaînement d'actions, provoque une exposition qui fluctue longtemps avant de disparaître. Finalement ce travail apporte de nouvelles pistes en ce qui concerne la géographie des risques (dans notre cas risque sismique) en utilisant le paradigme de la mobilité individuelle comme angle d'entrée.

Références

Beck, E. 2006. « Approche multi-risques en milieu urbain : Le cas des risques sismiques et technologiques dans l'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin) ».

Berdica, K. 2002. « An introduction to road vulnerability : what has been done, is done and should be done ». *Transport Policy* 9 (2) : 117–127.

Combescure, D., P. Guéguen, et B. Lebrun. 2005. « Vulnérabilité sismique du bâti existant : approche d'ensemble ». *Cahier technique AFPS* 25 : 121.

Courboulex, F., L. Honoré, A. Souriau, J. Salichon, et E. Bertrand. 2011. « Simulation de séismes majeurs en France à partir des données du réseau accélérométrique permanent ».

D'Ercole, R., et P. Metzger. 2004. « La vulnerabilidad del distrito metropolitano de Quito ».

Demoraes, F. 2004. « Mobilité, enjeux et risques dans le District Métropolitain de Quito (Equateur) ».

Demoraes, F. 2009. « De l'intérêt d'une étude sur la vulnérabilité des réseaux routiers et de transport pour la compréhension des vulnérabilités territoriales—Le cas

du District Métropolitain de Quito (Équateur) ». *Cybergeo : European Journal of Geography*.

Guéguen, P. 2007. *Evaluation de la Vulnérabilité Sismique à l'échelle d'une ville de Rhône-ALPES—Application à Grenoble*. Grenoble : Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique-Université Joseph Fourier. Demoraes, F. 2009. « Sismologie Urbaine : Aléa local, dynamique des structures, interaction site-ville et vulnérabilité urbaine. »

Léone, F., et F. Vinet. 2006. « La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles ». *Analyses géographiques. Géorisques* 1.

Lutoff, C. 2000. « Le système urbain niçois face à un séisme—Analyse des enjeux et des dysfonctionnements potentiels ». thèse de doctorat en géographie, Université de Savoie.

Reyners, M. 2011. « Lessons from the Destructive Mw 6.3 Christchurch, New Zealand, Earthquake ». *Seismological Research Letters* 82 (3) : 371.

Ruin, I. 2007. « Conduite à contre-courant. Les pratiques de mobilité dans le Gard : facteur de vulnérabilité aux crues rapides ».

Toward a space-time scale framework for the study of activity-travel patterns' adaptation to hazardous hydro-meteorological conditions : The case of the June 15th, 2010 flash flood event in Draguignan (France)

Isabelle Ruin¹, Céline Lutoff², Jean-Dominique Creutin¹, Jelmer Jeurig¹, Brice Boudevillain¹

¹ CNRS/UJF-Grenoble I/IRD, LTHE UMR 5564

² UMR PACTE/UJF-Grenoble I

Key words - activity-travel patterns, space-time scale, coping behavior, post-event investigation, flash flood

Context and objectives

Western Mediterranean regions are favorable locations for heavy precipitating events. In recent years, many of them resulted in destructive flash floods with extended damage and loss of life : Nîmes 1988, Vaison-la-Romaine 1992, Aude 1999 and Gard 2002 and 2005 (Delrieu et al. 2005 ; Gaume et al. 2004).

Because of the suddenness in the rise of water levels and the limited forecasting predictability, flash floods often surprise people in the midst of their daily activity and force them to react in a very limited amount of time. In such fast evolving events impacts depend not just on such compositional variables as the magnitude of the flood event and the vulnerability of those affected, but also on such contextual factors as its location and timing (night, rush hours, working hours...). Those contextual factors can alter the scale and social distribution of impacts and vulnerability to them. In the case of flooding fatalities, for instance, the elderly are often said to be the most vulnerable (Parker et al. 2009), but when fatalities are mapped against basin size and response time, it has been shown that in fact it is young adults who are most likely to be killed in flash flooding of small catchments, whereas the elderly are the most frequent victim of large scale fluvial flooding (Ruin et al., 2008).

Further investigations in the Gard region have shown that such tendency could be explained by a difference of attitude across ages with respect to mobility related to daily life routine and constraints (Ruin, 2010). According to a survey of intentional behavior professionals appear to be less prone to adapting their daily activities and mobility to rapidly changing environmental conditions than non-professionals. Nevertheless, even if this appears as a tendency in both the analysis of limited data on death circumstances and intended behavior surveys, behavioral verification is very much needed.

Understanding how many and why people decide to travel in hazardous weather conditions and how they adapt (or not) their activities and schedule in response to environmental perturbations requires an integrated approach, sensitive to the spatial and temporal dynamics of geophysical hazards and responses to them (Drobot and Parker, 2007 ; Morss et al., 2011). Such integrated approach of the Coupled Human and Natural System (CHANS) (Liu et al., 2007 ; Holling, 2001 ; Gunderson et al., 2002) have been more common in the environmental change arena than in risk studies. Nevertheless, examining interactions between routine activity-travel patterns and hydro-meteorological dynamics in the context of flash flood event resulted in developing a space-time scale approach

that brought new insights to vulnerability and risk studies (Ruin et al., 2008 ; Creutin et al., 2009 ; Creutin et al., 2012).

This scaling approach requires suitable data sets including information about the meteorological and local flooding dynamics, the perception of environmental cues, the changes in individuals' activity-travel patterns and the social interactions at the place and time where the actions were performed. Even if these types of data are commonly collected in various disciplinary research contexts, they are seldom collected all together and in the context of post-disaster studies.

This paper describes the methodological developments of our approach and applies our data collection method to the case of the June 15th, 2010 flash flood events in the Draguignan area (Var, France). This flash flood event offers a typical example to study the relation between the flood dynamics and the social response in the context of a sudden degradation of the environment.

During this event, daily accumulated rainfall reached 200 and 300 mm over, respectively, 2000 and 250 km² and led to important flash flooding (Rouzeau et al. 2010). The rainfall event of June 15th, 2010 was particularly intense. The maximum rain amount recorded at the Météo-France station of "Les Arcs-sur-Argens" reached 400 mm in 24 hours (including 330 mm in less than 10 hours). These values correspond to a return period of more than 100-years (Martin 2010). This event was responsible for the death of 27 persons and damages were evaluated at 1 billion euros. 2450 persons were rescued, including 1350 who were airlifted and 300 who escaped very perilous situations (Rouzeau et al. 2010). Three municipalities experienced most of the fatal accidents : Draguignan (10), Trans en Provence (5) and Roquebrune (5). Even with such heavy death toll, the consequences could have been even more dramatic considering the violence of the floods, the lack of flood alerts and the significant damage in the vicinity of Draguignan. Actually, the timing of the flood corresponds to rush

hours for most of the municipalities. In the small village of Figanières for instance, the residents felt lucky that the peak flow in the main street happened 15 minutes after schools dismissed their students for the day.

Method and data

Complementary to existing post-flood field investigation methodology used by hydro-meteorologists (Gaume et al., 2008 ; Borga et al. ; 2008), an interview framework was developed to collect timing and spatial information related to the evolution of the environmental conditions and the individuals' location and pace of activities. Its objective was to document how individuals switch from routine activities to emergency coping behaviors. It is structured around a chronological guideline with which interviewees were invited to recall what they perceived from their environment, what actions they took and who they interacted with at the various places they stayed and while moving in-between places.

The interviews were conducted using a "snow-ball" (non-probability) sampling strategy in order to capture the effect of social networks in triggering emergency reactions. During the June 2010 storm event, the flood extended downstream the Argens river (2700 km²). As our objectives were to test the influence of flooding dynamics on human behaviors and also to understand how anticipation time and/or adaptation strategies could be developed even in fast reacting catchments, we decided to narrow the range of watershed areas and picked strongly impacted locations within relatively small catchments where the rivers responses range from less than an hour to a few hours. We concentrated our data collection efforts on three close-by municipalities : Figanières (2572 inhabitants), Trans-en-Provence (5513 inhab.) and Draguignan (37649 inhab.). Catchments' sizes in the different locations surveyed ranged from 4 km² to 196 km².

The data collected vary in nature. The first basic information consists of the location

(geographic coordinates) and time data necessary to relate each performed activity with the very specific environmental circumstances in which they took place. The second dataset is a product of the coding of narratives related to the type of place, activity, social interaction and perceived environmental circumstances contextualizing each person's reaction. The narratives were coded to reflect the various type of situations reported.

For instance, the variable called "place" was coded to show the type of social places where people were located such as the workplace, a dwelling or a public building. From all the answers received we distinguished 8 categories (Table 1). Our hypothesis is that the type of place where people are situated might influence individual's response to warnings as it has been argued in previous research that coming back home and gathering the family there is one of the first drivers of behaviors during a crisis (Drabek, 1986 and 2000; Mileti, 1995). The variable called "activity" codes the type of behaviors. Four main categories were selected with the objective of capturing the transition from routine activities that are qualified as "usual" and crisis activities including three gradual states that are qualified as "information", "organization" and "protection". Three more categories were added : 1) "recovery" was attributed to post-emergency action, 2) "in danger" was used to indicate that the individual's situation was life threatening, 3) "travel" was used to emphasize periods when respondents were moving between stations or were in transit. Under the categories of information, protection and travel, sub-categories were created to precisely identify the various goals of such activities. Two more variables coding for the type of environmental cues and social interactions were also added.

Main results

Eventually, 5 types of chronicles were produced for the day of June 15th, 2010 and for each of our respondents respectively coding for : 1) the geographic coordinates of

the locations where they stayed, 2) the type of place, 3) the type of activity performed, 4) the type of environmental cues they perceived and 5) the number of people they interacted with. This representation mode, inspired from transportation studies, allows to visually exploring relationships between the sequences of actions and places and the rhythms and pace of changes for each individual and among individuals (Chardonnel, et al., 2010).

Individual's chronicles are then compared to the spatio-temporal distribution of the rainfall and its local hydrological consequences. In that purpose we use a simplified vision of flood dynamics through temporal and spatial scales to enhance understanding of potential and limits of human responses to flash floods. This space-time scale framework of analysis allows to quantifying the balance in time between a human action and the hydrological response of the specific catchments where it takes place (Creutin et al., 2012). This measure of the "timeliness" can be assessed for every type of activity and across the range of spatial scales (catchment size). It allows comparing individuals' reactions among each other no matter where they take place but taking into account the local hydrological dynamics that they are submitted to.

During the storm of June 15th, 2010 the rapidity of the river rise and the lack of anticipation of authorities and official rescue services compelled many individuals and communities to organize themselves to cope locally with the event. Nevertheless, individuals and improvised groups managed to Inform, Organize and Protect (IOP) themselves on their own, without any official involvement. Our results show that space-time sequences of actions, classified in five categories (usual / information / organization / protection / recovery) based on respondents' narratives, mostly follow the pace of change of environmental conditions.

During this event, the official Météo France orange vigilance for the Var area played a limited role in influencing preparedness ac-

tivities prior to the flash flooding. Therefore, most of the people avoided dangerous situations based on their own perception of environmental cues or thanks to unofficial warnings and emerging solidarity that took place locally and spontaneously. Dangerous situations or delays in protective reactions still occurred for about ten of our respondents. Most of them were surprised while still working at their jobs, or delayed their own protection by prioritizing their liveli-

hood's protection. Often times the presence or advice of a detached party helped them realize the dangerousness of the situation and prompted emergency response. Dangerous situations and lack of anticipation happened both in Figanières's very small catchment leaving only minutes for reaction and in the larger catchments of the Nartuby river that reacted relatively slower but still rapidly enough to qualify as flash flood.

References

- Borga, M., E. Gaume, J.-D. Creutin, and L. Marchi, 2008 : Surveying flash flood : gauging the ungauged extremes. *Hydrological processes*, 22 (18), 3883–3885.
- Chardonnel, S., Charleux, L., Thibault, P., 2010 : Mobilité et emplois du temps quotidiens : analyser les routines par la mesure des concordances d'actogrammes, in Mobilités urbaines et risques des transports, Ed. Banos A., Thévenin T., *Information Géographique et Aménagement du Territoire*, Hermès.
- Creutin, J.-D., M. Borga, E. Grunfest, C. Lutoff, D. Zoccatelli, and I. Ruin, accepted nov. 2012 : Flood anticipation at small scales – a space and time framework for coupling human and natural response analyses. *Journal of Hydrology*.
- Creutin, J.-D., M. Borga, C. Lutoff, A. Scolobig, I. Ruin, and L. Creton-Cazanave, 2009 : Catchment dynamics and social response during flash floods : The potential of radar rainfall monitoring for warning procedures. *Meteorological Applications*, 16, 115–125.
- Delrieu, G., et al., 2005 : The catastrophic flash-flood event of 8-9 september 2002 in the Gard region, France : a first case study for the Cévennes-vivarais méditerranéan hydro-meteorological observatory. *Journal of Hydrometeorology*, 6, 34–52.
- Drabek, T., 1986 : Human System Responses to Disaster : An Inventory of Sociological Findings. Springer-Verlag, New York.
- Drabek, T., 2000 : The social factors that constrain human responses to flood warnings. Floods, D. Paker, Ed., Routledge, London, Vol. 1, 361–376.
- Drobot, S., and Parker, D. J., 2007 : Advances and challenges in flash flood warnings. *Environmental Hazards*, 7(3), 173–178. doi : 10.1016/j.envhaz.2007.09.001
- Gaume, E. and C. Bouvier, 2004 : Analyse hydro-pluviométrique des crues du Gard et du Vidourle des 8 et 9 septembre 2002. *La Houille Blanche*, 6, 99–106.
- Gaume, E. and M. Borga, 2008 : Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods : proposal of a methodology and illustrations. *Journal of Flood Risk Management*, 1, 175–189.
- Gunderson, L. H. and C. S. Holling, (Eds.), 2002 : Panarchy : Understanding transformations in human and natural systems. Island Press, Washington, DC.
- Holling, C., 2001 : Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4, 390–405.
- Liu, J., et al., 2007 : Coupled human and natural systems. *Ambio*, 36 (8), 639–649.
- Martin, C., 2010 : Les inondations du 15 juin 2010 dans le centre Var : réflexion sur un épisode exceptionnel. *Études de Géographie Physique*, XXXVII, 41–76.
- Mileti, D., 1995 : Factors related to flood warning response. U.S.-Italy Research

Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods, Perugia, 17.

Morss, R.E., Wilhelmi, O.V., Meehl, G.A., Dilling, L., 2011 : Improving societal outcomes of extreme weather in a changing climate : An integrated perspective. *Annu. Rev. Environ. Resourc.* 36 : 1-25.

Parker, D.J., Priest, S.J., Tapsell, S.M., 2009 : Understanding and enhancing the public's behavioural response to flood warning information. *Meteorological Applications* 16 : 103-16.

Rouzeau, M., X. Martin, and J.-C. Pauc,

2010 : Retour d'expérience des inondations survenues dans le département du Var les 15 et 16 juin 2010. Rapport, Inspection générale de l'Administration.

Ruin, I., J.-D. Creutin, S. Anquetin, and C. Lutoff, 2008 : Human exposure to flash floods - Relation between flood parameters and human vulnerability during a storm of September 2002 in Southern France. *Journal of Hydrology*, 361, 199–213.

Ruin, I., 2010 : Conduite à contre-courant et crues rapides, le conflit du quotidien et de l'exceptionnel. *Annales de Géographie*, 674, 419-432.

L'apport des SIG pour l'évaluation et la spatialisation des contraintes en milieu montagnard pour une gestion intégrée des risques majeur cas de la ville d'Arris

Merdassi Abdelmoumene

Mots-clefs - Ville d'Arris ; méthodologie ; télédétection ; SIG ; Aménagement.

Résumé

L'homme est aujourd'hui confronté à des problèmes globaux liés à l'anthropisation rapide des milieux naturels. Ainsi, les constructions, les aménagements multiples, l'exploitation des sols ou encore le contrôle des eaux courantes, modifient fortement l'environnement naturel qui devient alors siège de déséquilibres profonds. Fortement investis, ces espaces, où se conjuguent des aléas naturels forts et des enjeux considérables, deviennent des territoires à risques. Les gestionnaires se retrouvent alors confrontés au dilemme de l'aménagement des espaces à fortes contraintes, où la coexistence de contraintes de nature radicalement différentes est source de risques aggravés.

Dans ce travail, nous proposons une méthodologie cartographique pour les zones vulnérables à l'érosion hydrique qui constituent la source des matériaux solides ar-

rachés et transportés par l'eau, en se basant sur des données de terrain, des données de télédétection et des données topographiques.

Cette méthodologie développée dans ce travail utilise des règles qualitatives, des évaluations et une hiérarchisation des paramètres intervenant dans l'érosion hydrique : occupation des terres, lithologie et degré de pente les pluies. L'ensemble de ces données est intégré dans un SIG pour une meilleure gestion de l'information. La combinaison de ces cartes, suivant la règle de décision, a permis de produire une carte thématique appelée carte du potentiel d'érosion. Celle-ci comprend quatre classes : faible, moyen, forte, et très forte. Les zones à vulnérabilité faible ou moyen à l'érosion se trouvent dans la plaine où le degré de pente est faible ($< 5^\circ$). En revanche, sur le piémont et dans la haute montagne, les terrains à pente forte ($> 15^\circ$), dont le couvert végétal est absent, sont les plus exposés à l'érosion hydrique.

Atelier 13

Modélisation et cartographie des mobilités

Cartographie animée de séries temporelles et transformation de Fourier : l'exemple des dynamiques du Vélib'

Daniel Leviselli

Mots-clefs - Cartographie animée, Vélib', Fourier, interpolation, lissage, dérivation.

Il est courant de mobiliser la cartographie animée pour faciliter l'appréhension de structures spatio-temporelles. Mais l'animation, associée à la vidéo, a ses contraintes propres qui, si elles ne sont pas correctement maîtrisées, risquent de compliquer plutôt que de simplifier la lisibilité de ces structures.

D'abord, la visualisation doit être suffisamment confortable pour ne pas perturber la lecture (fluidité des enchaînements). Ensuite, les événements considérés comme importants, l'information, doivent rester présent à l'écran un minimum de temps pour impressionner la rétine de l'observateur tandis que ceux considérés comme non pertinents, le bruit, doivent être réduits. Plusieurs niveaux de résolutions peuvent être nécessaires pour distinguer informations et bruits. Enfin, il peut arriver que les dynamiques qui font le charme de la cartographie animée soient écrasées par le poids des stocks. Il devient alors plus intéressant de s'intéresser aux variations des mesures plutôt qu'aux mesures en tant que telles.

Ces différentes contraintes peuvent se regrouper en trois problématiques : interpolation, lissage et dérivation. De multiples méthodes sont disponibles pour répondre isolément à chacun de ces problèmes. Nous montrons ici, en nous appuyant sur l'exemple des stations Vélib', qu'une fois les séries temporelles initiales transposées dans le domaine fréquentiel par transformation de Fourier, ces trois questions prises isolément ou combinées peuvent être directement et simplement résolues.

Pendant une année, nous avons enregistré toutes les 20 minutes, le nombre de vélos présent dans chaque station Vélib'. Les

jours de semaines ont été sélectionnés (du lundi 12h au vendredi 11h40) et le jour de semaine moyen calculé. Chaque station se retrouve ainsi caractérisée par une série temporelle de 72 mesures (jour de semaine moyen découpé en tranche de 20 minutes).

La première tentative est de simplement cartographier le nombre de vélos présent dans chaque station et d'animer cette cartographie en fonction du temps pour répondre à la question telle que la formule Maurice Svay : « Où sont les Vélib's? ».

Mais les problèmes d'interpolations, de lissage et de dérivations apparaissent rapidement.

Le nombre de cartes (d'images) disponibles dépend de l'échantillonnage de la mesure (toutes les 20 minutes ici) et ne correspond pas nécessairement à la fréquence optimale pour la visualisation. On peut souhaiter s'affranchir de cette cadence imposée soit pour ajouter des cartes intermédiaires si les événements évoluent trop rapidement, soit pour réduire le nombre de cartes si la résolution temporelle est trop fine et alourdit inutilement la construction de la carte animée. Maîtriser l'interpolation devient alors nécessaire.

Travailler sur les valeurs moyennes permet de réduire le bruit mais les évolutions entre deux cartes successives continuent d'apparaître comme trop brutales pour garantir une visualisation confortable. Un lissage est également nécessaire. Un lissage modéré se contentera d'adoucir les transitions en conservant un maximum d'informations tandis qu'un lissage plus fort mettra en exergue les structures générales en éliminant les détails.

A partir des statistiques officielles du système, nous pouvons estimer qu'en moyenne un Vélib' est utilisé moins de trois heures par jour. Sur une journée, un vélo est ainsi bien plus souvent accroché à une station qu'en mouvement. Le poids du stock devient alors embarrassant pour appréhender les dynamiques du système rendant préférable de s'intéresser aux variations, c'est à dire non plus au nombre de vélos présents mais à sa dérivé.

Ces différents ajustements sont directement réalisés dans le domaine fréquentiel. Les séries temporelles initiales de 72 mesures sont développées par transformation de Fourier en une somme de 36 fonctions sinusoïdales caractérisées chacune par sa fréquence, son amplitude et sa phase. Les fréquences sont implicitement définies par la durée de la séquence (24h). La fréquence la plus faible est de 1 pulsation par jour, la suivante de 2 et ainsi de suite jusqu'à 36. Pour chaque fréquence, nous obtenons deux mesures (l'amplitude et la phase) quant il n'y a qu'une pour chaque temps. La conservation de l'information divise ainsi par deux la résolution fréquentielle par rapport à la résolution temporelle.

Le graphique ci-dessous indique la série initiale de 72 mesures d'une station en bordure de Montreuil et son approximation par des séries de Fourier de 2 et de 9 fréquences. En conservant 9 fréquences, la courbe obtenue recouvre très bien les mesures initiales tout en adoucissant les transitions. En ne conservant que 2 fréquences, le lissage est bien plus fort et le comportement de la station se résume simplement à l'arrivée des vélos le matin et leur départ l'après-midi.

La série transformée reste discrète; le

nombre de paramètres définissant les fonctions est fini. Mais les fonctions ainsi obtenues sont continues et leurs valeurs en tout point sont directement calculables en tout instant. On obtient directement une interpolation sinusoïdale.

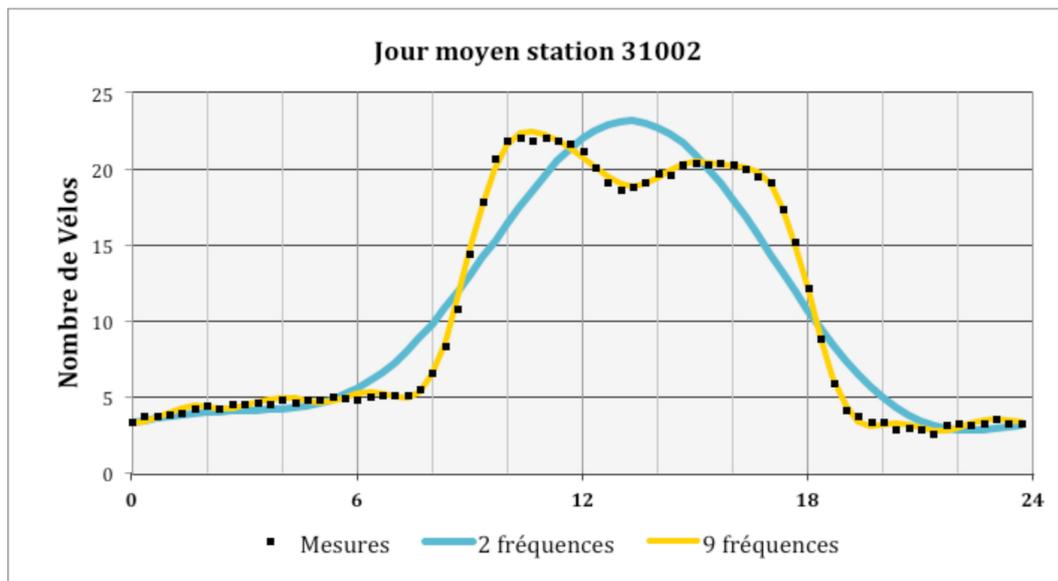
En ne conservant que les fréquences les plus faibles, celles qui souvent concentrent la majorité de l'information, on adoucit les variations. On obtient directement un lissage par filtrage fréquentiel passe-bas dont on peut ajuster la fréquence de coupure.

La dérivé d'une fonction sinusoïdale étant une autre fonction sinusoïdale de même fréquence, une somme de fonctions sinusoïdales est alors indéfiniment dérivable et sa n ème dérivé est continue et directement calculable en tout point. On obtient directement et en tout point la vitesse ou l'accélération instantanée du phénomène mesuré.

Pour appréhender les dynamiques spatio-temporelles du Vélib' en semaine nous proposons deux cartes animées calculées à partir de cette méthodologie (pièces jointes vidéos mov Vélib's dynamics A et B).

La vidéo A représente la dérivé première du remplissage des stations, recalé sur l'échantillonnage initial (une image toutes les 20 minutes). Un léger filtrage passe-bas est appliqué en ne conservant que 9 fréquences.

La vidéo B représente toujours la dérivé première mais après un lissage beaucoup plus fort (seul les sinusoïdales de période 24h et 12h sont conservées). L'information étant réduite et adoucie, il n'est plus nécessaire de disposer d'autant d'images. Les valeurs ne sont plus calculées que toutes les 45 minutes.



Références

Maurice Svay, 2012, "Où sont les Vélib's?"
<http://svay.com/blog/ou-sont-les-velibs/>

Fabien Girardin, 2008, « Revealing Paris Through Velib' Data »
<http://www.girardin.org/fabien/tracing/velib/>

Modélisation du trafic routier pour l'étude de la pollution atmosphérique de proximité : Représentation des flux de grâce aux données de comptages routiers

Justin EMERY¹, Nadège MARTINY², Thomas THEVENIN¹

¹Université de Bourgogne, UMR ThéMA, Dijon

²Université de Bourgogne, UMR Biogéosciences, CRC, Dijon

Mots-clefs - Pollution atmosphérique de proximité, Comptage routier, Modèle conceptuel des données, Modélisation des flux de transport routier

Contexte et objectifs de l'étude

La pollution atmosphérique se manifeste à plusieurs échelles en fonction de différents critères liés à la nature des polluants, aux conditions météorologiques et à l'intensité des sources d'émissions comme le trafic routier (Koffi, 2002; Elichegaray, 2010). La pollution de proximité à l'échelle urbaine est la combinaison d'une pollution de fond urbaine et d'une pollution directement induite par le trafic (Fenger, 1999; Oxley et al, 2009).

Cette étude s'intéresse à une échelle fine du territoire prenant en compte la pollution de proximité dans un principe de subsidiarité (Roussel, 2006) : tant du point de vue spatial (pollution régionale, urbaine et locale), que temporel (l'étude de différents pas-de-temps). Ces pas-de-temps peuvent être long en tenant compte des conditions saisonnières de NOx, ou plus court par la prise en considération de la variabilité de la circulation routière urbain sur une journée (Sportisse, 2008). Les émissions de NOx sont un bon indicateur de la pollution due à l'automobile (Keuken et al, 2010; CITEPA, 2011a). Ainsi, l'étude de la pollution de proximité induit de s'intéresser à la variabilité réelle du trafic routier d'une journée (Carslaw et al, 2007). Il s'agit ici de mieux comprendre les relations qui associent transport routier et pollution atmosphérique de proximité en utilisant des données recueillis in-situ sur l'espace de la ville de Dijon.

C'est pourquoi, il est important de se demander quelles sont les données disponibles en vue d'apporter une information sur la fréquentation routière au sein de l'agglomération Dijonnaise? Quels sont les outils et méthodes à mobiliser afin de représenter les dynamiques de circulation routière au sein de l'espace urbain?

Données et Méthodes

La première étape de ce travail vise à connaître et recueillir les données de fréquentation routière sur l'espace urbain dijonnais. La méthodologie se base sur l'utilisation d'un réseau de capteurs électromagnétiques placés sous chaussée permettant de mesurer le nombre de voitures. Ces données permettent d'obtenir une image de la fréquentation routière à l'échelle de la ville de Dijon. La ville dispose d'un réseau de 216 capteurs mesurant continuellement le trafic routier par quart-horaire pour la période 2001-2012, soit 385 440 comptages par station de mesures.

Toutefois, l'utilisation de ces données est limitée puisqu'elle apporte une observation partielle des conditions de trafic. En effet, ces conditions ne sont connues qu'au niveau des dispositifs de mesures et ne sont pas répartis uniformément le long d'une infrastructure routière. Ces données peuvent donc être caractérisées d'eulérienne du fait de mesures ponctuelles dans l'espace. De plus, ces données ayant pour objectif la gestion et la régulation des cycles de feux trico-

lores de l'agglomération, la fiabilité de certaines mesures peut être remise en cause. Les données ne sont pas continues pour la totalité des stations de mesures qui présentent des perturbations, modifications, ou suppressions au cours de la période recueillis.

Ceci amène différents questionnements en vue d'affecter et de distribuer ces données sur la totalité du réseau de l'agglomération Dijonnaise. En effet, seulement 5,3% du réseau de l'agglomération est mesuré continuellement par les stations. Dans un premier temps, il est important d'établir une méthode d'affectation des données ponctuelles (stations de mesures) sur des entités linéaires (infrastructure routière à considérer) via un Modèle Conceptuel des Données (MCD). Le MCD permet de mettre en relation la spatialité des données (entité géographique élémentaire) et l'aspect dynamique de celles-ci (temporalité des données) en vue d'une intégrité référentielle des données spatiales et temporelles. Dans un second temps, la méthode vise à généraliser les comptages routiers d'un point de mesure vers un autre. Enfin, la dernière étape consiste à distribuer le trafic routier sur toutes les infrastructures de transport non mesurées.

Principaux résultats

Les principaux résultats illustrent les étapes de la méthodologie mise en avant, a posteriori, structure du MCD et export cartographique sous la forme d'un poster. En outre, une attention particulière sera portée sur l'établissement de la chaîne logicielle afin de mettre à jour régulièrement la base de données et le SIG.

Les résultats permettent de comparer et confronter les différentes méthodes d'affectations du trafic à l'échelle urbaine (du macroéconomiques vers le microéconomiques). Néanmoins, afin de valider la distribution du trafic sur les tronçons non-mesurés, des comptages ponctuels (mis en place par la ville de Dijon) serviront à valider, ou non, les sorties cartographiques.

Les cartographies exposées permettent de pouvoir apprécier la dynamique du trafic routier sur les onze années recueillis : ils permettent de mettre en exergue les reports de trafic sur les autres axes routiers avant, et pendant, la mise en place du nouveau réseau de transport en commun de l'agglomération intervenu au cours de l'année 2012 (installation d'un tramway). Cette méthodologie permet, en outre, de mettre en évidence les flux de circulation routière qui interviennent sur le réseau capillaire ; et qui est difficilement mesurable par l'emprise spatiale du réseau de mesure.

Références

- Carslaw et al, 2007 : CARSLAW D. C., BEEVERS S. D., BELL M. C. « Risks of exceeding the hourly EU limit value for nitrogen dioxide resulting from increased road transport emissions of primary nitrogen dioxide ». *Atmospheric Environment* [En ligne]. mars 2007. Vol. 41, n°10, p. 2073– 2082. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.074> >
- CITEPA, 2011a : CENTRE INTERPROFESSIONNEL TECHNIQUE D'ETUDES DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE, avril 2011. « Rapport d'inventaire national SECTEN ».
- Elichegaray, 2010 : ELICHEGARAY C., BOUALLALA S., MAITRE A., BA M. « État et évolution de la pollution atmosphérique ». *Revue Française d'Allergologie* [En ligne]. juin 2010. Vol. 50, n°4, p. 381–393. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1016/j.reval.2009.08.003> >
- Fenger, 1999 : FENGER J. « Urban air quality ». *Atmospheric Environment* [En ligne]. décembre 1999. Vol. 33, n°29, p. 4877–4900. Disponible sur : < [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00290-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00290-3) >
- Koffi, 2002 : KOFFI B. *Que sait-on de la pollution photochimique urbaine ?* : La Documentation Française, 2002. 101 p. ISBN : 2110049693.
- Keuken et al, 2010 : KEUKEN M. P., JONKERS S., WILMINK I. R., WESSELING J. « Reduced NOx and PM10 emissions on urban motorways in The Netherlands by 80 km/h speed management ». *Science of The Total Environment* [En ligne]. 15 mai 2010. Vol. 408, n°12, p. 2517– 2526. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.008> >
- Oxley et al, 2009 : OXLEY T., VALIANTIS M., ELSHKAKI A., APSIMON H. M. « Background, Road and Urban Transport modeling of Air quality Limit values (The BRUTAL model) ». *Environmental Modelling & Software* [En ligne]. septembre 2009. Vol. 24, n°9, p. 1036–1050. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.02.011> >
- Roussel, 2006 : ROUSSEL I. « Climatologie géographique et pollution atmosphérique : Quelles synergies ? ». In : *Climat et société : l'apport des géographes-climatologues* [En ligne]. *Journées de la climatologie*. Nice, 2006. Disponible sur : < http://scholar.google.fr/scholar?q=related:PiahVLt2QhsJ:scholar.google.com/&hl=fr&as_sdt=0,5 >
- Sportisse, 2008 : SPORTISSE B. *Pollution atmosphérique : Des processus à la modélisation*. Springer-Verlag France. Paris, 2008. 345 p. (Ingénierie et développement durable). ISBN : 978-2-287-74961-2.

Les « villages » parisiens révélés à partir des traces de la téléphonie mobile

Julie Fen-Chong¹, Jean-Philippe Cointet¹

¹UMR 6049 ThéMA, Université de Franche-Comté
UMR 8504 Géographie-Cités, ISC-PIF

²INRA-SenS (INRA, France), IFRIS, ISC-PIF

Mots-clefs - réseaux spatiaux, mobilité, téléphonie mobile

Les notions de distance et de proximité spatiale sont des déterminants essentiels de la mobilité. Pourtant, ces relations de proximité sont difficiles à observer. En raison de la faible quantité d'information disponible, il est difficile de se pencher sur ces formes de mobilité. Aujourd'hui, la disponibilité de nouvelles sources de données géolocalisées permet d'envisager l'exploration de telles questions. En effet, de plus en plus de données sont produites par les individus et permettent d'avoir accès à une quantité d'information jusqu'alors inaccessible. Les informations issues de l'utilisation des téléphones portables permettent en effet d'investiguer de telles questions.

L'objectif de cette communication est de montrer comment des données collectées pour d'autres usages peuvent être utilisées pour révéler des structures d'organisation de l'espace et en particulier, de l'espace francilien. Les structures privilégiées ici sont les relations préférentielles existantes entre des lieux proches.

Pour mener à bien cet objectif, il a fallu d'une part réorganiser l'information fournie par les données de téléphonie mobile, une information collectée au niveau d'individus, pour produire un autre type d'information au niveau des stations du réseau de téléphonie mobile. A partir de cette reconstruction sous forme de réseau de déplacements, nous avons continué la transformation afin de produire dans un premier temps un réseau de déplacements préférentiels entre lieux proches et dans un second temps, un regroupement d'agrégats de ces

lieux ayant des relations préférentielles.

Un matériau inédit : des données issues de l'utilisation des téléphones portables

Les données issues de l'utilisation des téléphones portables sont des données relativement inédites en géographie et permettent d'appréhender la mobilité des individus. Elles nous fournissent une série de localisations des individus à différents moments de la journée. Néanmoins plusieurs remarques préalables doivent être considérées :

- ce ne sont pas les localisations des individus eux-mêmes, mais les localisations des stations du réseau de téléphonie mobile auxquelles le téléphone se connecte qui sont enregistrées,
- l'aire de couverture d'une station du réseau de téléphonie mobile est une aire variable, dont la variabilité correspond en Ile-de-France à un gradient centre-périphérie
- la cadence d'enregistrement des localisations dépend des pratiques des usagers : en effet, ce sont des « événements » (événements de communication, mais aussi événements liés à une mobilité au sein du réseau de téléphonie mobile ou à des nécessités de mise à jour du réseau) de téléphonie mobile qui suscitent un enregistrement de localisation.

Ainsi, pour chaque individu, nous disposons d'une série de triplets x,y,t (x et y étant les coordonnées des stations du réseau de téléphonie). Ces informations sont

lacunaires, elles ne permettent pas de reconstituer les trajectoires précises des individus, mais elles sont néanmoins inscrites dans l'espace et dans le temps.

Des traces individuelles à un réseau de déplacements

Afin de produire une connaissance sur l'organisation de l'espace urbain à partir de ces

traces individuelles, nous nous appuyons sur la topologie du réseau de stations de téléphonie mobile. Les séries de localisations ponctuelles des individus sont agrégées de manière à regrouper les déplacements entre stations afin de construire un graphe de flux de déplacements entre stations (Figure 1).

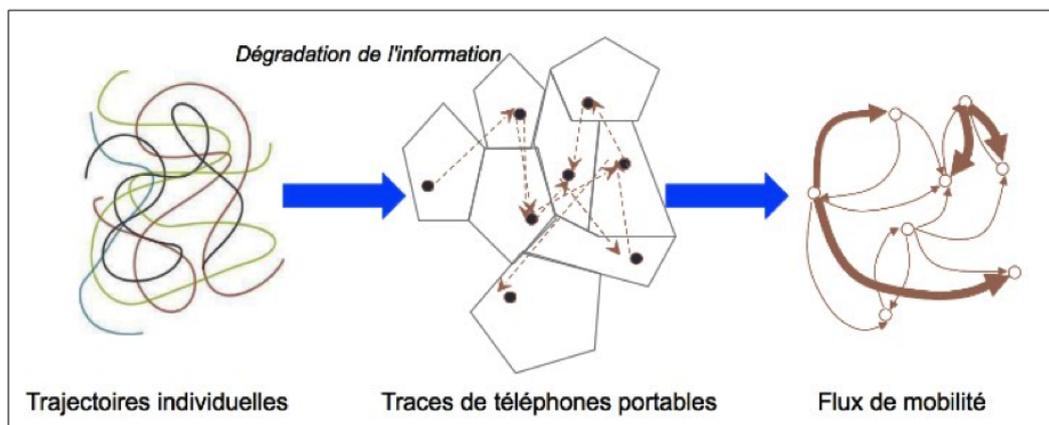


FIGURE 1 : Des traces individuelles au réseau de déplacements

A la suite de cette première opération d'agrégation spatio-temporelle, nous disposons de graphes de mobilité à différents moments de la journée. Chacun de ces graphes est constitué d'un réseau de stations de téléphonie mobile reliées entre elles par les déplacements des individus. Les liens existants entre ces stations sont valués en fonction du nombre de déplacements au sein de la tranche horaire considérée. Ce premier graphe de mobilité donne un aperçu de l'intensité des déplacements au sein de la région francilienne.

A partir de ce premier réseau valué, nous construisons un deuxième réseau afin de montrer les relations préférentielles entre stations proches.

Nous proposons un modèle nul permettant de rendre compte des flux entre antennes attendus si les déplacements individuels étaient parfaitement aléatoires. Néanmoins, la distribution des individus dans l'espace est naturellement hétérogène et il serait illusoire de modéliser cette hétérogénéité spatiale ab-nihilo, d'autant que ce

travail vise précisément à faire abstraction des effets (massifs) d'attraction de certains hubs géographiques pour nous concentrer sur la façon dont les déplacements individuels recomposent l'espace urbain. C'est pourquoi nous incorporons dans notre modèle nul les valeurs empiriques des flux agrégés (entrants et sortants) pour chacune des antennes afin de construire le réseau des flux préférentiels entre antennes contiguës.

La question qu'il nous reste à résoudre est donc la suivante : étant connus les flux globaux entrants et sortants des antennes, quel est le flux théorique que l'on devrait observer entre deux antennes dans l'hypothèse d'un déplacement parfaitement isotrope des individus ? Naturellement, deux antennes dont la frontière s'étend sur une grande distance auront, a priori, une propension plus forte d'échanger de nombreux individus. Nous faisons ici l'hypothèse d'une homogénéité de la densité de population au sein de chaque espace de couverture des antennes et proposons d'approcher le flux circulant d'une cellule i vers une cellule voisine

j comme le flux total sortant de i multiplié par la part qu'occupe la frontière séparant i et j sur toute la frontière délimitant i ¹. Nous avons modélisé les frontières à l'aide de polygones de Voronoï qui garantissent une certaine régularité topologique. Reste une difficulté liée à l'exigence que nous nous sommes fixés de respecter les flux agrégés entrant et sortant à l'échelle des cellules. Le flux que nous venons de calculer mesurant l'intensité des déplacements d'individus quittant la cellule i pour entrer dans la cellule j peuvent de façon symétrique être interprétés comme le flux des individus arrivant sur la cellule j et en provenance de i . Deux façons équivalentes d'exprimer le même flux, mais avec des conséquences différentes compte tenu de notre modèle dans sa version actuelle². Pour résoudre cette difficulté nous considérerons que le flux théorique attendu est borné par la plus petite valeur possible, soit en considérant le flux de i vers j soit vers j en provenance de i . Finalement, nous aboutissons à l'expression suivante qui mesure les relations préférentielles entre stations proches à partir du ratio entre le nombre de déplacements observés et le nombre de déplacements théorique $w(i \rightarrow j) = \frac{\theta(i \rightarrow j)}{\theta_{th}(i \rightarrow j)}$

Enfin, la dernière étape de notre méthodologie consiste à faire appel à un algorithme de clusterisation de graphe qui extrait des agrégats de stations entretenant un grand nombre d'échanges préférentiels. Nous avons utilisé l'algorithme Infomap qui se fonde sur l'analyse des trajectoires empruntées par une particule effectuant des marches aléatoires sur le réseau de flux préférentiel. Deux niveaux d'agrégation sont définis, correspondant à deux itérations de l'algorithme, et définissant des clusters géographiques à deux échelles différentes. Nous nous concentrons sur les clusters géographiques de plus grande échelle : les "villages". Ces "villages" peuvent être construits au sein de l'espace francilien pour différentes jours et

plages horaires. La question de leur variabilité de leur composition dans le temps et leur transformation même en fonction des rythmes diurne/nocturne, week-end/jours ouvrés est une question légitime qu'il nous faudra approfondir.

Résultats et discussion

Les résultats de cette étude sont de plusieurs ordres : d'une part, les représentations des déplacements entre stations du réseau de téléphonie mobile montrent l'importance structurante des infrastructures de transport au sein de l'organisation des mobilités (telles qu'elles nous apparaissent via la téléphonie mobile). La représentation des aires de couverture des stations ayant des relations privilégiées entre elles montre aussi une autre organisation de l'espace, celle d'un espace des relations préférentielles de proximité.

L'utilisation d'une telle source de données permet, en outre, d'explorer la possibilité d'utiliser des analogies avec d'autres disciplines et d'utiliser des méthodes peut-être sophistiquées au regard de certains, mais qui permettent de prendre en compte la spécificité des données, et la spécificité de l'information reconstruite à partir de ces données. En effet, le matériau de départ ne nous fournit que peu d'information sur les mobilités individuelles, sur les origines et les destinations de ces déplacements, deux caractéristiques essentielles pour l'étude des interactions spatiales. La grande quantité de données disponibles pose aussi une autre limite pour l'utilisation des méthodes habituelles et montre aussi l'importance de construire un protocole d'analyse propre à la source utilisée.

En cela, la démonstration est efficace : le passage de traces individuelles à un réseau de flux de déplacement permet d'envisager la mobilité dans sa capacité à mettre

1. Précisément, en notant, $f(i,j)$ la longueur de la frontière séparant les cellules i et j le flux total sortant de i (noté $\theta \rightarrow(i)$) doit être multiplié par $\frac{f(i,j)}{\sum_{k \in \text{voisins}(i)} f(i,k)}$

2. A priori, $\theta(i) \frac{f(i,j)}{\sum_{k \in \text{voisins}(i)} f(i,k)} \neq \theta \leftarrow (j) \frac{f(i,j)}{\sum_{k \in \text{voisins}(i)} f(i,k)}$

en relation des lieux franciliens. Des premières structurations du territoire se dessinent alors. Le calcul de flux préférentiels permettant de s'abstraire des caractéristiques du réseau de téléphonie mobile per-

met lui de s'interroger sur les liens préférentiels entre lieux proches et donc de montrer l'existence réelle de discontinuités spatiales au sein de l'espace francilien.

Références

AGUITON C., CARDON D., SMOREDA Z., 2009, "Living Maps : New data, new uses, new problems", in : *Engaging Data. First International Forum on the Application and Management of Personal Electronic Information*. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts.

BARTHÉLEMY M., 2011, "Spatial networks", *Physics Reports*, vol.499, no1-3, 1-101.

BERROIR S., MATHIAN H., SAINT-JULIEN T., SANDERS L., 2008, "La mobilité dans la construction du polycentrisme métropolitain", 31-57 in : Thériault M., Des Rosiers F. (eds), *Information géographique et dynamiques urbaines*. Traité IGAT, Lavoisier.

BLONDEL V., KRINGS G., THOMAS I. "Regions and borders of mobile telephony in Belgium and in the Brussels Metropolitan zone", *Brussels Studies*, no42, 2010.

BORGNAT P., ABRY P., FLANDRIN P., ROBARDET C., ROUQUIER J.-B., FLEURY E., 2011, "Shared bicycles in a city : a signal processing and data analysis perspective", *Advances in Complex Systems (ACS)*, vol.14, no03, 415-438.

CERTU, 2008, *Les recueils de données sur la mobilité urbaine*. Paris, CERTU.

KORSU E., MASSOT M.-H., ORFEUIL J. P., 2009, *Le concept de ville cohérente : réponse aux débats entre ville étalée et ville compacte*. PREDIT.

PUMAIN D., SAINT-JULIEN T., 2001, *Les interactions spatiales : flux et changements dans l'espace géographique*. Paris, Armand Colin, 191 p .

RATTI C., PULSELLI R. M., WILLIAMS S., FRENCHMAN D., 2006, "Mobile Landscapes : using location data from cell phones for urban analysis", *Environment and Planning B : Planning and Design*, vol.33, no5, 727-748.

ROSVALL M., BERGSTROM C. T., 2008, "Maps of random walks on complex networks reveal community structure", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.105, no4, 1118-1123.

DE RUNZ C., 2008, *Imperfection, temps et espace : modélisation, analyse et visualisation dans un SIG archéologique*. Reims, Université de Reims Champagne-Ardenne, 215 p .

SAINT-JULIEN T., LEGOIX R., 2007, *La métropole parisienne : centralités, inégalités, proximités*. Paris, Belin, 333 p .

SMOREDA Z., OLTEANU-RAIMOND A.-M., COURONNÉ T., 2013, "Spatiotemporal data from mobile phones for personal mobility assessment", in : Zmud J., Lee-Gosselin M., Munizaga M. A., Carrasco J. A. (eds), *Transport Survey Methods : Best Practice for Decision Making*. Emerald Group Publishing Ltd.

STOUFFER S. A., 1960, "Intervening opportunities and competing migrants", *Journal of Regional Science*, vol.2, no1, 1-26.

WILSON A. G., 1971, *Entropy in Urban and Regional Modelling*. Pion Ltd, 166 p .

Atelier 14

Imagerie et mesure en milieu montagnard

L'interférométrie radar différentielle (D-InSAR), une méthode de détection de mouvements de surface par l'imagerie satellitaire : application sur les glaciers rocheux des Alpes françaises

Thomas Echelard^{1,2}, Jean-Michel Krysiecki¹, Michel Gay², Philippe Schoeneich¹

¹PACTE/Territoires
Institut de Géographie Alpine
14 bis av. Marie Reynoard
38100 Grenoble, France.

²Grenoble Image Parole Signal et Automatique (GIPSA-Lab)
961 rue de la houille blanche
BP 46 – 38402 Saint Martin d'Hères, France.

thomas.echelard@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

Mots-clefs -Télé-détection, Radar, permafrost, glaciers rocheux

L'interférométrie radar (InSAR pour Interferometric Synthetic Aperture Radar) est une méthode de mesure de déplacement à partir d'images satellites radar. Cette technique génère des interférogrammes, représentation de déplacements en deux dimensions permettant de détecter et de quantifier (de l'ordre du centimètre) des mouvements entre deux instants donnés. Cette méthode peut être utilisée pour le suivi de mouvements survenus à la surface du globe tels que le fluage des glaciers rocheux, des glaciers ou encore des glissements de terrain, sous réserve de respecter certaines conditions lors du traitement des données et de l'analyse des interférogrammes (Strozzi et al., 2004; Delaloye et al., 2005). Cette étude porte sur la détection des mouvements de glaciers rocheux à travers l'ensemble des Alpes françaises. L'objectif est d'obtenir des données quantifiées et spatialisées sur les glaciers rocheux présentant des mouvements (glaciers rocheux dit « actifs ») afin, d'une part, de mieux appréhender leurs dynamiques encore mal connues et, d'autre part, de pouvoir donner aux décideurs des territoires concernés des données fiables de mouvements pour qu'ils puissent prendre en compte ces potentiels aléas naturels dans leur gestion du territoire. Afin de géné-

rer des interférogrammes, des images radar, datant de 1991 à 1999, ont été acquises via un projet déposé et accepté auprès de l'agence spatiale européenne (ESA). Toutes les données d'archive des satellites ERS ont été consultées afin de choisir les plus pertinentes d'entre elles, en fonction de multiples facteurs comme les saisons, les données météorologiques ou les caractéristiques orbitales. Au final, une quinzaine d'interférogrammes ont été générés. Pour analyser cette grande quantité de données (les images ERS couvrent une superficie de 10 000 km²), deux méthodes ont été employées :

- Une analyse empirique des interférogrammes dans un SIG à l'aide d'orthophotographies et de données topographiques. Deux géomorphologues ont séparément analysé les données dans le but de comparer et d'améliorer par la suite l'inventaire des mouvements détectés.
- Une comparaison entre les interférogrammes et les inventaires des glaciers rocheux existant dans les Alpes françaises (Monnier, 2006; Bodin, 2007; Echelard 2010).

La réalisation de ce travail a abouti, entre autres, à une carte des Alpes françaises représentant les glaciers rocheux détectés par interférométrie radar, classés par ordre

de grandeur de vitesses de déplacements afin d'évaluer la puissance potentielle de l'aléa. Cela a également permis de découvrir certaines formes présentant ?? des mouvements anormalement rapides et dont le suivi s'avèrera intéressant pour les recherches menées actuellement sur les glaciers rocheux alpins. Cette méthode de détection de mouvements pourrait permettre, à terme, le suivi régulier de formes topographiques en mouvement et présentant des risques de par leur localisation. Dans cette étude la méthode est appliquée aux glaciers rocheux mais elle semble également pertinente (en respectant certaines conditions) pour la détection et le suivi de glissements de terrain, de la subsidence de ter-

rain ou encore les phénomènes de retrait-gonflement des argiles. A la suite de cette étude (article en cours de rédaction), un second projet a été déposé et accepté auprès de l'agence spatiale allemande pour l'acquisition de données radar provenant du satellite TerraSAR-X (satellite radar le plus performant à l'heure actuelle) durant l'été 2012. Pour vérifier les données radar que nous obtiendrons, nous avons placé sur le terrain des GPS continus pendant tout le temps des acquisitions radar (début juillet à fin octobre). Ces données sont en cours de traitement à l'heure de l'écriture de ce résumé et les premiers résultats pourront très probablement être présentés durant les journées Théo Quant.

Références

Bodin, X. (2007). Géodynamique du pergélisol de montagne : fonctionnement, distribution et évolution récente. L'exemple du massif du Combeynot (Hautes Alpes). PRODIG. Paris 7, Université Paris-Diderot. PhD thesis : 274p.

Delaloye, R., Lambiel, C. & Lugon, R. (2005). Validation of InSAR data in permafrost zone, Bas-Valais. ESA SLAM project, phase 2, final report, Swiss Federal Office of Water and Geology (unpublished).

Echelard, T. 2010. Détection de mouvements par interférométrie radar dans les zones à permafrost : application aux glaciers rocheux du massif du Queyras ; prin-

cipes, méthodologie et premiers résultats. Grenoble, Joseph Fourier university. Master thesis : 114p.

Monnier, S. (2006). Les glaciers-rocheux, objets géographiques. Analyse spatiale multiscalaire et investigations environnementales. Application aux Alpes de Vanoise. Laboratoire de Géographie Physique. Paris, Université Paris XII. PhD : 330p.

Strozzi, T., Kääb, A. & Frauenfelder, R. (2004). Detecting and quantifying mountain permafrost creep from in situ inventory, space-borne radar interferometry and airborne digital photogrammetry. International Journal of Remote Sensing, 25(15) :2919-2931.

La cartographie des végétations d'un massif montagnard alpin, de l'image satellitale à la réalité écologique

Vincent Thierion¹ Marc Isenmann², Thomas Sanz², Vincent Breton¹, Sandra Luque¹

¹Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

Centre de Grenoble

2 rue de la Papeterie BP 76 38402 St-Martin-d'Hères cedex

²Conservatoire Botanique National Alpin

Antenne Rhône-Alpes

148 rue Pasteur 73000 Chambéry

Mots-clefs - Végétation alpine, Cartographie, Télédétection, Segmentation

Le CBNA (Conservatoire Botanique National Alpin) et IRSTEA Grenoble (Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture) produisent des cartes de végétation sur les massifs montagnards alpins depuis de nombreuses années suivant différentes méthodes, à différentes échelles et sur des bases référentielles différentes. L'objectif de cette recherche, développée dans le cadre du programme pluridisciplinaire CarHAB, commanditée par la Direction de l'Environnement et de la Biodiversité (DEB, rattachée au Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie), est de développer des synergies entre ces deux organismes et leurs approches respectives pour optimiser la production de cartes de végétation sur de vastes territoires de montagne. De prime à bord, ces deux approches semblent complémentaires :

- Le CBNA produit des cartes d'habitats naturels et semi-naturels (typologie phytocéologique) suivant une méthode traditionnelle qui comporte les deux étapes fondamentales suivantes :
 - une prénumérisation par photo-interprétation sur des images aériennes les plus récentes à des échelles allant du 1 : 2 500 au 1 : 5 000 pour réaliser une carte préliminaire des grands types de milieux (délimitation physiologique).
 - des campagnes de terrain qui

consistent à visiter le maximum d'objets pré-numérisés afin d'y réaliser des relevés phytosociologiques nécessaires à l'identification, l'inventaire et la caractérisation des habitats naturels et semi-naturels présents sur le site puis production cartographique sous SIG avec restitution allant du 1 : 5 000 au 1 : 25 000.

Cette méthode de cartographie s'appuie le plus souvent sur le cahier des charges pour l'inventaire et la cartographie des habitats et des espèces dans les sites Natura 2000.

- IRSTEA Grenoble produit des cartes d'habitats pastoraux au 1 : 25 000 basées sur une typologie agro-écologique (traits physiologiques dominants, caractéristiques écologiques et l'appartenance phytosociologique). En effet, en confrontant une cartographie physiologique des milieux subalpins et alpins obtenue grâce aux outils de la télédétection (classification supervisée orientée « objet ») et les caractéristiques écologiques (dérivés du MNT, rayonnement, substrat, etc.), il est ainsi possible d'obtenir une localisation probable des types agro-écologiques d'altitude sur de vastes étendues géographiques.

Dans le cadre de CARHAB, ces deux méthodes sont confrontées et mises en complémentarité en tenant en compte des

contraintes de l'échelle de restitution attendue (1 : 25 000 et/ou taille minimale d'un 1/2 ha), des difficultés du travail de cartographie en milieux montagnard mais aussi de la complexité à caractériser les végétations alpines et subalpines. Cette recherche se focalise sur le massif de Belledonne dans les Alpes du Nord (site pilote du programme CarHAB) et plus particulièrement sur le site Natura 2000 « Cembraie, pelouses, lacs et tourbières de Belledonne, de Chamrousse au Grand Colon » (FR8201733) qui dispose d'une cartographie des habitats réalisée en 2000 par le CBNA. Ce site a fait l'objet, durant l'été 2012, de travaux de télédétection et de re-

levés de terrain destinés à produire un fond blanc physiologique et écologique en préparation d'une nouvelle carte de végétation respectant le cahier des charges CarHAB.

Cette communication présentera respectivement la méthode de cartographie, dite classique, pour les zones Natura 2000 et la méthode de cartographie automatique de la végétation développée par télédétection. Ces deux exemples de cartographie seront ensuite comparés et critiqués, afin de s'interroger sur l'intérêt d'une approche automatisée de télédétection, en particulier de la phase de segmentation, pour la cartographie fine de la végétation d'altitude sur de vastes territoires de montagne.

Suivi des dynamiques glacio-nivologiques d'un bassin glaciaire arctique à partir d'un réseau de capteurs haute résolution

Exemple du glacier Austre Lovén – Spitsberg – 79°N

É. Bernard¹, F. Tolle¹, J.M. Friedt², G. Martin², Ch. Marlin³, M. Griselin¹

¹UMR ThéMA

CNRS/Université de Franche-Comté

Besançon, France

²UMR FEMTO-ST

CNRS/Université de Franche Comté

Besançon, France

³UMR IDES

CNRS/Université Paris-Sud

Orsay, France

eric.bernard@univ-fcomte.fr

florian.tolle@univ-fcomte.fr

Mots-clefs - Arctique, glacier, télédétection, hydrologie, géomatique, imagerie au sol

Les glaciers arctiques sont des indicateurs fiables et reconnus de changements climatiques. Dans ce contexte, les évolutions deviennent de plus en plus rapides et plus difficilement prévisibles. Aussi, les mesures et observations restent un challenge dans ces régions du monde : des événements très courts mais qui concernent des processus hydro-glaciologiques clefs peuvent ainsi être manqués.

Afin de surveiller les dynamiques glaciaires avec une précision accrue, les images satellite ne suffisent plus, tant pour des raisons de disponibilité des données que pour des questions de résolution spatio-temporelle. Des stations photo automatiques ont donc été installées autour du bassin glaciaire de l'Austre Lovén (Spitsberg, 79°N). Ces 6 appareils permettent une couverture de 96% du glacier, avec une haute résolution spatio-temporelle. Ce dispositif permet l'acquisition d'une importante banque d'images à partir desquelles il est possible de suivre les processus glacio-nivologiques pendant quasiment toute l'année (à l'exception de la nuit polaire). Cette information qualita-

tive nécessite d'être complétée par des données permettant de quantifier certains mécanismes tels que la fonte et les écoulements supra-glaciaires.

Pour ce faire, on applique aux images une correction géométrique en utilisant un réseau de points de contrôle au sol matérialisés par des drapeaux. Les images tangentielles correspondant aux différents angles de vue sont ainsi corrigées pour être projetées. Les 6 images d'une prise de vue sont ensuite assemblées en mosaïques. Il est alors possible de dériver de l'information quantitative de ces photos en vue zénithale, comme par exemple le suivi du couvert nivale. On détermine par cette méthode, de façon très précise, la fraction de glacier couverte de neige et celle où la glace est exposée. Le suivi de l'évolution temporelle de cette délimitation est également rendu possible. Ce paramètre est primordial dans la quantification des écoulements et en particulier le calcul de la lame de fonte potentielle, en déterminant parallèlement la part de neige et la part de glace.

Les lames de fonte potentielle sont calculées

en croisant les données issue de l'imagerie *in situ* avec des données de températures. Afin d'obtenir un état thermique du glacier, un réseau de capteurs de températures couvre de façon homogène l'Austre Lovén et permet d'enregistrer une valeur horaire. Ces données sont ensuite interpolées pour la surface du glacier afin d'en déterminer l'état thermique (valeur représentative et spatialisation).

Le croisement de l'état nivologique du glacier (discrimination neige ou glace) avec l'état thermique permet de calculer, en appliquant un modèle de fusion simple de type degrés-jours, les lames d'eau potentielles de fonte. Ces lames représentent le potentiel de fonte sur le glacier en déter-

minant la part de neige et celle de glace qui participe aux écoulements. Cet élément va pouvoir être ensuite mis en regard avec les mesures hydrologiques (de débits) effectuées aux exutoires du bassin, permettant de mieux connaître l'importance des différents termes de l'équation hydrologique.

Cette présentation a pour but d'expliquer plus spécifiquement la chaîne opératoire méthodologique permettant de corriger géométriquement les photos tangentielles afin de les croiser avec des données de températures interpolées à l'échelle du glacier dans le but d'effectuer un suivi hydrologique rigoureux du bassin de l'Austre Lovén.

Références

Braithwaite, R., 1984. Calculation of degree-days for glacier-climate research. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 20 (1984), 1–8.

Corripio, J., 2004. Snow surface albedo estimation using terrestrial photography. *International Journal of Remote Sensing* 25 (24), 5705–5729.

Dewalle, D., Rango, A., 2008. *Principles of Snow Hydrology*. Cambridge University Press.

Dowdeswell, J., Hagen, J., Björnsson, H., Glazovsky, A., Harrison, W., Holmlund, P., Jania, J., Koerner, R., Lefauconnier, B., Simon, C., Ommanney, L., Thomas, R., 1997. The mass balance of circum-Arctic glaciers and recent climate change. *Quaternary research* 48 (114), QR971900.

Dumont, M., Sirguey, P., Gardelle, J., Arnaud, Y., Durand, Y., 2010. Retrieving surface glacier albedo using spatial and terrestrial remote sensing data. assimilation of albedo into snow model CROCUS to simulate distributed mass balance on Saint Sorlin glacier (French Alps). In : *Cold Regions Hydrology Workshop (ESA)*. Innsbruck.

Farinotti, D., Magnusson, J., Huss, M., Bauder, A., 2010. Snow accumulation distribution inferred from time-lapse photography and simple modelling. *Hydrological Processes* 24 (15), 2087–2097.

Hagen, J., Eiken, T., Kohler, J., Melvold, K., 2005. Geometry changes on Svalbard glaciers : mass-balance or dynamic response? *Annals of Glaciology* 42 (1), 255–261.

Hinkler, J., Pedersen, S., Rasch, M., Hansen, B.U., 2002. Automatic snow cover monitoring at high temporal and spatial resolution, using images taken by a standard digital camera. *International Journal of Remote Sensing* 23 (21), 4669–4682.

Humlum, O., 2004. Mapping snow cover duration, avalanches and other geomorphic processes by automatic digital cameras, Longyeardalen, Svalbard – a project funded by the University Courses on Svalbard (UNIS) 2000–2005. UNIS, Department of Geology, Svalbard. <http://www.unis.no/research/geology/Geo_research/Ole/mapping_snow_cover_duration.htm>

Johannesson, T., Sigurdsson, O., Laumann, T., Kennett, M., 1995. Degree-day glacier mass balance modelling with applications to glaciers in Iceland, Norway and

Greenland. *Journal of Glaciology* 41 (138), 345–358.

Korona, J., Berthier, E., Bernard, M., Rémy, F., Thouvenot, E., 2009. SPIRIT. SPOT 5 stereoscopic survey of polar ice : reference images and topographies during the fourth international polar year (2007–2009). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64 (2), 204–212.

Laffly, D., Bernard, E., Friedt, J.-M., Martin, G., Tolle, F., Marlin, C., Griselin, M., 2011. High temporal resolution monitoring of snow cover using oblique view groundbased pictures. *Polar Record* 48 (1), 11–16.

Moholdt, G., Nuth, C., Hagen, J., Kohler, J., 2010. Recent elevation changes of sval-

bard glaciers derived from ICES at laser altimetry. *Remote Sensing of Environment* 114 (15), 2756–2767.

Newbery, K., Southwell, C., 2009. An automated camera system for remote monitoring in polar environments. *Cold Regions Science and Technology* 55 (1), 47–51.

Nuth, C., Kohler, J., Aas, H., Brandt, O., Hagen, J., 2007. Glacier geometry and elevation changes on Svalbard (1936–1990) : a baseline dataset. *Annals of Glaciology* 46 (1), 106–116.

Racoviteanu, A., Williams, M., Barry, R., 2008. Optical remote sensing of glacier characteristics : a review with focus on the Himalaya. *Sensors* 8 (5), 3355–3383.

Atelier 15

Risques technologiques et résilience

Analyse de la vulnérabilité combinatoire des réseaux techniques : De l'importance des nœuds périphériques

Serge LHOMME^{1,2}, Damien SERRE¹, Youssef DIAB^{1,3}, Richard LAGANIER²

¹Université Paris Est (EIVP)

²Université Paris Diderot (PRODIG)

³Université Paris Est (LEESU)

Mots-clefs - Vulnérabilité, Réseaux techniques, Théorie des graphes.

Contexte : un intérêt accru pour l'analyse structurale des réseaux techniques

L'analyse des propriétés structurelles des réseaux techniques a récemment fait l'objet de développements qui ont suscité un intérêt croissant chez de nombreux chercheurs étudiant les systèmes complexes (Barabasi & Albert, 1999; Holme et al., 2002; Newman, 2003; Boccaletti et al., 2006). Ainsi, certains physiciens se sont intéressés à l'étude des réseaux techniques afin de donner des perspectives pratiques supplémentaires à des travaux essentiellement théoriques (Holme et al., 2002; Newman, 2003; Albert et al., 2004). Ces études se focalisent sur la configuration (la forme, la trame) des réseaux techniques et non sur les flux circulants au sein de ces réseaux (analyse rhéologique). Ces travaux sont venus bousculer des méthodologies préétablies (Albert et al., 2000) et désormais une littérature importante est consacrée à l'analyse structurale des réseaux techniques. Pour la géographie des risques, l'analyse des propriétés structurelles de ces réseaux offrent alors de nouveaux outils de modélisation, de compréhension et d'évaluation permettant de mieux appréhender les relations complexes qu'entretiennent les risques avec les territoires (Gleyze, 2005; Gleyze et Reghezza, 2007; Lhomme et al., 2011).

Objectif : appréhender la vulnérabilité combinatoire

A l'instar des analyses rhéologiques, la méthode la plus utilisée pour analyser la vulnérabilité structurelle des réseaux techniques consiste à supprimer un nœud ou un arc (i.e. un composant) du réseau étudié, afin de comparer les valeurs d'indicateurs calculés au préalable sur le réseau « normal » puis sur le réseau « perturbé ». Il convient de parler de vulnérabilité élémentaire. La vulnérabilité élémentaire évalue donc la vulnérabilité structurelle d'un graphe à la suppression d'un de ses composants. Il existe alors plusieurs indicateurs pour évaluer cette vulnérabilité élémentaire (Gleyze, 2005; Chang & Wu, 2011). Ces travaux encore récents ont déjà fait l'objet d'une attention particulière de la part de nombreux chercheurs (Gleyze, 2005; Chang & Wu, 2011).

Quoiqu'il en soit, les réseaux techniques sont généralement redondants afin d'éviter que les coupures sur ces réseaux soient trop nombreuses (Duenas-Osario, 2005; Johansson, 2010). Cette redondance permet au réseau de continuer à fonctionner et ce malgré la perturbation d'un composant, même si ce composant est majeur. Dans les faits, les problématiques apparaissent souvent lorsque plusieurs composants sont perturbés (Albert et al., 2004; Murray & Grubisic, 2011). Ainsi, une catastrophe est souvent la résultante de défaillances en chaîne qui interviennent dynamiquement (Chang & Wu, 2011; Wang & Rong, 2011) ou

de défaillances simultanées impliquant un nombre relativement important de composants (Murray & Grubestic, 2011). C'est pourquoi, il est pertinent d'analyser le comportement des réseaux techniques suite à la dysfonction de plusieurs composants (Murray & Grubestic, 2011). Il est alors question d'analyser des scénarios de défaillances. Il est proposé ici de faire référence à une « vulnérabilité combinatoire ».

Jusqu'à très récemment, ces analyses étaient plutôt rares car – d'un point de vue statistique – ces défaillances multiples ont des probabilités d'occurrence plutôt faibles. Cependant, depuis quelques années les données ont changé. En effet, le début des années 2000 a été marqué par des événements démontrant que les réseaux techniques étaient peut être plus fragiles qu'il ne le semblait (US-Canada Power System Outage Task Force, 2004). De surcroît, les vagues successives d'attentats ont éveillé la crainte d'attaques ciblées et délibérées, indifférentes à toutes probabilités statistiques, envers des infrastructures critiques (Laporte, 2006). Dans le même temps, les réseaux techniques sont devenus de plus en plus complexes et interconnectés, rendant ainsi les analyses probabilistes très incertaines (Robert, 2004; Robert & Morabito, 2010).

L'objectif est dès lors de se focaliser sur l'analyse de la vulnérabilité combinatoire des réseaux techniques qui est un domaine de recherche plutôt récent susceptible de faire émerger des éléments de compréhension nouveau en matière de vulnérabilité structurelle des réseaux techniques.

Données et méthodes : une focalisation sur des graphes simplifiés de petites tailles

Dans une grande majorité des recherches engagées en matière de vulnérabilité combinatoire, la réaction des réseaux techniques face à des scénarios de défaillances est simplement évaluée afin de déterminer la criticité de ces réseaux envers certains types de scénarios (Albert et al., 2004; Murray

& Grubestic, 2011). Néanmoins, les facteurs explicatifs de cette vulnérabilité sont en définitive peu connus. Par exemple, les scénarios impliquant les composants les plus centraux « dynamiquement » (la centralité des composants est recalculée suite aux défaillances des composants les plus centraux) apparaissent critiques, mais aucune hypothèse n'est formulée sur les caractéristiques a priori des composants impliqués dans ces scénarios (Albert et al., 2004; Murray & Grubestic, 2011). Afin de bénéficier d'éléments de compréhension plus précis, il faut alors être en mesure d'identifier d'éventuelles corrélations entre des indicateurs structurels et l'indicateur de référence permettant d'évaluer la vulnérabilité « combinatoire ».

Pour cela, l'ensemble des scénarios possibles doivent être analysés. Une des difficultés résulte alors directement du nombre important de scénarios à analyser. C'est pourquoi, dans cette recherche, des graphes de tailles relativement faibles ont été analysés (une vingtaine de nœuds maximum). En l'occurrence, les premiers tests effectués concernaient le graphe simplifié du réseau américain des routeurs internet (Murray & Grubestic, 2011). A partir de cette première analyse, il a été possible d'émettre des hypothèses. Par la suite, d'autres réseaux de petites tailles ont été analysés afin de valider ces hypothèses.

L'indicateur de référence retenu ici pour évaluer la vulnérabilité combinatoire est l'indicateur de pertes de connectivité. Cet indicateur quantifie le nombre de relations rendues impossibles par la suppression d'un ou plusieurs composants (Crucitti et al., 2004; Matisziw et al., 2008). Enfin, compte tenu de la littérature existante, un intérêt particulier a été porté sur les indicateurs de centralité qui se révèlent généralement être corrélés avec les indicateurs de référence permettant d'évaluer la vulnérabilité élémentaire (Gleyze, 2005; Lhomme et al., 2011). Ainsi, plus un composant est central plus sa perturbation apparaît problématique.

Résultats : repenser l'importance accordée à la centralité

Les différents tests effectués semblent indiquer que la centralité intermédiaire des composants un facteur intervenant dans la production des scénarios critiques (ici en termes de pertes de connectivité). Cependant, les corrélations entre la centralité intermédiaire et l'indicateur de pertes de connectivité ne pourraient être aussi fortes si cet indicateur n'était pas couplé avec des deux indicateurs développés (un indicateur de différenciation de chemin préférentiel DCP et un indicateur de voisinage). En effet, l'indicateur de DCP montre bien que les scénarios critiques impliquent dans la majorité des cas des sommets qui ne tiennent pas le même rôle dans le réseau (Lhomme, 2012). De surcroît, l'indicateur de voisinage démontre qu'en fonction du nombre de sommets impliqués dans les scénarios, il peut exister des logiques différentes concernant la production des scénarios les plus critiques (les coefficients des régressions sont parfois positifs et d'autres fois négatifs). Malgré des résultats encou-

rageants – relevant ainsi d'une certaine connaissance des mécanismes de perturbation des réseaux – les résultats obtenus restent contradictoires pour des scénarios impliquant peu de composants. En fait, le type de scénarios qui a servi ici de référence (le calcul dynamique des centralités) n'est vraisemblablement pas toujours optimal. Ainsi, ce type de scénarios devient critique seulement à partir d'un certain seuil de sommets impliqués dans les scénarios. Or, ce seuil, bien que pouvant apparaître faible, peut si le graphe est grand impliquer un nombre relativement important de nœuds.

Des graphes simplifiés du réseau autoroutier français et du réseau routier de Columbus (une cinquantaine de nœuds environ chacun) ont alors été analysés afin de faire émerger les composants les plus critiques : c'est-à-dire les composants impliqués dans de nombreux scénarios pouvant être jugés critiques. Il apparaît finalement que les nœuds les plus critiques sont dans la plupart des cas situés en bordure de graphe (Figure 1).

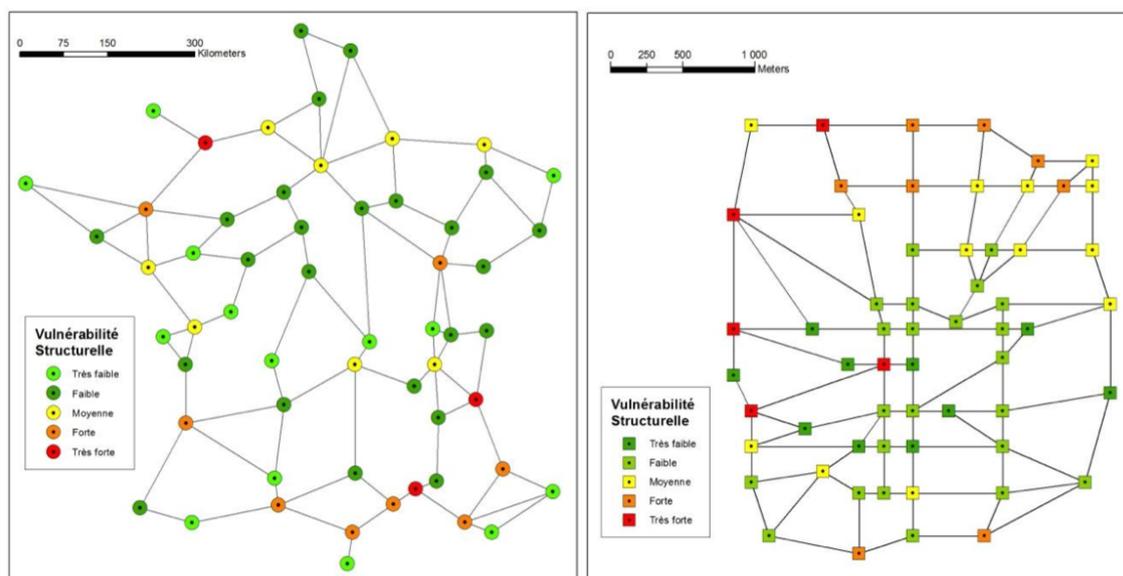


FIGURE 1 : Les résultats agrégés des vulnérabilités combinatoires au niveau des sommets (Lhomme, 2012). A gauche le réseau autoroutier français simplifié. A droite le réseau routier d'Indianapolis.

Conclusion

En termes de vulnérabilité combinatoire des réseaux techniques, il ne faut pas trop exagérer l'importance des composants centraux. Les sommets situés en bordure des graphes ou les points d'articulation se révèlent en réalité parfois plus problématiques, notamment lorsqu'il s'agit de se focaliser sur les scénarios critiques impliquant un nombre relativement peu élevé de sommets. Dans les faits, la vulnérabilité structurelle avérée de certains points centraux

au sein d'un graphe révèle davantage la fragilité de ce graphe, plutôt qu'une nécessaire corrélation entre la centralité des composants et leur vulnérabilité structurelle. Cette fragilité du graphe peut alors s'expliquer par des contraintes physiques, politiques, économiques et sociales. Ces travaux qui soulèvent in fine des réflexions sur le couple conceptuel centre-périphérie montre bien que l'analyse structurelle des réseaux techniques constitue un domaine de recherche fondamentalement géographique.

Références

Albert R., Jeong H., Barabasi A., 2000, « Error and attack tolerance of complex networks », *Nature*, 406(6794), pp. 378-382.

Albert R., Albert I., Nakarado G., 2004, « Structural vulnerability of the North American power grid », *Physical Review E*, 69(2), pp. 1-4.

Barabasi A. L., Albert R., 1999, « Emergence of scaling in random networks », *Science*, 286, pp. 509-512.

Boccaletti S., Latora V., Moreno Y., Chavez M., Hwang D. U., 2006, « Complex networks : Structure and dynamics », *Physics Reports*, 424, pp. 175-308. ?? Chang L., Wu Z., 2011, « Performance and reliability of electrical power grids under cascading failures », *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(8), Elsevier, pp. 1410-1419.

Crucitti P., Latora V., Marchiori M., Rapisarda A., 2004, « Error and attack tolerance of complex networks », *Physica A : Statistical Mechanics and its Applications*, 340(1-3), pp. 388-394.

Dueñas-Osorio L., 2005, *Interdependent response of networked systems to natural hazards and intentional disruptions*, Dissertation, Georgia Institute of Technology, Atlanta : Georgia Tech Library.

Gleyze J. F., 2005, *La vulnérabilité structurelle des réseaux de transports dans un*

contexte de risque, Thèse de doctorat, Université Paris VII, Laboratoire COGIT-IGN, 826 p.

Gleyze J. F., Reghezza M., 2007, « La vulnérabilité structurelle comme outil de compréhension des mécanismes d'endommagement », *Géocarrefour*, vol. 82/1-2.

Holme P., Kim B. J., Yoon C. N., Han S. K., 2002, « Attack vulnerability of complex networks », *Physical review E*, Statistical, nonlinear, and soft matter physics, 65(5 Pt 2).

Johansson J., 2010, *Risk and Vulnerability Analysis of Interdependent Technical Infrastructures : addressing Socio-Technical Systems*, doctoral thesis, Lund University, 163 p.

Laporte T. M., 2006, « Organizational Strategies for Complex System Resilience, Reliability, and Adaptation », in : Auerswald P.E. et al. (eds), *Seeds of Disaster, Roots of Response. How private action can reduce public vulnerability*, New York, Cambridge University Press, pp. 135-153.

Lhomme S., Serre D., Laganier R., Diab Y., 2011, « Apports de la théorie des graphes en géographie des risques : de nouveaux outils de modélisation, de compréhension et d'évaluation », *Les dixièmes rencontres de Théo Quant, Besançon*.

Lhomme S., 2012, *Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques*

en milieu urbain. Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine, Laganier R. & Serre D. (sous la dir.), Thèse de doctorat, Université Paris Diderot, 365 p.

Matisziw T. C., Murray A. T., Grubestic T. H., 2008, « Exploring the vulnerability of network infrastructure to disruption », *The Annals of Regional Science*, 43(2), pp. 307-321.

Murray A. T., Grubestic T. H., 2011, « Critical infrastructure protection : The vulnerability conundrum », *Telematics and Informatics*, 29(1), Elsevier, pp. 56-65.

Newman M. E. J., 2003, « The structure and function of complex networks », *Siam Review* 45, pp. 167-256.

Robert B., 2004, « A method for the study of cascading effects within lifeline networks », *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 1, No. 1, pp 86-99.

Robert B., Morabito L., 2010, « An approach to identifying geographic interdependencies among critical infrastructures », *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 6, No. 1, pp. 17-30.

U.S.-Canada Power System Outage Task Force, 2004, Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada : Causes and Recommendations.

Wang J. W., Rong L. L., 2011, « Robustness of the western United States power grid under edge attack strategies due to cascading failures », *Safety Science*, 49(6), Elsevier, pp. 807-812.

Les réseaux routiers comme facteur de vulnérabilité humaine en cas d'accidents industriels

G. Czura¹, E. Daudé¹, P. Langlois¹, P. Tranouez²

Université de Rouen

¹UMR IDEES

²EA LITIS

Mots-clefs - Mobilité, Réseau, Complexité, Risques, Vulnérabilité, Modélisation, Simulation

Les études expérimentales réalisées afin de maîtriser les conséquences d'un accident industriel sont dans la plupart du temps aux finalités de confinement, à l'échelle des bâtiments. Au vu des différentes formes urbaines, aux complexités différentes des villes, les études et les expérimentations liées à l'évacuation sont beaucoup moins fréquentes. En étudiant les récents événements (tremblement de terre, tsunamis, accidents technologiques, etc.), nous pouvons observer la nécessité de l'évacuation dans le cas d'une catastrophe prévisible, notamment à une échelle temporelle très courte, quelques minutes après la catastrophe. Quant aux catastrophes soudaines, l'absence de politiques d'évacuation – ou une évacuation incontrôlée – peut faire émerger des phénomènes collectifs (mouvements de panique, saturation du réseau, etc.) à partir de l'accumulation de décisions et de comportements individuels comme la fuite, la panique, ou autres comportements particuliers. Ces comportements émergents génèrent la vulnérabilité de la population, déjà dans un système devenu, suite à l'événement, instable.

Notre communication se situe dans ce cadre, avec comme objectif de proposer une modélisation d'auto-évacuation dans un milieu urbain, en cas de catastrophe soudaine. En étudiant les retours d'expériences de précédents événements, nous observons qu'une minorité de comportements individuels particuliers peuvent avoir des conséquences sur toute une population. De plus,

le réseau routier est un facteur de vulnérabilité supplémentaire dans un contexte de crise, de par déjà une vulnérabilité structurelle, mais aussi en tant que récepteur principal des individus. Il nous semble pertinent d'approcher cette problématique en modélisant ce système, à deux temporalités différentes. Ainsi, dans un premier temps nous avons pour objectif de modéliser et de simuler la mobilité urbaine et intra-urbaine (macro-niveau), en prenant en compte l'ensemble des individus (micro-niveau). Dans un second temps, nous utiliserons ce premier modèle comme base d'une seconde configuration : celle de l'événement perturbateur, dans le but d'observer la mobilité des individus, qui peuvent chacun être à l'origine d'un comportement particulier (transmissible) perturbant alors le réseau routier dans son ensemble.

Comprendre la dynamique de la population permet d'approcher les différents scénarios quotidiens de la mobilité. La volonté de ce travail est de représenter les dynamiques quotidiennes à tout instant de la journée, afin de pouvoir anticiper les conséquences d'un accident industriel, en fonction du moment où ce dernier intervient. Cette approche permet de contourner certaines limites des études actuelles consistant à créer des cercles concentriques comme les PPRT (Plan de Prévention des Risques Technologiques) autour des usines classées à risque. Ces représentations permettent essentiellement d'avoir une vision surfacique, planaire du risque. Or, on peut se poser certaines

questions liées à l'utilisation du réseau routier par les utilisateurs. Ces deux entités étant en constante interaction à des échelles de temps différentes, les règles de conduite en conditions normales de circulation sont-elles celles adoptées en situation de crise? Ou, tout simplement, sont-elles adaptées à cette situation? En effet, à court terme, les individus sont directement influencés par les règles de circulation : ils peuvent choisir des trajectoires ayant le moins de contraintes possibles (feux tricolores, limitations de vitesse, nombre de voies,) pour rejoindre leurs destinations. À plus long terme il existe une rétroaction dans ce système « réseau – individus » puisque le réseau peut être modifié en fonction des attentes et de l'influence des individus. Mais en cas d'accidents industriels, il semble intéressant d'observer quelles peuvent être les conséquences de l'événement sur les comportements humains. Il semble également intéressant d'observer si les signalétiques routières qui font la règle en conditions normales de circulation sont les plus adaptées en cas de crise ou si elles peuvent devenir une contrainte et donc peut-être également, un facteur aggravant de la vulnérabilité humaine.

Pour tenter de répondre à ces interrogations, nous mettons en place un modèle de trafic urbain. Ce modèle simulé à base d'agents a pour but de jongler avec la prise en considération des plus petites entités du modèle (micro) pour une représentation globale de la mobilité (macro). Comme dit précédemment, le premier objectif de ce modèle est de reproduire les dynamiques quotidiennes, dans des conditions donc normales de circulation. Pour ce faire, il est nécessaire de trouver les meilleurs paramétrages possibles pour la calibration du modèle, ce qui implique donc de faire les meilleurs choix parmi les informations à notre disposition : modèles, enquêtes ménages-déplacements, relevés GPS et téléphonie mobile par exemple, tout en respectant notre objectif à savoir, la réalisation d'un modèle le plus parcimonieux possible.

Notre étude de cas est localisée sur la

ville de Rouen pour plusieurs raisons. Tout d'abord c'est une configuration urbaine qui s'adapte à notre champ de recherche : plusieurs usines industrielles sont implantées à proximité du centre de la ville. Une perturbation de l'une d'entre elles pourrait avoir des conséquences immédiates sur les populations et les infrastructures routières. Ensuite, la configuration du réseau rouennais nous a semblé intéressante pour au moins deux raisons : tout d'abord de part son infrastructure qui est imposée. La ville rouennaise est entrecoupée par la Seine et seuls 6 ponts permettent de traverser le fleuve ; Ensuite parce que si cette configuration peut sembler un point essentiel de la vulnérabilité d'un réseau, le réseau rouennais n'est pas un cas particulier : cette configuration structurelle est assez fréquente pour de nombreuses villes, grandes ou moyennes, ce qui permet d'envisager l'application de notre modèle ailleurs. Dans le but d'aider à la décision en cas de crise, mais aussi de manière plus générale, à des propositions d'aménagement du territoire en amont de la crise afin d'éviter la multiplication des effets dominos au prolongement d'une catastrophe. Dans un tel contexte, nous avons décidé d'orienter une partie de notre recherche sur l'approche structurelle des réseaux afin de localiser sur une telle structure les différents points de vulnérabilité. Les individus automobilistes étant au cœur de notre problématique, nous orientons une seconde partie de notre recherche sur l'approche des déplacements quotidiens de ces derniers ; par la suite, nous étudierons leurs déplacements dans un contexte particulier, avec la connaissance d'un accident et en interaction avec les autres automobilistes dans ce même contexte.

Nous proposons alors la construction d'un modèle en faisant apparaître les priorités [9] de notre recherche c'est-à-dire : (i) la mobilité des individus et (ii) les conséquences d'un accident industriel en prenant en compte tous les utilisateurs du réseau routier. Le but est de représenter l'émergence de nouveaux comportements pouvant être qualifiés dans certains cas de pa-

nique, de « réactions primitives » des individus aux perceptions forcément subjectives d'un danger, parfois bien éloigné de la gravité objective de ce dernier [3]. Ainsi, notre modèle est une approche multineaux, possible par la simulation informa-

tique qui permet une représentation multiscalair (ville, quartier, route) du phénomène observé. L'objectif final est de pouvoir utiliser ce modèle comme un outil d'aide à la décision et/ou de proposition d'aménagement du territoire.

Références

- M. Batty. Cities and complexity. *Understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. MIT Press, 2005.
- L. Crocq. Comment comprendre les comportements de catastrophes. *Gazette Médicale de France*, 1978.
- L. Crocq. Les comportements collectifs de catastrophes. *Conventionnal Medicine*, 3-4, 1984.
- É. Daudé, D. Provitolo, E. Dubos-Paillard, D. Gaillard, E. Eliot, P. Langlois, E. Propeck-Zimmermann, and T. Saint-Gérand. Spatial risks and complex systems : methodological perspectives. *European Conference Complex Systems-EPNACS'07, Emergent Properties in Natural and Artificial Complex Systems, Dresden (Germany)*, 2007.
- A. Dauphiné. *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*. A. Colin, 2001.
- A. Dauphiné. *Les théories de la complexité chez les géographes*. Economica, 2003.
- J.-F. Gleyze and M. Reghezza. La vulnérabilité structurelle comme outil de compréhension des mécanismes d'endommagement. *Géocarrefour*, 82(1-2), 2007.
- E. Propeck-Zimmermann, T. Saint-Gérand, and E. Bonnet. Nouvelles approches ergonomiques de la cartographie des risques industriels. *Mappemonde*, 96, 2009.
- D. Provitolo. Un exemple d'effets de dominos : la panique dans les catastrophes urbaines. *Cybergeo : European Journal of Geography*, 2005.
- P. Tranouez, É. Daudé, and P. Langlois. A multiagent urban traffic simulation. *Journal of Nonlinear Systems and Applications*, JNSA 218, 2009.

Comment améliorer la résilience face au risque inondation ? une approche par les systèmes techniques urbains

Maryline Di Nardo, Bruno Barroca, Youssef Diab

Mots-clefs - Résilience, Métabolisme urbain, Quartiers inondables, Flux, Systèmes urbains

La moitié des catastrophes naturelles mondiales sont des inondations et représentent environ 20 000 victimes par an (www.risquesmajeurs.fr). En France, le risque inondation concerne plus de 13 300 communes dont 300 grandes agglomérations, pour 3,4 millions de logements en 2008 (Ministère du développement durable, 2008). Depuis 2007, la moitié de la population mondiale vit en milieu urbain (UN-Habitat, 2007). Le taux de croissance équivaut à la construction d'une ville d'un million d'habitants par semaine attestant d'une urbanisation rapide, voire démesurée et sans réelle prise en compte du risque¹ dans la planification, ni maîtrise de l'espace aménagé en zone inondable. De ce fait, la concentration des richesses, des activités et des populations dans ces zones enclines à l'aléa amplifie leur vulnérabilité. A cela s'ajoute les incertitudes du changement climatique qui tendent à un accroissement de la fréquence et de l'intensité des inondations (www.floodresiliencgroup.org, 2009). Le changement climatique, combiné à la concentration des biens et des personnes en milieu urbain, laisse présager des événements dévastateurs pour les années à venir. Quel que soit le scénario retenu, des conséquences sur la fréquence et la sévérité des précipitations sont attendues. Des épisodes de sécheresse plus intenses alternent avec des précipitations

plus fortes (Lamarre, 2008). Or, la société est de moins en moins tolérante envers ces perturbations fonctionnelles et les dégâts matériels qu'elles engendrent. Un climat d'intolérance se profile, les questions des coûts² et des conséquences deviennent centrales. Depuis quelques années le discours des autorités locales et nationales a changé, et ce sous l'impulsion des instances internationales (cf. directive Européenne inondation de 2007). L'hégémonie de l'ingénierie et du technocentrisme a dû faire face aux sources de dangers et à l'ampleur des dommages causés par les défaillances des mesures structurelles. La vulnérabilité, son évaluation et ses agents responsables sont alors apparus progressivement en intégrant l'ordre politique et la planification organisationnelle. Les actions initiées ne sont plus du domaine de l'aménagement mais elles relèvent de la production de documents réglementaires, de la mise en place de loi... etc. A l'heure actuelle, il n'est plus question de confrontation ou d'opposition face au risque, mais plutôt d'intégration. Celui-ci a pour optique de développer une réflexion globale sur ce que peut être le « vivre avec le risque », la démarche tend à développer la capacité d'un **urbanisme intégrant le risque**. A l'étranger des quartiers sont ainsi construits dans le but de s'adapter à l'aléa et de gérer l'incertitude. Ce changement de paradigme est corrélé à l'émer-

1. A noter que les PPR se construisent sur la base de l'évaluation de l'aléa. Il s'agit d'une gestion par l'aléa qui ne peut être associée à une réelle prise en compte du risque (intégrant la résilience des territoires) dans l'aménagement.

2. Le coût économique du risque d'inondation devrait atteindre dans le monde la valeur de 100 Milliards d'Euros par an à la fin du siècle (EEA 2008). Environ 75% de ces dommages seraient recensés en milieu urbain (COST22 2008). En France, le risque inondation représente aujourd'hui 80 % du coût des dommages imputables aux risques naturels, soit une moyenne de 250 millions d'Euros par an, c'est la contribution la plus importante de la caisse centrale de réassurance. Voir <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Prevention-des-risques-.html>

gence du concept de résilience. Concept mobilisateur, celui-ci transforme petit à petit la manière dont le risque est abordé mettant à contribution les acteurs et sollicitant le territoire en tant qu'actant à part entière.

Toutefois, lorsqu'elles se produisent, les inondations demeurent révélatrices des faiblesses du système de prévention et des vulnérabilités des territoires urbains. D'un point de vue plus global, elles révèlent l'ensemble des dysfonctionnements urbains face aux risques.

A ce titre, l'approche par le génie urbain a montré que les réseaux techniques urbains jouent un rôle stratégique dans la gestion des risques en milieu urbain (Lhomme, Serre et al. 2010). Ils se comportent à la fois comme des propagateurs de dysfonctionnements au-delà de la zone impactée par leur extension géographique et par leurs interdépendances alors qu'ils sont en même temps essentiels à la reconstruction (Felts, 2005).

Les actions opérationnelles et la recherche tendent généralement vers des méthodes plutôt mathématiques d'évaluation de la probabilité de défaillance d'un réseau afin d'améliorer sa fiabilité. Cet objectif de fiabilisation reste limité car il est difficilement applicable à de grands systèmes et il permet une forme d'anticipation de réaction du réseau sans proposer de solutions alternatives. Par ailleurs, en termes « d'actions de résilience », l'intérêt se porte généralement sur les bâtiments à travers des mesures de protection et sur les grands territoires par des mesures organisationnelles. Concept pluridisciplinaire dont l'origine varie selon les sources, la résilience apparaît aujourd'hui résolument comme un concept à la mode. Omniprésente, elle est qualifiée de « buzzword » (Comfort et al. 2010 cité par Djament-Tran, Le blanc, Lhomme, Rufat, Reghezza-Zitt, 2012) de « mot-valise » connoté à diverses notions (Aschan 1998, Gallopin, 2006 cités par Djament-Tran, Le blanc, Lhomme, Rufat, Reghezza-Zitt, 2012) ou encore « d'objet – frontière » (Brand et Jax, 2007 cité par Djament-Tran, Le blanc, Lhomme, Rufat, Reghezza-Zitt, 2012). Il est donc admis que le concept

est encore vague, malgré ses objectifs opérationnels. Une connaissance exhaustive du concept paraît difficile. Pourtant, en sciences du territoire, les travaux de l'écologue C.S. Holling amorcent la définition d'un cadre d'étude en affirmant que, la mesure de la résilience correspond à l'évaluation de la capacité d'un système à absorber et intégrer les changements de ses composants (Holling, 1973). L'inscription de la résilience dans une dimension systémique marque une avancée, sans compter que des éléments d'appréciation de la résilience se dessinent, notamment l'adaptation, l'absorption de l'aléa et le recouvrement du territoire.

Par l'approche génie urbain, un modèle conceptuel pour l'analyse de la résilience a été formulé. Il repose sur l'identification de trois types de résilience complémentaires : la résilience fonctionnelle, la résilience corrélative et la résilience territoriale (Barroca, Diab, Serre, 2012). La résilience fonctionnelle représente la capacité d'un système technique à se prémunir des impacts de la perturbation tout en maintenant une activité minimum de service. Il s'agit d'une propriété interne du réseau. La résilience territoriale apparaît comme la disposition d'un territoire à se mobiliser plus largement que l'espace impacté. Elle permet d'absorber la crise. Enfin, la **résilience corrélative**, qui nous intéresse plus particulièrement, se positionne sur un arbitrage entre la demande de services des communautés et la capacité du support technique à fournir une réponse. En cas de crise, il semble que la logique de fonctionnement du réseau semble devoir s'inverser. Le principe de production n'est plus de développer la capacité du système en fonction de la demande ; mais, plutôt, de définir les besoins requis pour une continuité de fonctionnement minimum de façon à être en mesure d'y répondre par un système technique ajusté. L'ensemble tend à une continuité de service et un rétablissement rapide.

Par son approche systémique des systèmes sociotechniques, le métabolisme urbain semble offrir la possibilité d'apporter des éléments de réponse à la quanti-

fication des flux des besoins d'un type de réseau. Construit par analogie des écosystèmes biologiques puis industriels, l'écologie territoriale s'applique à un établir un bilan comptable spatialisé des flux de matière et d'énergie, ainsi que des stocks d'une activité. Elle répond à un double objectif d'optimisation des flux de ressources et l'aboutissement à une situation équilibrée et profitable à la fois au système et à la fois à son environnement. Actuellement, la ville exerce une forme de pression sur l'environnement. Elle consomme les ressources de manière linéaire. Elle puise des entrants (énergies diverses, nourritures...) qu'elle utilise, puis qu'elle rejette dans le milieu sous forme de déchets ou d'émissions plus ou moins nocives pour l'environnement (Barles 2007). L'approche défendue par l'écologie urbaine suggère de multiplier les synergies pour connecter les activités entre-elles et mettre en place un fonctionnement métabolique complexe. Celui-ci permet de préserver nos ressources et de prétendre à une certaine autonomie.

La démarche présentée dans cette communication s'inscrit dans le contexte de gestion des risques à l'échelle du quartier et se centre sur les services urbains. Elle tend à une implication quantitative du territoire, en dépassant la question du réseau pour s'intéresser à celle des flux. A cet effet, la proposition est de travailler la résilience à partir de méthodes issues de l'écologie urbaine. Le premier objectif de cette communication est de déterminer quelle(s) approche(s) scientifique(s) permettent d'analyser et/ou de caractériser, de manière générale, les relations de la ville et de son environnement ? Il s'agira par

la suite de déterminer quels sont les besoins du fonctionnement urbain d'un quartier inondable ? Sous quelles conditions techniques, un quartier inondable présente – t-il un fonctionnement métabolique et urbain viable ? Quels sont les profils de consommation ? Par définition, résilience corrélative et principe du métabolisme territorial convergent. Comme ils reposent chacun sur l'étude d'un système, il paraît possible de mobiliser et de conjuguer les deux logiques simultanément. Afin d'évaluer le métabolisme urbain de manière quantitative, plusieurs méthodes existent tels que, l'analyse de flux de matières brutes, l'analyse de flux de matières et d'énergie, l'analyse des flux de substances et l'analyse du cycle de vie (Coutard, Levy 2010). Finalement, qu'est ce qu'une ville d'un point de vue biogéochimique ? Les travaux les plus pertinents, sont ceux portant sur les écocycles des quartiers d'Hammarby à Stockholm et de Castle et d'Elephant à Londres, porté par Olivier Coutard. En remettant en cause les grands systèmes de réseaux, la logique de réticulation à large échelle, ces travaux suggèrent des techniques alternatives et surtout, un changement de paradigme dans la logique des réseaux. Le principe de solidarisation change d'échelle et devient plus local donnant lieu à un principe d'autonomie qui favorise des cycles courts et des équipements plus petits gérés de manière décentralisée (Coutard, Rutherford, 2009). La conception de mailles urbaines et de nouveaux systèmes techniques locaux permettent l'adaptabilité des réseaux aux contextes dans lesquels ils s'inscrivent. Il s'agit alors d'adéquation entre les capacités du milieu, les pratiques de consommation et les ressources.

Références

Eléments de contexte

D.LAMARRE, Climat et risques, changements d'approches, Lavoisier, 2008

L. FELTS, Vulnérabilité des réseaux urbains et gestion de crise, CERTU, 2005, 78 p.

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie : www.developpement-durable.gouv.fr

Portail de prévention des risques majeurs : www.risquesmajeurs.fr

Portail du programme des Nations Unies pour les établissements humains : www.un-habitat.org

Résilience

B.BARROCA D.SERRE Y.DIAB, Le concept de résilience à l'épreuve du génie urbain, Revue Vertigo Vol 12 N°2, Septembre 2012.

G.DJAMENT, A.LE BLANC, S.LHOMME, S.RUFAT, M.REGHEZZA-ZITT, Ce que la résilience n'est pas, ce qu'on veut lui faire dire, Mars 2012, 31 p.

C.S.HOLLING, Resilience and stability of ecological systems, Annual review of ecology and systematics Vol. 4, 1973, pg 1-23

S.LHOMME D. SERRE, Y. DIAB R. LAGANIER., Les réseaux techniques face aux inondations ou comment définir des indicateurs de performance de ces réseaux pour évaluer la résilience urbaine, Bulletin de l'association des géographes français, 2010 pp. 487-502

D. SERRE B. BARROCA and R. LAGANIER, Résilience and urban risk management, Editors CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012 www.floodresiliencgroup.org

Ecologie urbaine/ Métabolisme urbain

S.BARLES, Le métabolisme parisien aujourd'hui – Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme, Revue Les Annales de la Recherche Urbaine, n°103, 2007, pages 64 à 72.

O.COUTARD J.P LEVY, Ecologies urbaines, Ed.Economica/Anthropos – coll. Villes, Paris, 2010, 372p.

O.COUTARD J.RUTHERFORD, Les réseaux transformés par leurs marges : développement et ambivalence des techniques « décentralisées », Flux n° 76/77 Avril - Septembre 2009 pp. 6-13.

Atelier 16

Trajectoires et dynamiques spatiales

Observer les liens entre mobilité géographique et réussite au collège à Paris et sa petite couronne

Zoé Boularan, Henry Ciesielski, Jean-Christophe François, Hélène Mathian, Lena Sanders

Mots-clefs - mobilité, réussite scolaire, multiniveaux, point de vue

Les récentes politiques en matière d'éducation et leurs impacts sur le territoire constituent un vaste champ pour explorer les dynamiques spatiales à l'œuvre dans l'agglomération parisienne. L'"abandon" de la sectorisation scolaire en 2007 est susceptible de renforcer le processus de ségrégation scolaire, le "libre choix" de l'établissement scolaire par les familles étant fortement corrélé à l'origine sociale des élèves (Oberti, Préteceille et Rivière, 2012) et n'étant pas égal en tout point du territoire compte tenu de l'offre scolaire effective et de son accessibilité (Rhein et François, 2007). Ce "choix" de l'établissement par les familles et son implication dans le processus de ségrégation, peuvent être saisis à partir de la mobilité des élèves : qui va où ? Qu'est que cela engendre comme configurations spatiales ?

Ces récentes politiques se sont effectuées dans un contexte social particulièrement tendu. Sur fond de crise urbaine qui dure, avec un renforcement du processus de ségrégation résidentielle dans l'agglomération parisienne. Associé à cette crise urbaine, s'ajoute la crise du collège unique. Ce dernier ne répond plus à sa vocation première, le collège unique s'est transformé en des collèges à plusieurs vitesses.

Déjà, les assouplissements successifs de la carte scolaire montraient comment, par le biais des dérogations, ou le choix d'un établissement privé ou encore l'utilisation d'une stratégie résidentielle, le flux de certains élèves engendrait une augmentation de la ségrégation scolaire à Paris et sa petite couronne (François, 1995, François et Poupeau, 2008). Considérée comme un processus participant de la ségrégation scolaire,

la mobilité géographique est ici interrogée dans ses liens avec la réussite au Brevet des collèges.

Les analyses et résultats développés dans cette étude sont fondés sur un système d'information scolaire multiniveaux et multidates, constitué à partir de données à l'échelon des collégiens et des établissements émanant de la direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (DEPP) du Ministère de l'Éducation nationale. Pour appréhender la mobilité interétablissement un grand nombre d'indicateurs ont été construits grâce à la combinaison de plusieurs bases de données, et ce sur plusieurs années, la mobilité étant calculée d'une année scolaire sur l'autre. Les notes relatives aux épreuves du Brevet en 2010 sont disponibles à l'échelon individuel de l'élève, et sont accompagnées de diverses caractéristiques relatives au genre, âge, catégorie sociale du représentant légal de l'élève. L'espace de la réussite a d'abord été mis en regard avec celui de la division sociale de l'espace des collèges. Des analyses empiriques ont ensuite été développées dans une approche multiniveaux, un niveau élève et un niveau établissement. Les résultats obtenus permettent de prolonger les questionnements à la fois sur des plans théorique et méthodologique.

Division sociale de l'espace des collèges et réussite au Brevet

Dans le contexte de division sociale de l'espace des collèges de l'agglomération parisienne, on constate de fortes inégalités sociales et spatiales en matière de réussite

scolaire, conformément aux écrits de la sociologie de l'éducation. Si, globalement on réussit mieux là où l'espace scolaire est le plus favorisé, il existe quelques exceptions notables dans Paris et sa petite couronne, avec des résultats au Brevet meilleurs ou moins bons que le laisserait supposer la composition sociale des collèges. Des facteurs autres que la composante sociale sont susceptibles d'expliquer la réussite scolaire, tels que le genre et le passé scolaire de l'élève et les conditions dans lesquelles il est scolarisé (secteur public ou privé, localisation à Paris ou banlieue et composition sociale de l'établissement).

Modélisation de la réussite au Brevet

Deux modèles statistiques ont ensuite été construits : une régression logistique (Logit) portant sur la réussite au brevet au niveau individuel des élèves, et une régression linéaire multiple sur la réussite au brevet au niveau des établissements.

Echelle individuelle

Les résultats du modèle Logit font apparaître au premier rang des facteurs les plus discriminants sur la réussite au brevet des élèves, le passé scolaire de l'élève. Etre en avance ou en retard scolairement influence donc fortement la probabilité de réussite au brevet, les élèves en avance ayant une forte probabilité de réussite, et inversement pour les élèves ayant déjà redoublé au cours de leur cursus scolaire. S'ensuivent les variables relatives à l'origine sociale de l'élève et à la composition sociale des établissements. Ces deux variables interviennent différemment selon le secteur. Dans le secteur public, les deux variables jouent de manière équivalente sur la probabilité de réussite (i.e. origine sociale favorisée et profil social favorisé de l'établissement contribuent pour des parts égales à « expliquer » les chances de réussite au Brevet). Dans le secteur privé, en revanche, le profil social de l'établissement semble être plus influant sur

la probabilité des résultats au Brevet, par rapport à l'origine sociale de l'élève.

Echelle agrégée des établissements

A cette échelle, les indicateurs relatifs à la mobilité ont pu être intégrés dans la modélisation. Le profil social de l'établissement et sa composition selon l'âge scolaire des élèves sont les variables explicatives les plus discriminantes. La mobilité intervient mais au second plan, sur la réussite des établissements. Les collèges accueillant des élèves provenant d'établissements ayant de meilleurs résultats que les leurs enregistrent, toutes choses égales quant aux autres variables du modèle, des résultats significativement moins bons. Il s'agit alors d'élèves en échec, dont le niveau insuffisant ne leur permet pas de suivre dans un établissement trop « élitiste » et qui trouvent refuge dans un établissement aux résultats plus modestes. Inversement, les collèges qui « importent » des élèves venant d'établissements dont les résultats sont inférieurs aux leurs voient leurs résultats au brevet améliorés de façon significative. Les élèves concernés sont alors de bons élèves soustraits aux collèges publics et privés environnants. Ces résultats reflètent l'imbrication complexe des stratégies des chefs d'établissements et celles des familles.

Perspectives

Cette analyse a permis de souligner le rôle de la mobilité, comme facteur secondaire mais néanmoins important.

L'approche multiniveaux apparaît intéressante lorsqu'on s'intéresse au rôle de la mobilité dans les processus de ségrégation scolaire. Cette analyse a le mérite de montrer que d'un niveau à l'autre les variables entrent en jeu différemment. Chaque niveau peut prétendre à un processus qui lui est propre et les questionnements géographiques se posent différemment d'un niveau à l'autre. Le concept de "point de vue" (Müller et al, 2011) peut être mobilisé pour éclairer différents enjeux liés à

la mobilité. Du point de vue de l'élève et de sa famille des stratégies en termes de mobilités peuvent être mises en place. Il s'agit de "choisir" l'établissement le plus approprié. Dans un contexte de plus en plus concurrentiel entre les établissements, une plus grande autonomie est accordée aux chefs d'établissements qui peuvent choisir leurs élèves suivant différentes stratégies (comportement élitiste ou plutôt égalitaire). L'attractivité de certains établissements, en termes de prestige, d'options proposées et de résultats, risque de se renforcer au détriment d'autres, pour lesquels les chefs des établissements en question chercheront à éviter une fuite massive de leurs élèves. Ainsi, évitement scolaire par

les familles, stratégies des chefs d'établissement, découlant du fonctionnement global de l'administration scolaire vont influencer les mobilités géographiques des élèves.

Si l'on a pu dégager des hypothèses sur la nature des liens entre mobilité et réussite au brevet au niveau des établissements, cela n'a pu être testé au niveau des élèves. En effet, les bases de données au niveau des élèves sur la mobilité et la réussite ne sont pas appareillables. Un modèle de simulation est en cours de développement (plateforme MIMOSA, Müller) pour explorer les effets respectifs des stratégies de choix d'établissements des familles et de stratégies de recrutement des chefs d'établissements.

Références

François J.C et Poupeau F. (2008), « Les déterminants socio-spatiaux du placement scolaire. Essai de modélisation statistique appliquée aux collèges parisiens », *Revue française de sociologie*, n°1, vol. 49, p. 93-126.

François J.C. (1995), *Discontinuités dans la ville : l'espace des collèges de l'agglomération parisienne 1982-1992*, Thèse de doctorat, Université Paris I.

Oberti M., Preteceille E. et Rivière C. (2012), *Les effets de l'assouplissement de la carte scolaire dans la banlieue parisienne*, Rapport de recherche réalisé pour la Halde et la DEPP – Ministère de l'Education nationale

Rhein C., François J-C. (2007), Appareil scolaire et division sociale de l'espace francilien, in Mattei

M.F et Pumain D., *Données Urbaines n°5*, Paris : Economica, Anthropos, coll. Villes

Müller J.P., Diallo A., François J.C., Mathian H., Sanders L., Phan D., Waldeck R. (2011), «Building ontologies from a variety of points of view», ESSA, *The 7th European Social Simulation Association*

Müller, *Mimosa : using ontologies for modelling and simulation*, (http://www.complex07.org/online-edition/files/extended_abstracts/Cx07-Muller.pdf)

Vers une réduction des inégalités régionales dans l'Union européenne ? Une approche multiscale des trajectoires de convergence

Sébastien Bourdin

Ecole de Management de Normandie

Mots-clefs - Convergence, disparités économiques, indice de Gini, Union européenne

Contexte et objectif

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

En 2010, une étude d'Eurostat montre que la région¹ 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 développée, 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.

Objectif de la communication et fondements théoriques

Durant cette dernière décennie, les études empiriques sur la convergence ont connu un essor important et présentent souvent des résultats contradictoires (Islam, 2003 ; Janikas et Rey, 2005). Même si l'espace géographique est pris en compte dans l'analyse de la convergence (notamment via l'analyse des clubs de convergence), et si des phénomènes d'agrégation spatiale (confirmés par les tests d'autocorrélation spatiale) semblent être observés, cette approche peut être menée à une échelle encore plus fine afin de détecter des « poches de convergence » au niveau plus local. Notre approche s'inscrit dans le cadre de contributions très récentes sur la convergence lo-

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

cale. Ce concept fait référence à une situation où les taux de convergence sont similaires pour des observations localisées à des points proches dans l'espace. L'introduction de la localisation dans l'analyse permet de mettre en lumière la présence d'effets spatiaux caractérisés par l'autocorrélation spatiale et l'hétérogénéité spatiale du processus de convergence (Le Gallo, 2004). Les études prenant en compte la dimension spatiale des données dans l'analyse de la convergence d'un point de vue empirique (Fingleton et Lopez-Bazo, 2006 ; Ertur et Koch, 2007 ; Dall'Erba et Le Gallo, 2008), ou intégrant les interdépendances spatiales d'un point de vue théorique (Ertur et le Gallo, 2009) se sont multipliées ces toutes dernières années.

Dans ce cadre, nous souhaitons souligner l'importance d'une approche spatiale de la convergence via une méthode originale de prise en compte de la dimension locale.

Méthode utilisée : une analyse multiscalaire de l'indice de Gini

Mesurer la convergence et formalisation de l'indice de convergence locale

Les tests de convergence en coupe transversale ont été introduits par Baumol (1986), puis développés par Barro et Sala-i-Martin (1991 et 1992). Pour mesurer un éventuel phénomène de convergence, cette méthode incontournable dans la littérature scientifique se décompose en deux tests (bêta et sigma convergence). La sigma convergence s'attache à observer si la dispersion des revenus se réduit dans le temps. L'idée est de vérifier si les PIB/hab. se rapprochent du niveau moyen des pays ou régions observés. Si les écarts à la moyenne se réduisent au cours de la période étudiée, on dit alors qu'il y a convergence : les PIB/hab. convergent vers la valeur moyenne de l'échantillon. Afin de mesurer cette dispersion, nous avons fait le choix de nous appuyer sur l'indice de Gini.

Dans le but de mettre en évidence les effets spatiaux de la convergence et de prendre en

compte les effets de voisinage, nous proposons de mettre en place un indice de convergence locale. La convergence locale est un indicateur mesurant la réduction (ou l'augmentation) des disparités économiques au sein d'un groupe de régions voisines. Autrement dit, il y a convergence locale quand les PIB/hab. des régions comprises dans la zone délimitée se rapprochent du niveau moyen des PIB/hab. de la zone considérée. L'intérêt d'une mesure de la convergence au niveau local réside dans le fait qu'elle permettra de comprendre l'origine de la persistance ou au contraire de la réduction des disparités régionales dans certaines parties de l'UE.

Pour calculer cet indice, on dispose d'une mesure spatiale $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ (pour notre étude de cas le PIB en PPA.) sur une population $I = 1, 2, \dots, n$ formée d'unités spatiales sur laquelle est définie par ailleurs une mesure spatiale (la population totale d'une région) $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$. On peut utiliser les notations suivantes :

$$p = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad p_i = \frac{Z_i}{p}, \quad q = \sum_{i=1}^n X_i, \quad q_i = \frac{X_i}{p}, \quad S_i = \frac{q_i}{p_i}$$

si est la densité de Q par rapport à P, c'est aussi une densité de X par rapport à Z. L'ordre des valeurs est fondamental car la forme de la courbe de Lorenz en dépend directement. On ordonne donc les individus par ordre croissant de densité de manière donc à ce que : $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_n$ (appelé ordre de Lorenz). Dans ces conditions d'ordre de Lorenz sur les individus, on définit les cumuls suivants : $P_i = \sum_{j=1}^i p_j$ qui est la somme des i plus petites valeurs de population.

De même : $Q_i = \sum_{j=1}^i q_j$ et on pose aussi $P_0 = 0$ et $Q_0 = 0$

avec ces notations on définit $G_\delta(i)$ comme la mesure de l'indice de Gini local de la distribution du PIB/hab. pour une région i et ses voisines j . Cet indice dépend d'un voisinage $V_\delta(i)$ de la région i de rayon δ (en km), qui est l'ensemble composé de la région i

elle-même et des régions situées à moins de δ de la région i .

de la région i se calcule par la formule :

On peut montrer que cet indice local autour

$$G_{\delta}(i) = 1 - 2 \sum_{j \in V_{\delta}(i)} p_j \left(\frac{q_j}{2} + Q_j - 1 \right)$$

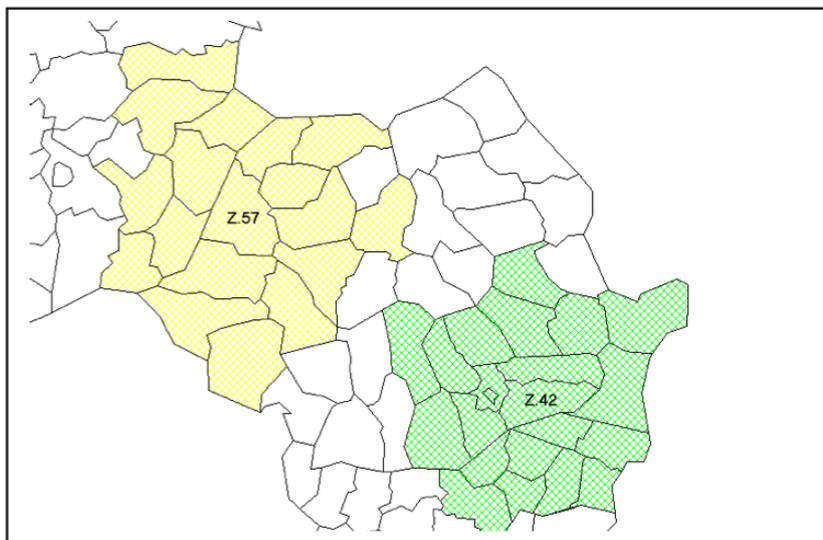


FIGURE 1 : Régions voisines sélectionnées dans un périmètre de 100km pour le judet de Bihor (Z 57) et de Calarasi (Z42)

La figure 2 présente une possibilité parmi d'autres de phénomène de convergence locale. Dans la zone délimitée, les régions les moins développées enregistrent des rythmes de croissance soutenue tandis que les régions les plus développées connaissent des croissances moins spectaculaires. La réduction

des écarts est posée sur la base d'une croissance rapide de la part des régions en retard : le rythme de croissance de ces dernières entre T_0 et $T+1$ dépasse le rythme de développement des plus développées et le résultat se traduit par une convergence.

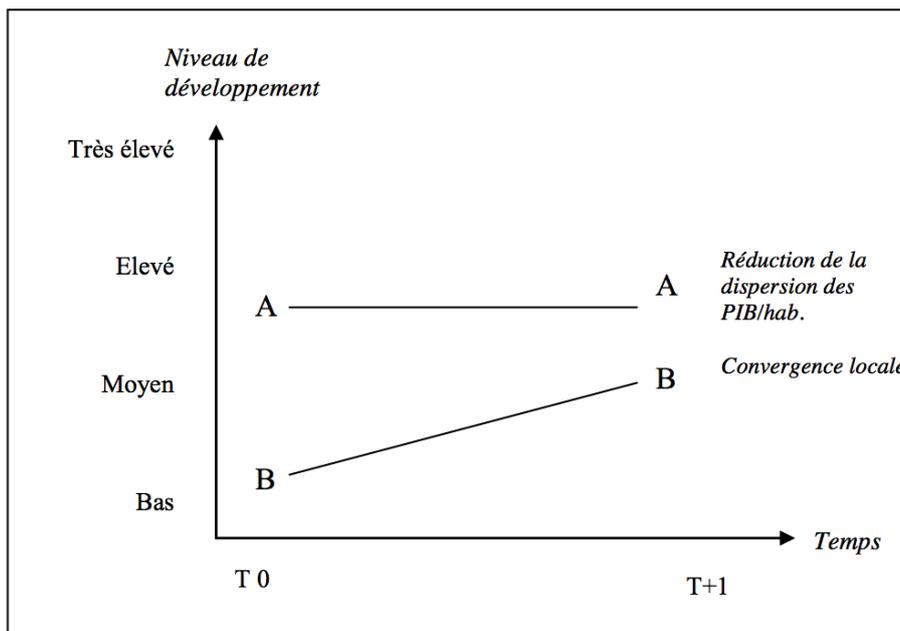


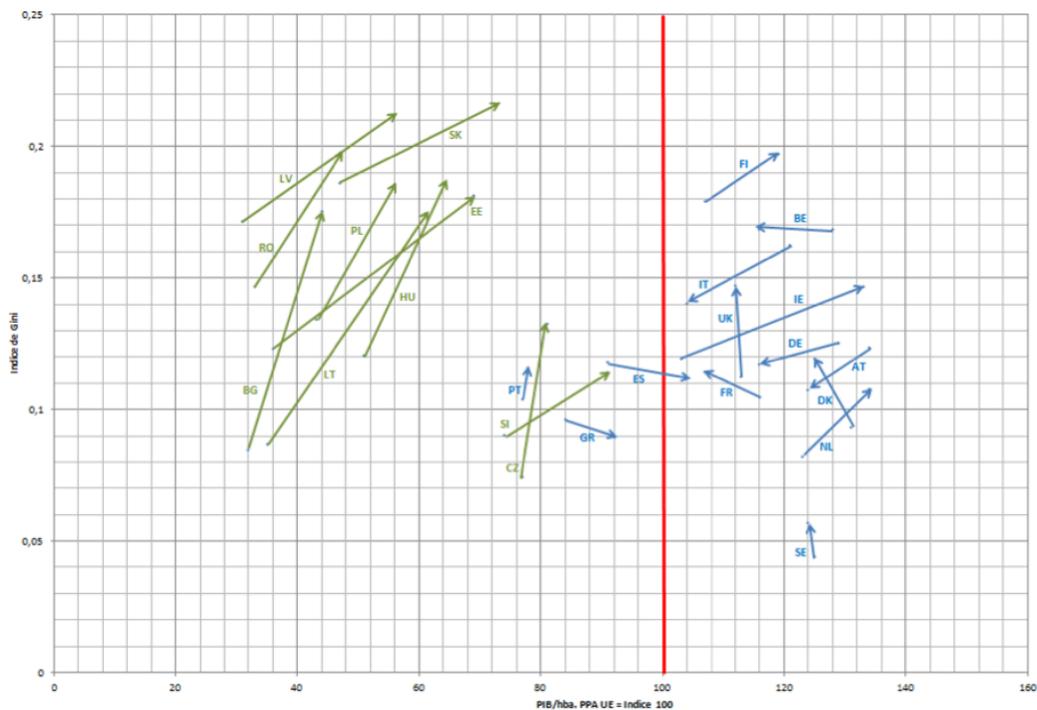
FIGURE 2 : L'hypothèse de convergence locale

Quelques résultats : D'une analyse globale à une analyse locale de l'indice de Gini

égalités internes. L'orientation et l'inclinaison des flèches (tableau 1) permet d'évaluer s'il existe une situation de convergence ou de divergence dans l'Union européenne sur la période allant de 1995 à 2007.

Les trajectoires de convergence dans l'Union européenne

Le graphique 1 permet d'observer la trajectoire de chaque pays et l'ampleur de ses in-



GRAPHIQUE 1 : Les trajectoires de convergence

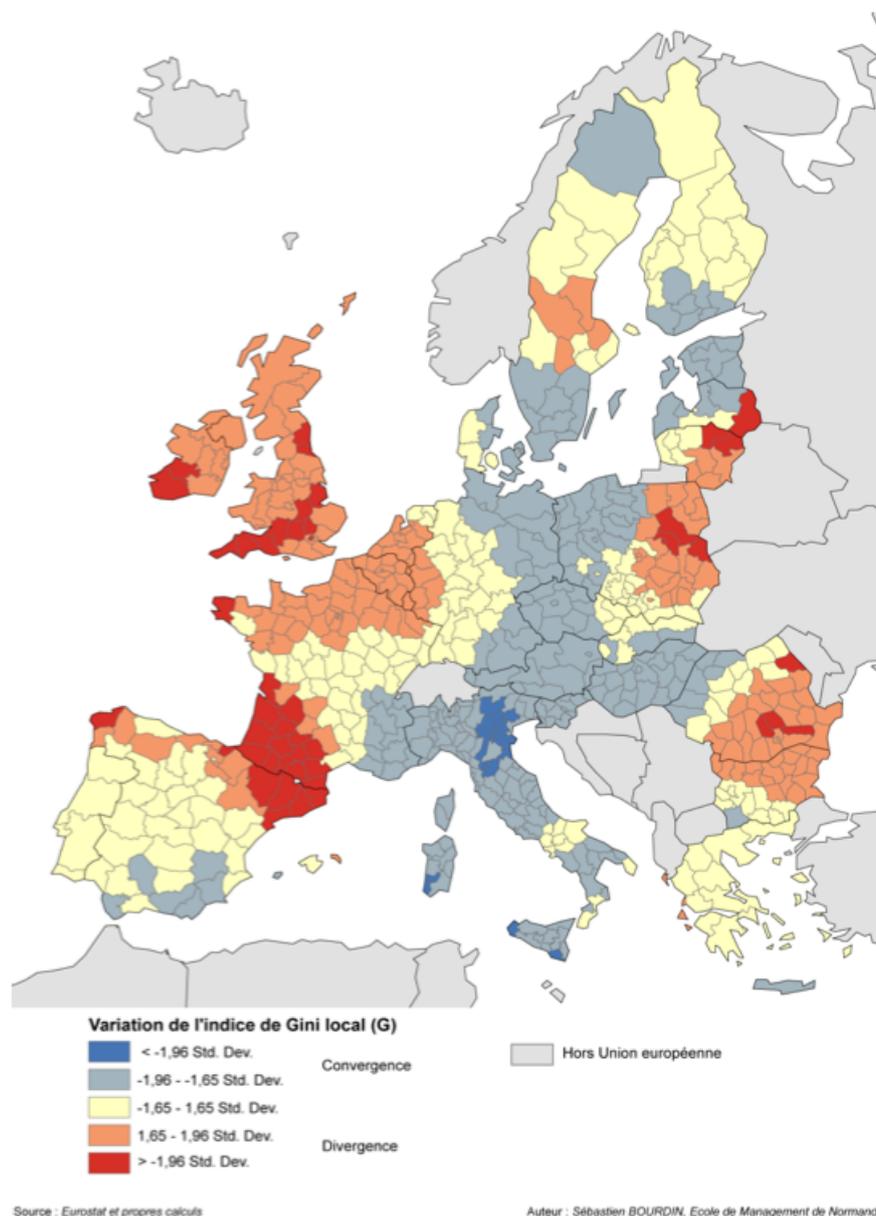
| | CONVERGENCE (RATTRAPAGE INTERNE) | DIVERGENCE (ABSENCE DE RATTRAPAGE INTERNE) |
|---|-------------------------------------|---|
| AUGMENTATION DES INÉGALITÉS INTRA-ÉTATIQUES (ABSENCE DE RATTRAPAGE INTERNE) | | |
| DIMINUTION DES INÉGALITÉS INTRA-ÉTATIQUES (RATTRAPAGE INTERNE) | | |

TABLEAU 1 : Analyse des trajectoires étatiques

Le graphique 1 permet de répondre à la question de savoir si l'on est en présence d'un double rattrapage – interne (entre les régions d'un même pays) et externe (entre les pays de l'UE) – ou bien si une des deux conditions n'est pas remplie. D'abord, on note une coupure assez nette entre les pays de l'Europe des Quinze et les PECO. En effet, en 2007, mis à part le Portugal et la Grèce, tous les pays de l'Europe des Quinze se situent au dessus de la moyenne communautaire en termes de PIB/hab. tandis que les PECO se retrouvent tous en dessous. Par ailleurs, l'évolution de la distribu-

tion régionale du PIB/hab. pour un pays donné est moins inégalitaire en Europe des Quinze que dans les PECO. A la lecture de ce graphique, il est donc possible de conclure à une mise en place d'une convergence entre les pays de l'UE27 entre 1995 et 2007. Les trajectoires étatiques semblent, pour une très grande partie, rejoindre la moyenne de l'UE même s'il existe quelques pays divergents (Irlande, Pays-Bas, Finlande).

Convergences et divergences locales



CARTE 1 : Une multipolarisation de la convergence locale

L'analyse de la convergence locale montre la formation d'une (multi)polarisation du processus de convergence. 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 ». Deux exemples peuvent être pris pour illustrer cela. On remarquera un fort regroupement spatial négatif le long de la frontière qui sépare l'Europe des Quinze des pays d'Europe centrale et orientale. Ainsi, nous pouvons affirmer que des phénomènes locaux de rattrapage existent à cette interface et s'expliquent

entres autres par des effets de diffusion de la croissance régionale vers les régions occidentales des PECO (frontalières de l'Europe de Quinze). A l'inverse, la Grande-Bretagne constitue une poche de divergence locale avec le poids écrasant de la région de Londres.

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).

Références

- Anselin L. (1995), *Local Indicators of Spatial Association LISA*, *Geographical Analysis*, 27 : 93
- Azariadis C. Et Drazen A. (1990), *Threshold Externalities in Economic Development*, *The Quarterly Journal of Economics*, MIT Press, vol. 105(2), pages 501-26
- Barro R.J. et Sala-I-Martin X (1991), *Convergence across states and regions*, *Brookings papers on Economic Activity*, vol. 1991, p.107-182
- Barro R.J. et Sala-I-Martin X (1995), *Economic growth theory*, McGraw-Hill, Boston
- Baumol W.J. (1986), *Productivity growth, convergence and welfare : what the long run data show ?*, *American Economic Review*, Vol. 76, p. 1072-1085
- Baumont C. (1998), *Economie géographique et intégration régionale : Quels enseignements pour les Pays d'Europe Centrale et Orientale ?*, LATEC - Document de travail - Economie (1991-2003) 1998-11
- Baumont C., Ertur C. & Le Gallo J. (2002), *The European Regional Convergence Process, 1980-1995 : Do Spatial Regimes and Spatial Dependence Matter ?*, *Econometrics* 0207002, EconWPA
- Carluer F. (2001), *Les régions européennes à l'épreuve de la convergence : analyse d'un rattrapage différencié*, Habilitation à Diriger des Recherches, Grenoble : Université Pierre Mendès-France (Grenoble II), juin 2001, 172 p.
- Chatterji M. (1992), *Convergence clubs and endogenous growth*, *Oxford Review of Economic Policy*, Vol.8, p. 57-69
- Dall'Erba S. et Le Gallo J., 2008, "Regional convergence and the impact of European structural funds over 1989-1999 : a spatial econometric analysis" *Papers in Regional Science*, 87, pp. 219-244.
- Dunford M. (1994), *Winners and losers : the new map of economic inequality in the European Union*, *European Urban and Regional Studies*, volume 1, number 2, pages 95-114
- Durlauf S.N. et Johnson P.A. (1995), *Multiple regimes and cross-country growth behaviour*, *Journal of Applied Economics*, Vol 10, p.365-384
- Ertur C. et Kock W., 2005, "Une analyse exploratoire des disparités régionales dans l'Europe élargie", *Région et développement*, 21, pp. 65-92.
- Ertur C. et Le Gallo J., 2008, "Regional growth and convergence : heterogeneous

- reaction versus interaction in spatial econometric approaches", Working papers – hal-00463274
- Ezcurra R. et Rapún M. (2006), *Regional disparities and national development revisited, the case of western Europe*, European, Urban and Regional Studies 13, 355
- Fagerberg J. et Verspagen B. (1996), *Heading for Divergence? Regional Growth in Europe Reconsidered*, Journal of Common Market Studies, Blackwell Publishing, vol. 34(3), p. 431-448, 09
- Fayolle J. et Lecuyer A., Regional growth, national membership and European structural funds : an empirical appraisal, n° 02, avril 2000
- Fingleton, B. et E. Lopez-Bazo, 2006, "Empirical growth models with spatial effects", Papers in Regional Science, 85, pp. 177-198
- Fuss C. (1999), *Mesures et tests de convergence : une revue de la littérature*, Revue de l'OFCE, 69, Avril, p.221 – 249.
- Grasland C. (2004), *Les inégalités régionales dans une Europe élargie*. in Les incertitudes du grand élargissement : L'Europe centrale et balte dans l'intégration européenne (2004), p.181-214
- Henin P.-Y. et Le Pen Y. (1995), Les épisodes de la convergence européenne, Revue économique, 46 (3)
- Islam N. (2003), What have we learnt from the convergence debate?, Journal of Economic Surveys, Vol. 17, p. 309-362
- Janikas M. V. et Rey S. J., 2005, "Spatial clustering, inequality and income convergence", Urban/Regional - Economics Working Paper Archive - Econometrics 0501002
- Krugman P. (1991), *Geography and trade*, MIT Press, Cambridge, MA
- Le Gallo J. (2002), *Disparités géographiques et convergence des régions européennes : une approche par l'économétrie spatiale*, Thèse de doctorat en analyse et politiques économiques, Université de Bourgogne, Dijon
- Le Gallo J., 2004 a, "Space-Time analysis of GDP disparities among European regions : a Markov chains approach", International Regional Science Review, 27, pp. 138-163
- Lhomel E. (2007), *De Quinze à Vingt-sept. Les nouveaux Etats membres face à la construction européenne*, le courrier des pays de l'Est, n°1063
- Neven C. et Gouyette D. (1995), *Regional convergence in the european community*, Journal of Common Market Studies, Vol. 33, p.47-65
- Vandermotten C. et Marissal P. (2000), *Une nouvelle typologie économique des régions européennes*, L'espace géographique, n°4, pp. 289-300
- Williamson J. G. (1965), *Regional Inequality and the Process of National Development : A Description of the Patterns*, Economic Development and Cultural Change, n° 13, pp. 1-84.

Territoires et systèmes de villes : les trajectoires des villes russes et de l'Union Soviétique avant et après 1991

Clémentine Cottineau

Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Mots-clefs - Espace post soviétique, Système de villes, Trajectoires

Depuis vingt ans, la Russie perd des habitants. La population de l'ex-Union soviétique s'est contractée entre 1993 et 2006, et repart à la hausse depuis. Cependant, cette évolution globale masque une diversité importante de situations démographiques : la partie européenne de l'ancienne Union continue de décroître, l'Arménie, la Géorgie et le Kazakhstan ont connu une reprise après un déclin sévère dans les années 90, tandis que l'Azerbaïdjan et le reste de l'Asie centrale n'ont cessé de se peupler. Cette situation démographique possède des composantes conjoncturelles, mais surtout des effets de long terme. En effet, l'Asie centrale correspond à une régime de transition démographique, avec une population jeune et des naissances importantes, tandis que la partie européenne de l'ex-URSS cumule une natalité faible de pays développés, une mortalité élevée due à un système de santé obsolète notamment, et un apport migratoire trop faible pour pouvoir compenser le bilan naturel négatif (Blum, 2004; Vichnevski, 2009). De plus, l'inertie démographique fait que les femmes en âge de procréer aujourd'hui sont les petites-filles des classes creuses de la seconde guerre mondiale. Cette situation démographique à l'échelle des pays s'amplifie à l'échelle des villes : en effet, les villes de la partie européenne ne disposent pas de l'apport de migrants ruraux, la transition urbaine étant achevée, tandis que de nombreux ruraux d'Asie centrale continuent d'affluer vers les villes. Ainsi, plus de 60% des villes de plus de 10 000 habitants de la région ont vu leur population baisser entre 1989 et 2010 (1163 villes sur 1890). Dans l'histoire longue de cet espace, d'autres périodes

ont été caractérisées par une décroissance urbaine ; par exemple durant la guerre civile et la seconde guerre mondiale (Nefedova et al., 2001). Cependant, jamais une décroissance de telle ampleur n'a affecté autant de villes en temps de paix. Le constat de cette situation exceptionnelle appelle donc trois questions majeures : quelles sont les villes qui décroissent ? quelles caractéristiques les distinguent des autres villes ? Cette situation devrait-elle se prolonger ou non ? La première question renvoie au processus sélectif de distribution de la croissance urbaine, notamment dans le contexte de mondialisation/métropolisation. Les raisons sont probablement à chercher dans la combinaison de la situation démographique d'ensemble et de l'effet des spécialisations économiques et fonctionnelles (effet capitale dans les nouveaux Etats indépendants, adoption d'innovations, etc.). Enfin, la dernière question implique de construire des outils de projection et de tests de scénarios. Dans cette présentation, nous tentons de répondre aux deux premières questions, la troisième faisant l'objet d'une étude en cours dans le cadre de la thèse. Ainsi, pour identifier et "expliquer" le déclin des villes russes et post-soviétiques en prenant en compte les tendances longues, nous nous attachons ici à caractériser et décrire l'évolution de ces villes, le type de trajectoire démographique qu'elles ont suivie. Cela suppose d'explicitier l'ensemble de villes choisi, la période étudiée et les méthodes adaptées à cette description. En l'occurrence, deux points de vue s'opposent (ou se complètent) pour décrire l'ensemble des villes de cette région : le premier consiste à analyser leur évolution avec des outils géné-

riques, testés sur d'autres systèmes de villes dans le monde pour permettre la comparaison des configurations et des évolutions ; le second s'intéresse à la spécificité de l'espace étudié et à l'histoire territoriale particulière des villes en question. Nous tentons de combiner les deux approches. Ainsi, la première étape consiste à adopter une définition de la ville. Malgré les affirmations sur l'originalité de la ville socialiste puis soviétique (Svetlichny, 1959 ; George, 1974 ; French, Hamilton, 1979 ; Andrusz et al., 1996 ; Stanilov, 2007), nous avons préféré opter pour une définition harmonisée de la ville, à savoir l'agglomération, soit un regroupement des entités juridiques basé sur la continuité du bâti urbain. Ce choix permet d'utiliser la portée comparative de cette définition morphologique (Moriconi-Ebrard, 1994) tout en reflétant la capacité de l'urbanisme soviétique, et l'ampleur modérée de la périurbanisation dans cet espace. Nous avons donc récolté les chiffres de population de 1929 agglomérations depuis le début de la transition urbaine (1840) jusqu'à aujourd'hui (2010), pour les quinze Etats issus de la décomposition de l'URSS. Ce périmètre paraît large pour la période considérée. Cependant, se restreindre au périmètre de la seule Russie serait adopter un cadre trop étroit pour l'interprétation. En effet, nous avons comparé l'ajustement des villes des deux périmètres au modèle de Zipf (loi rang-taille), et l'enveloppe "URSS" s'est révélée plus adaptée pour rendre compte de l'évolution des villes russes et voisines. L'explication est que l'extension de l'Empire russe à la fin du XIXe siècle est proche de ce périmètre, et que le moteur de la croissance urbaine soviétique, à savoir l'industrialisation, a été organisé spatialement de telle façon que les villes de toute l'Union ont été liées pour longtemps par des échanges économiques à cette échelle. Elles présentent ainsi les caractéristiques d'un système de villes, notamment par leur hiérarchie et leur spécialisation (Pumain, 1999).

Deux méthodes génériques ont été appliquées, permettant la comparaison de cette évolution avec les autres systèmes de villes

dans le monde pour lesquels ces méthodes ont été créées/utilisées (Europe, Amérique du Nord, Afrique du Sud, Inde, Chine, Brésil). La première consiste à étudier la configuration hiérarchique des villes (le degré d'inégalité des tailles de villes issu de la loi rang-taille) et son évolution au cours du temps, vers une hiérarchisation ou une égalisation des tailles. Ce modèle a révélé une situation intermédiaire de l'ex-URSS en termes de hiérarchie urbaine, entre le peuplement ancien plus homogène de l'Europe et le peuplement récent plus inégalitaire des Etats-Unis (Bretagnolle et al., 2000 ; 2010) . En revanche, comme tous les autres systèmes de villes étudiés jusqu'à présent, la tendance est à la hiérarchisation au cours du temps. Pour expliquer cette hiérarchisation, le modèle de répartition de la croissance urbaine de Gibrat est souvent invoqué. Selon ce modèle, quelle que soit la distribution initiale des tailles de villes, une croissance proportionnelle et distribuée aléatoirement entre les villes aboutit à une distribution log-normale, proche de celle de Zipf, en fin de période. Nous montrons que ce modèle n'est pas très éloigné du processus de croissance urbaine observé en ex-Union soviétique, à ceci près que pour ces villes, une auto-corrélation temporelle des taux de croissance indique qu'un phénomène de sélection des villes a visiblement eu lieu, favorisant un groupe puis un autre, mais non aléatoirement dans le temps et l'espace.

C'est pourquoi nous avons choisi d'étudier les trajectoires individuelles des villes de cet espace. Sur trois périodes, ces trajectoires ont été analysées et classées en vue dégager les principaux déterminants de croissance et de décroissance urbaine. La première période est la plus longue possible (1840-2010), couvrant au maximum l'urbanisation russo-soviétique, et révèle deux facteurs de croissance : la colonisation territoriale de l'Empire russe puis de l'URSS a favorisé la croissance des villes de l'Est, et la bureaucratisation a donné un avantage aux villes ayant le statut de capitales régionales. La période démarrant après de "boom" de l'industrialisation (1939-2010)

reflète les principes de planification et d'organisation territoriale du régime soviétique, puisque la croissance est alors structurée plus hiérarchiquement (les grands centres administratifs et économiques sont avantagés) que régionalement (on observe une diversité importante de trajectoires au sein des différents pays). Enfin, trois facteurs influencent la croissance des trajectoires urbaines récentes observées depuis la fragmentation de l'URSS en quinze Etats indé-

pendants : l'appartenance territoriale à ces entités (qui résumant à la fois une dynamique économique et un régime démographique), le statut administratif et l'accès à des ressources localisées (gisements, nœuds de transport, etc.).

Ces faits stylisés et la dynamique générale des systèmes de villes devraient nous servir de base pour modéliser l'évolution des villes post-soviétiques, dans un objectif de simulation prospective.

Références

- Andrusz G., Harloe M., Szelenyi I. (ed.), 1996, *Cities after socialism, urban and regional change and conflict in post-socialist societies*, Oxford, Blackwell.
- Blum A., 2004, *Naître, vivre et mourir en URSS*, Paris, Payot & Rivages, coll. "Petite bibliothèque Payot", 2e édition, 316p.
- Bretagnolle A., Mathian H., Pumain D., Rozenblat C., 2000, « Long-term dynamics of European towns and cities : towards a spatial model of urban growth », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Dossier, 11th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography, Durham Castal, UK, September 3-7, 1999, Document 131. URL : <http://cybergeo.revues.org/556> Consulté le 22 Septembre 2011
- Bretagnolle A., Giraud T., Mathian H., 2008, « La mesure de l'urbanisation aux Etats-Unis, des premiers comptoirs coloniaux aux *Metropolitan Areas* (1790-2000) », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 427, URL : <http://cybergeo.revues.org/19683> Consulté le 15 Avril 2012
- French R. A., Hamilton F. E. I. (eds.), 1979, *The Socialist City*, Londres, John Wiley & Sons, 541p.
- George P., 1974, *Précis de géographie urbaine*, Paris, PUF, 288p.
- Moriconi-Ebrard F. (1994). *Geopolis, pour comparer les villes du monde*. Paris : Anthropos, Coll. « Villes ».
- Nefedova T., Polian P., Treivish A. (2001). *Gorod i Derevnia v Evropeiskoi Rossii, Sto Let Peremen*. Moskva : OGI, 558p.
- Pumain D., 1999, "Quel rôle pour les villes petites et moyennes des régions périphériques?", *Revue de géographie alpine*, vol. 87, n°2, pp 167-184.
- Stanilov K., 2007, *The post-socialist city*, Springer, Cincinnati
- Svetlichny B., 1959, « Les villes de l'avenir » in Roncayolo M., Paquot T., 1992, *Villes et civilisation urbaine, XVIIIe-XXe siècle*, Larousse, Coll. « Textes essentiels », pp 551-559
- Vichnevski A., 2009, "Les enjeux de la crise démographique en Russie", *Russie.Nei.Vision*, n°41, Ifri centre Russie-NEI. 27p. URL : http://www.ifri.org/files/Russie/IFRI_demographie_Vichnevski__FR_juin_09.pdf

Statistique dynamique d'une série parétienne d'observations

approche méthodologique

Philippe Martin

Université d'Avignon
UMR ESPACE 7300
74 rue L. Pasteur, 84029 Avignon
philippe.martin@univ-avignon.fr

Mots-clefs - Statistique, Paréto, densité de fréquence, dynamique parétienne, pétition, Union européenne, budget recherche

De nombreuses séries d'observations peuvent correspondre, pour simplifier, soit à une distribution gaussienne (normale, log-normale), soit à une distribution parétienne. Ces séries d'informations sont nécessairement très temporaires quand le phénomène mesuré se développe rapidement. Dès lors, est-il possible de dire quelque chose sur cette évolution temporelle en utilisant une modélisation statistique de ces séries? Cette évolution est-elle bornée et/ou pointe-t-elle vers une distribution suffisamment stable, dont l'évolution serait marginale même sous un effet d'accroissements importants de l'information disponible?

Ce texte a donc pour but de montrer comment nous pouvons modéliser l'évolution d'une série dynamique correspondant, à chaque pas, à une distribution parétienne. Pour cela nous montrerons que l'utilisation de densités de fréquence est préférable et que le modèle empirique permettant de rendre compte de la relation entre la distribution expérimentale et la distribution de référence est un polynôme du second degré de la forme $y = ax^2 + bx + c$ calculé à partir du logarithme de x et de y .

Pratiquement, il s'agit de rendre compte de l'évolution des trois paramètres d'un modèle semi-parabolique ajusté aux séries des signataires, par pays, d'une pétition pour la sauvegarde des crédits donnés à la recherche dans l'Union européenne; le

nombre, par pays, des signataires ayant été recueilli journalièrement pendant un mois. Il s'agit de cinquante-quatre pays dont trente-six d'Europe limitée par les aires culturelles russe, turque et arabomusulmane, donc plus large que l'Union européenne à vingt-sept états membres. C'est sur cette série européenne qu'ont été faits plus particulièrement les calculs, d'une part avec les données brutes (nombre de signataires par pays) puis avec des données normées : nombre de signataires par pays par million d'habitants, etc.

On montre ainsi qu'en ajustant un modèle par jour, il est possible de connaître les limites de fluctuation de l'ajustement parabolique. Ces derniers peuvent être excellemment mis en relation (coefficient de détermination très proche de 1) avec la totalisation journalière des pétitionnaires à condition d'exprimer les relations entre les paramètres (C_c , b et c) des modèles au travers d'un indice dit P spécifique que nous avons conçu.

Par ailleurs, le coefficient de courbure : C_c (le paramètre $-a-$ du polynôme ci-dessus) tout comme le paramètre $-b-$ s'avère avoir une statistique particulière (états stables et transition par exemple pour le C_c) qui borne les possibles et qui permet de préciser ce que pourrait être l'attracteur du processus. Sur ces bases nous avons pu calculer les courbes enveloppe de tous les états statistiques observés qui n'utilisent pas toute

la latitude possible (par exemple $C_c = 0$, ce qui ramènerait la statistique observée à un modèle de puissance). Ceci pose un problème certain, mais valide a contrario la démarche. Pourquoi en est-il ainsi ? La réponse est certainement à chercher dans le processus lui-même, c'est-à-dire dans le

choix, le lieu et le moment de pétitionner de chaque signataire.

À partir de cet exemple, tout à fait conjoncturel, et à vocation plus méthodologique que thématique, il est maintenant possible d'aborder des statistiques ayant une géographicité plus évidente.

Atelier 17

Retour sur les travaux de Maryvonne Le Berre

Atelier organisé par les membres du groupe Dupont
durant toute la matinée

Atelier 18

Géographie de la santé

Contribution à la connaissance des relations entre contexte et niveau de santé

Charlène Le Neindre

UMR 8504 Géographie-cités
Université Paris Diderot-Paris 7

cl@parisgeo.cnrs.fr

Mots-clefs - Contexte, Corrélation statistique, Géographie, Niveau de santé, Système

contexte et objectif

Des disparités en matière de mortalité et de morbidité apparaissent dans l'espace français, indépendamment de la maille d'observation (Salem et al., 2000; Salem et al., 2006; Trugeon et al., 2010). Comprendre ce phénomène ne peut se faire sans considérer en parallèle les variations spatiales des dimensions susceptibles de l'influencer. Certaines sont propres à chaque individu (le patrimoine biologique et génétique par exemple) et ne sont pas étudiées ici. D'autres sont partagées collectivement (comme la situation socioéconomique ou la qualité de l'air atmosphérique du lieu de résidence) et retiennent notre attention.

L'objectif de cette communication est double. D'abord, nous présentons, suivant une perspective systémique, les relations entre les caractéristiques sanitaires d'une entité spatiale et (1) ses autres caractéristiques (socioéconomiques, environnementales...), et (2) les caractéristiques d'autres entités spatiales qui l'entourent au même niveau d'organisation, la composent à un niveau inférieur et, enfin, l'englobe à un niveau supérieur. Chacune de ces entrées forme, pour chaque entité spatiale, un « contexte » – ensemble des conditions dans lesquelles se produit un événement (ici, sanitaire). Ensuite, nous proposons une stratégie d'exploration de ces relations en en mettant certaines à l'épreuve dans des contextes géographiques de nature différente.

Données et méthode

Les dimensions collectives susceptibles d'influencer le niveau de santé d'une entité spatiale sont identifiées à partir de la littérature et organisées en un système multi-échelle s'appuyant sur la notion de contexte.

Deux espaces d'étude sont choisis pour leurs caractéristiques en matière de santé, socioéconomiques, environnementales, morphologiques ou fonctionnelles contrastées : l'« Ouest » (régions administratives de Bretagne et des Pays de la Loire) et le « Nord » (régions administratives du Nord-Pas-de-Calais et de Picardie). Chaque espace est envisagé à partir d'entités spatiales permettant d'apprécier (1) les niveaux local et régional, complétés par un zoom sur les villes, (2) toute la gamme des types d'espace au niveau local, de l'urbain central au rural isolé, et (3) des villes de taille petite, moyenne ou grande.

L'asthme, la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) et les cardiopathies ischémiques sont examinés. Ces pathologies pèsent dans la morbidité et la mortalité en France. En outre, de nombreuses études portant sur ces pathologies (Pascal et al., 2007; Allain et al., 2010; Larrieu et al. 2007; Pascal et al., 2009) incriminent la qualité de l'air extérieur, une des dimensions environnementales.

Diverses sources d'information sont mobilisées pour construire des indicateurs de santé et décrivant le contexte. Nous recourons aux effectifs d'hospitalisation du

programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) de l'agence technique de l'information sur l'hospitalisation (ATIH) localisés à la zone géographique PMSI. Leur combinaison avec les effectifs de population du recensement de l'institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), quant à eux localisés à la commune, est nécessaire au calcul, séparément pour chaque sexe, des indices comparatifs d'hospitalisation (ICH). Ceux-ci sont classiquement utilisés pour déterminer si la situation sanitaire d'une entité spatiale est, indépendamment de sa structure par âge, meilleure, comparable ou moins bonne que celle observée dans un espace de référence (ici, le territoire métropolitain). Pourtant, la construction des ICH n'est pas une simple formalité. Dans la mesure où le découpage de l'espace en zones géographiques PMSI (propre aux données d'hospitalisation) ne s'emboîte pas parfaitement avec celui en communes, une méthode d'affectation des données doit être mise en œuvre. Finalement, nous procédons à une ventilation des données proportionnelle à l'effectif de population résidente depuis les communes vers les zones géographiques PMSI (niveau local). Cette démarche est reconduite pour disposer des effectifs d'hospitalisation aux niveaux régional et des villes.

Trois dimensions collectives sont expérimentées : la situation socioéconomique (par le biais des niveaux de diplôme disponibles dans le recensement de l'INSEE), la qualité de l'air (au moyen des concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote (NO₂), ozone (O₃) et particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres (PM₁₀) mises à disposition par l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)) et la densité d'offre de soins (concernant les établissements de court séjour, les médecins libéraux généralistes, cardiologues et pneumologues grâce au croisement d'informations de la base permanente des équipements et

du recensement de l'INSEE).

Les coefficients de corrélation linéaire de Pearson sont calculés, pour chaque catégorie d'entités spatiales envisagée (par niveau géographique, par type d'espace, par taille de ville), par espace d'étude, pour les indicateurs de santé et de contexte pris deux à deux. Puis, un test de significativité est opéré. L'objectif est d'évaluer si leurs géographies sont liées (configurations spatiales similaires ou bien opposées) ou indépendantes. La confrontation des résultats du Nord et de l'Ouest vise à mieux saisir les relations – des plus générales aux plus particulières (Durand-Dastès, 1992) – entre contexte et niveau de santé, en ayant à l'esprit qu'une corrélation significative entre deux indicateurs révèle une cooccurrence spatiale sans établir de lien de causalité.

Principaux résultats

Trois niveaux géographiques où se manifestent les dimensions susceptibles d'interagir avec le niveau de santé sont considérés (fig. 1). Au niveau local, les caractéristiques agrégées des populations et celles de l'espace interférant avec la santé sont de type démo-socioéconomique (niveau de diplôme...), environnemental (qualité de l'air...), morphologique et fonctionnel (offre de soins...). Au niveau des villes, les caractéristiques propres à ces entités s'ajoutent aux caractéristiques agrégées des populations. Le niveau régional comporte, outre les caractéristiques agrégées des populations, des caractéristiques environnementales propres à ce niveau. Entre ces dimensions collectives, des interactions se produisent : au sein d'une même entité spatiale (« contexte interne »), mais aussi entre des entités spatiales proches inscrites dans un même niveau d'organisation (« contexte horizontal ») et entre des entités spatiales appartenant à différents niveaux d'organisation reliées par un jeu d'emboîtement (« contexte vertical »).

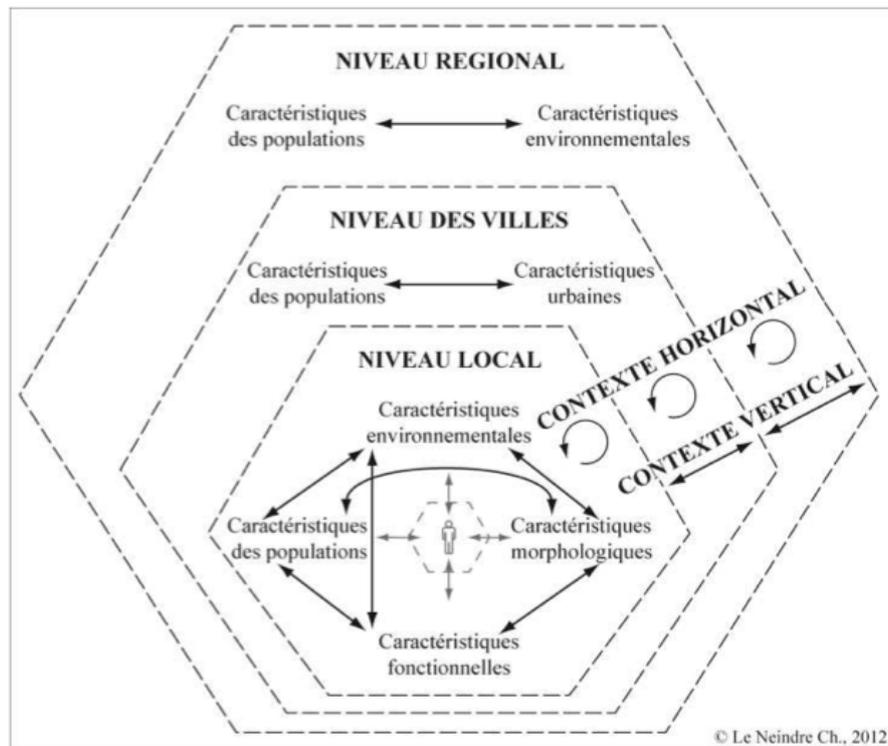


FIGURE 1 : Système de relations contexte / niveau de santé

Les relations entre contexte et niveau de santé se déclinent en trois types.

La relation dite « générale » apparaît à l'identique quels que soient les ensembles d'entités spatiales observés. Cela signifie que la relation statistique est toujours significative et strictement positive ou négative. A ? titre illustratif, citons l'association récurrente au niveau local pour les espaces de type urbain central entre une forte proportion de non diplômés et une représentation des hospitalisations pour les motifs étudiés plus importante que la moyenne nationale. La relation est qualifiée de « particulière » lorsqu'elle se manifeste pour un seul ensemble d'entités spatiales. Positive ou négative, la relation n'est statistiquement significative que dans des circonstances bien définies. Par exemple, la corrélation observée pour les grandes aires urbaines entre les hospitalisations des femmes pour cardiopathies ischémiques et la densité de cardiologues libéraux est uniquement signifi-

cative (et positive) dans l'Ouest. Curieusement, la même corrélation observée pour les hommes apparaît, cette fois-ci, exclusivement significative (et positive) dans le Nord.

Enfin, la relation est appelée « discordante » si, bien que toujours significative au plan statistique, elle se traduit tantôt positivement, tantôt négativement d'un ensemble d'entités spatiales à un autre. À l'instar du sens de l'association significative au niveau des zones géographiques PMSI entre le niveau d'hospitalisation pour chaque sexe pour BPCO et les concentrations moyennes annuelles en O₃ qui s'inverse entre le Nord (où elle est négative) et l'Ouest (où elle est positive).

Cette communication propose avant tout une méthodologie reproductible que nous souhaitons porteuse de perspectives. En effet, d'autres relations entre contexte et niveau de santé restent à dévoiler.

Références

- Allain Y.-M., Roche N. et Huchon G., 2010, « Pollution atmosphérique, facteur de risque des BPCO ? », *Revue des Maladies Respiratoires*, vol. 27, n°4, pp. 349-363
- Durand-Dastès F., 1992, « Le particulier et le général en géographie », in : Audigier F. et Baillat G. (dir.), *Analyser et gérer les situations d'enseignement-apprentissage*, Paris : Institut national de recherche pédagogique, Actes du sixième colloque « Didactiques de l'histoire, de la géographie et des sciences sociales » (13-14-15 mars 1991), pp. 311-314
- Larrieu S., Jusot J.-F., Blanchard M., Prouvost H., Declercq C., Fabre P., Pascal L., Le Tertre A., Wagner V., Rivière S., Chardon B., Borrelli D., Cassadou S., Eilstein D. et Lefranc A., 2007, "Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities : The PSAS program", *Science of the Total Environment*, vol. 387, n°1-3, pp. 105-112
- Pascal L., Blanchard M., Fabre P., Larrieu S., Borelli D., Host S., Chardon B., Chatignoux E., Prouvost H., Jusot J.-F., Wagner V., Declercq C., Medina S. et Lefranc A., 2009, « Liens à court terme entre la mortalité et les admissions à l'hôpital et les niveaux de pollution atmosphérique dans neuf villes françaises », *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire*, n°5, pp. 41-44
- Pascal L., Delmas M.-C. et Fuhrman C., 2007, *Hospitalisations pour asthme en France métropolitaine, 1998-2002. Évaluation à partir des données du PMSI*, Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, 57 p.
- Salem G., Rican S. et Jouglé É., 2000, *Atlas de la santé en France. Volume 1 – Les causes de décès*, Montrouge : John Libbey Eurotext, coll. MiRe, 189 p.
- Salem G., Rican S. et Kürzinger M.-L., 2006, *Atlas de la santé en France. Volume 2 – Comportements et maladies*, Montrouge : John Libbey Eurotext, 222 p.
- Trugeon A., Thomas N., Michelot F. et Lémery B., 2010, *Inégalités socio-sanitaires en France. De la région au canton*, 2e édition, Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, coll. Abrégés, 280 p.

Optimisation de la localisation des moyens de secours à personne : utilisation des algorithmes de localisation-allocation du module Network Analyst d'ArcGIS

Dorian Souliès

Mots-clefs - Recherche appliquée, Secours à personne, Network Analyst, Modèle de localisation-allocation.

contexte et objectif

Le secours à personne (SAP) est avant tout un terme utilisé par les professionnels des services de secours pour désigner les interventions qu'ils réalisent pour secourir en urgence, toute personne victime d'un malaise ou d'un accident de la vie quotidienne (accident domestique, accident du travail, de la circulation, etc.). Ces interventions sont les plus fréquentes. Elles ont par exemple représenté plus de 70% de l'activité totale des sapeurs-pompiers en France en 2011, soit 3 082 400 interventions.

Leur nombre est en constante augmentation, en moyenne 4,98% chaque année sur la période 2004-2011¹. Les moyens dont disposent les services devant répondre à ces situations d'urgence quant à eux ne sont pas en augmentation, voire même en baisse, et ce pour plusieurs raisons : crise du volontariat, fermeture des centres communaux de première intervention, baisse de la démographie médicale, etc.

Dans ce contexte les tensions entre l'offre et la demande en secours à personne tendent à augmenter. Cela se traduit, pour partie, par un allongement des délais d'intervention et plus particulièrement du délai de transit des moyens, c'est-à-dire le temps que mettent les différents vecteurs opérationnels pour se rendre sur les lieux de l'intervention. Pour limiter l'augmentation de ce délai, les services de secours ne peuvent qu'influer sur le niveau de l'offre et plus particulièrement sur la distance qui sépare les moyens des victimes potentielles. La solution pour diminuer cette distance réside

dans l'optimisation spatio-temporelle de la localisation des moyens existants.

En matière de recherche d'optimisation de localisations multiples, ce sont les modèles de localisation-allocation qui se prêtent le mieux. Ce sont des modèles développés sur la base d'algorithmes reposant sur un graphe routier sur lequel on dispose des points correspondant à la demande en secours et à partir desquels on cherche à placer des points correspondant à l'offre de secours. Le réel essor de ces modèles eut lieu dans les années 70 aux Etats-Unis. Certains sont spécifiques au problème de localisation des moyens de secours à personne. Il s'agit de la famille des modèles dits de « couverture » ou de « recouvrement ». L'objectif de ces modèles est de faire en sorte que les points d'offre couvrent un maximum de points de demande dans les délais impartis. De nombreuses évolutions de ces deux algorithmes ont été développées à travers le monde pour se rapprocher toujours plus des contraintes spécifiques des services de secours. Ainsi certains tiennent compte de la disponibilité des intervenants. Plusieurs tiennent compte de l'incertitude liée au temps que vont mettre les moyens pour se rendre sur les lieux de l'intervention. D'autres plus performants encore optimisent la localisation de vecteurs de différents types, les uns en fonction des autres. Enfin, certains permettent de recomposer la couverture des moyens restants pendant que les autres sont sur le trajet de l'hôpital.

Une enquête réalisée auprès des personnes en charge de la planification des moyens

1. Ministère de l'intérieur.

au sein des services de secours a permis de nous rendre compte que dans la pratique ils n'utilisaient pas ces modèles alors qu'ils existent et qu'ils ont fait leur preuve. Sauf initiative personnelle qui aurait pu échapper à notre enquête, la planification des moyens est généralement menée à partir d'analyses statistiques descriptives de l'activité opérationnelle des années précédentes, à l'échelle communale, couplées à l'analyse de la couverture de l'offre existante mise en évidence par l'intermédiaire de cartes en isochrones. La confrontation de ces résultats avec les remontées d'informations du terrain permet déjà d'obtenir de bons résultats.

C'est le décalage entre les méthodes utilisées par les services de secours français et les méthodes en réalité disponibles dans le monde scientifique qui nous pose question et auquel nous cherchons à apporter une réponse. Une des solutions repose selon nous sur les outils disponibles pour utiliser ces modèles de localisation-allocation. En effet, la totalité des modèles mentionnés ci-dessus sont développés à l'aide d'outils spécifiquement créés pour les besoins de la recherche, par les chercheurs eux-mêmes. La plupart ne sont pas transposables et de toute façon pas disponibles. Ceux qui le sont, sont limités en capacité comme le logiciel SITUATION de Mark S. Daskin limité à 300 points d'offre et/ou de demande. Il existe pourtant des logiciels commerciaux qui permettent de traiter les modèles de localisation-allocation. Outre Fire/EMS ADAM, un logiciel commercialisé aux Etats-Unis, ArcGIS dans son module Network Analyst propose depuis la version 10 des algorithmes de localisation-allocation. Nous faisons l'hypothèse que cet outil est l'une des solutions pour que les services de secours français s'approprient réellement ces méthodes, d'autant plus qu'ils utilisent déjà par ailleurs très bien les systèmes d'informations géographiques comme ArcGIS. Alors qu'en est-il ? Que prennent en compte ces algorithmes et que permettent-ils vraiment de réaliser ? C'est à ces questions que nous allons tenter de répondre.

Méthode

La méthode repose sur l'application de l'un des algorithmes de localisation-allocation de Network-Analyst exactement dans les mêmes conditions que les services de secours pourraient être amenés à le faire et ce afin d'identifier les contraintes et potentialités d'un tel outil. L'algorithme en question, « optimiser la couverture », est une légère évolution du modèle de localisation à couverture maximale développé par Church et Reville en 1974. La fonction « objectif » de cet algorithme permet de prendre en compte tous les paramètres suivants :

- Le nombre et la localisation des points de demande ;
- Les délais dans lesquels ils doivent être desservis. Ils peuvent être identiques pour l'ensemble des points de demande ou différenciés ;
- Le poids que représente chaque point de demande, en nombre d'interventions par exemple ;
- Le nombre et la localisation des moyens déjà existants ;
- Le nombre de nouveaux moyens à localiser ;
- Le graphe routier, c'est à dire le temps en minute qui sépare l'ensemble des points d'offre et de demande.

Le modèle est appliqué au cas du secours à personne dans les Alpes-Maritimes. Les données concernant la demande sont issues de l'activité opérationnelle réalisée par l'ensemble des services en charge du SAP dans le département, les 6 dernières années. Les données concernant l'offre correspondent aux moyens dont disposent les différents services pour répondre à la demande (ambulances, véhicule médecin, etc.).

Résultats

Différentes solutions optimales peuvent ainsi être proposées, suivant que l'on remette en question la localisation de l'ensemble des vecteurs d'intervention, seulement certains d'entre eux, indépendamment ou non pour chaque service, à différents pas de temps, etc. Autant de scénarios

qui peuvent aider les personnes en charge de la planification de l'offre en secours à réfléchir à l'optimisation de l'organisation de leurs moyens.

Cet outil n'est pas le plus complet des modèles proposés dans la littérature scientifique. Certains paramètres comme la prise en compte de la disponibilité des intervenants font vraiment défaut et apporteraient une véritable valeur ajoutée au logiciel. Cependant, il a le mérite d'être proposé dans une solution SIG déjà commercialisée, ac-

cessible aux services de secours, et dont ils savent déjà se servir. De plus, en jouant sur les différents paramètres et échelles spatio-temporelles de représentation des données, ce modèle permet d'obtenir des résultats fiables, très proches des contraintes réelles que rencontrent les services de secours. Il n'est pas limité en capacité et a en outre les avantages propres à toutes les solutions commerciales : la convivialité, la simplicité d'utilisation, l'assistance et ne nécessite pas de savoir programmer.

Références

- BROTCORNE L., LAPORTE G. & SEMET F. (2003). Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, (147), 451-463.
- CHEVALIER P., THOMAS I., GERAETS D., GOETGHEBEUR E., JANSSENS O., PEETERS D., PLASTRIA F. (2012). Locating fire station : An integrated approach for Belgium. *Socio-Economic Planning Science*. 46, 173-182.
- CHURCH R.L. & REVELLE Charles (1974). The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*. (32), p.101-118.
- ERKUT E. et al. (2009). Computational Comparison of Five Maximal Covering Models for Locating Ambulances. *Geographical Analysis*, 41, 43-65.
- GOLDBERG J.B. (2004). Operations Research Model for the Deployment of Emergency Services Vehicles. *EMS Management Journal*, 1(1), 20-39.
- HILSMAN E. (1984). The P-median structure as a unified linear model for location allocation analysis. *Environ. and Plann. A*, 16 : 305-318.
- HOGAN K. & REVELLE Charles (1986). Concepts and applications of backup coverage. *Management Science*, 34, 1434-1444.
- LARSON R.C. (1974). A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services. *Computers & Operations Research*, 1, 67-95.
- Référentiel commun (2008). Organisation du secours à personne et de l'aide médicale urgente. 68 p.
- SILVA F. & SERRA D. (2002). Locating emergency Services With Priority Rules : The Priority Queuing Covering Location Problem. *Working papers series*, 22 p.
- TOREGAS C. et al. (1971). The location of emergency Service Facilities. *Operations research*, 19(6), 1363-1373.

Le paludisme à Dakar, un puzzle urbain : l'espace du social, de l'économique, et de l'écologique

Marion Borderon¹, Sébastien Oliveau², Richard Lalou³

¹UMR 7300 ESPACE
Aix Marseille Université
marion.borderon@univ-amu.fr

²UMR 7300 ESPACE
Aix Marseille Université
sebastien.oliveau@univ-amu.fr

³UMR 151 LPED, IRD
Aix Marseille Université
richard.lalou@univ-amu.fr

contexte et objectif de la recherche

Les derniers chiffres officiels sur la mortalité et la morbidité imputés au paludisme au Sénégal ont fait du pays un candidat potentiel pour la phase de pré-élimination de cette maladie (RBM; 2010). Pourtant, de nombreuses interrogations persistent à l'échelle infra-nationale, notamment aux abords de la capitale. La complexité du paludisme en milieu urbain et les obstacles qui se dressent sur les possibilités d'apprécier des données de qualité quant à l'incidence et la prévalence de la maladie compromettent le contrôle systématique de tous les cas de paludisme dans l'agglomération. Sans être pessimiste, la prudence devrait être nécessaire. Une étude transversale menée en 2008, présente des zones où le taux de prévalence est au-dessus de 5% (la moyenne sur l'agglomération avoisine 2%), seuil notoire nécessaire à la phase de pré-élimination selon les critères OMS (Diallo et al; 2012). La transmission est donc certes faible en moyenne, mais des foyers hyper localisés persistent et entretiennent un risque de développement épidémique lors de la transmission saisonnière maximum (l'hivernage). La présence du vecteur, l'Anophèle, responsable de la piqûre infectant l'homme est également prouvée à Dakar. Les zones de trans-

mission potentielles sont elles aussi distribuées de manière très hétérogène dans l'espace dakarais (Machault et al.; 2009).

Prenant alors en compte cette complexité d'un milieu urbain dense, hétérogène et ouvert sur l'extérieur, il s'agit d'élaborer un modèle permettant de localiser ces zones vulnérables, résultat d'une association entre des espaces pathogènes (paysages favorables au développement de l'Anophèle) et des populations à risque (population ayant des "capabilités"¹ limitées et un comportement qui ne s'adapte pas (ou mal) à l'exposition subie). Les autorités et acteurs de la santé publique sur le territoire pourront alors cibler leurs actions selon le profil de ces sous espaces urbains et tenir compte des différenciations spatiales. Cet objectif correspond bien aux volontés définies dans le protocole de Hyogo, visant à créer des programmes spécifiques, notamment pour les personnes vulnérables. Le milieu urbain crée un puzzle mettant côte à côte des pièces neutres avec des territoires exposés.

Données disponibles

Une des caractéristiques dominantes des pays les moins développés est la difficulté à disposer de données statistiques de

1. Selon le terme employé par A. Sen, 1983.

bonne qualité sur la population, et plus encore si l'on souhaite que cette information soit spatialisée. Néanmoins, il existe çà et là des sources qui peuvent être exploitées et ouvrent de nouveaux horizons à la recherche. Le Sénégal n'échappe pas à cette règle, et travailler sur l'agglomération dakaroise nécessite donc quelques efforts méthodologiques si l'on veut s'extraire de l'étude fragmentée de quelques quartiers. Les recensements sont, dans ce cadre, des ressources souvent utiles. De surcroît, les données issues de l'imagerie satellite sont de plus en plus aisément disponibles à des résolutions spectrales, spatiales et temporelles pouvant satisfaire aux besoins d'études dans de nombreux domaines.

Les déterminants du risque de transmission sont ici étudiés à la lumière des données régionales provenant du dernier recensement (ANSD ; 2006). Extraites de l'imagerie satellite, des variables qualifiant l'environnement urbain dakarois complète la base de données. Enfin, des enquêtes transversales sur la thématique de la santé, particulièrement axés sur le paludisme enrichissent les données disponibles. Afin d'obtenir des données individuelles sur le comportement et la situation socio-économique des ménages, l'enquête population, réalisée par questionnaire dans le cadre du programme ANR ActuPalu a été utilisée. En parallèle de cette enquête, deux personnes de chaque ménage enquêté ont fait l'objet d'un test de diagnostic parasitaire (test de goutte épaisse), réalisé par prélèvement sanguin (voir le rapport ActuPalu).

Des espaces pathogènes à la vulnérabilité socio-économique... modéliser le risque palustre

L'analyse des deux enquêtes transversales ont permis de souligner en partie les variables impliquées dans la prévalence palustre dans l'agglomération dakaroise. Les conditions de vie des populations, c'est-à-dire leurs ressources tant sociales qu'économiques sont, lorsqu'elles sont faibles, responsables d'une prévalence

palustre élevée (Borderon ; 2011). Cela est surtout valable lorsque cette situation est spatialement associée à une exposition estimée aux vecteurs, l'Anophèle. Ces « paysages pathogènes » sont modélisés de manière empirique par variables environnementales extraites d'images satellites et données entomologiques issues de la littérature. Ces considérations et la cartographie du taux de prévalence permettent donc de comprendre et d'analyser avec plus de détails l'hétérogénéité du risque palustre dans l'agglomération dakaroise. Forte de plus de 2,5 millions d'habitants en 2002, la diversité de ces paysages urbains, tant d'un point de vue social, économique qu'écologique font de cet espace, une association complexe de sous espaces urbains aux caractéristiques variées. Agrégées en petites unités homogènes que constituent les districts de recensement (DR), l'analyse de variables d'intérêt liés au risque d'infection palustre va alors permettre de cartographier les foyers les plus sensibles à une flambée épidémique palustre lorsque le risque d'infection est le plus fort, soit lors de l'hivernage.

L'enjeu méthodologique est double. Défini par la multiplication d'un aléa avec une vulnérabilité, le risque au paludisme doit donc comprendre ces deux dimensions. L'analyse de l'aléa, soit dans le cas du paludisme, la présence et la densité de la faune anophélienne, sont largement documentées (notamment Galiaga et al. ; 2012). Concernant la zone d'étude, un résultat marquant résulte de travaux menés très récemment sur la cartographie de l'aléa à l'échelle de l'agglomération de Dakar (Machault et al. ; 2010).

En revanche, la réflexion et l'analyse de la vulnérabilité palustre pose de plus grandes questions. La vulnérabilité se définit par l'absence ou la faiblesse de réaction et/ou de capacité de protection d'une population face à un aléa (entre autres : Cutter ; 1996 et Birkmann ; 2006). C'est un état relatif, l'on est vulnérable « à ». Or, de manière générale nous avons vu que les ménages les plus démunis au sens économique et social, soit ayant par exemple des ressources limitées et un bas niveau d'études,

ont une capacité moindre à se prémunir de l'infection. Ainsi ce qu'on nomme la vulnérabilité sociale est un bon indicateur pour estimer l'exposition à l'aléa. Cependant la vulnérabilité « au » paludisme ne se résume pas qu'à cela et comprend une dimension plus intrinsèque à la nature de l'aléa. Le risque épidémiologique dans le cas de l'infection palustre agit en outre à un second niveau d'analyse, celui de l'individu. Le comportement de ce dernier influence grandement l'exposition aux piqûres d'anophèles et par la même la diffusion parasitaire des hommes aux vecteurs et vice versa. L'utilisation de moyens préventifs ou curatifs (prise médicamenteuse, utilisation de Moustiquaires Imprégnées d'Insecticides Longue Durée (MIILD),...) ou encore la mobilité des personnes interviennent durablement sur leur vulnérabilité à cette maladie.

Ainsi, il faut pour la réalisation d'un modèle de vulnérabilité, prendre en compte ce double niveau d'intervention à l'échelle de l'agglomération. Une fois ce modèle construit, son interaction avec le modèle Aléa, déjà disponible, permettra de dresser

une cartographie du risque palustre estimé à l'échelle de l'agglomération de Dakar.

Résultats attendus et perspectives

Une première cartographie du modèle final a déjà été dressée. Elle comprend l'interaction entre la vulnérabilité sociale et le risque d'exposition (aléa) modulé par une troisième dimension qui intervient dans le risque de piqûre, soit la densité nette² de population. Cependant, deux éléments sont en train d'être améliorés afin d'obtenir le modèle final voulu. Il n'est pris en compte ici qu'une « sous partie » de la vulnérabilité au paludisme. Il nous faut, à l'aide des données d'enquêtes, compléter l'indice de vulnérabilité sociale avec les variables comportementales, comme cela est souligné précédemment. De surcroît l'estimation de l'aléa, nommé ici distance aux gîtes, n'est qu'un proxy d'un indice beaucoup plus complet à présent disponible. La cartographie finale émergera donc de la fusion du modèle vulnérabilité complet et de ce modèle aléa dont la construction sera bientôt disponible dans la littérature.

Références

Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (2006). *Rapport National de présentation*, Résultats du troisième recensement général de la population et de l'habitat -2002, ANSD.

Birkmann, Jörn (2006). *Measuring Vulnerability to Promote Disaster-Resilient Societies : Conceptual Frameworks and Definitions*, in : Birkmann, Jörn, ed. *Measuring Vulnerability to Natural Hazards - Towards Disaster Resilient Societies*, Tokyo, New York, Paris ; United Nations University Press : 9-54.

Cutter, Susan L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography* 20 (4) :529-539.

Borderon Marion (2011). "Modelling the malaria-infection in Dakar, Senegal ; from urban ecology to social geography", EC-QTG 2011, Athenes, 2-5 Septembre 2011.

Diallo, Abdoulaye, and others (2012). Asymptomatic Carriage of Plasmodium in Urban Dakar : The Risk of Malaria Should Not Be Underestimated. *PLoS ONE* 7(2) : e31100. doi :10.1371/journal.pone.0031100.

Gadiaga, Libasse, and others (2011). Conditions of malaria transmission in Dakar from 2007 to 2010. *Malaria Journal*, 10 : 312.

Machault, Vanessa, and others (2009). Highly focused anopheline breeding sites and malaria transmission in Dakar. *Malaria Journal*, 8 :138.

2. Nous avons pris en compte ici la densité nette, c'est-à-dire la densité rapportée uniquement aux pixels de zones bâties « habitées ».

Machault, Vanessa, and others (2010). Spatial heterogeneity and temporal evolution of malaria transmission risk in Dakar, Senegal, according to remotely sensed environmental data, *Malaria Journal*, n°9 :252.

Roll Back Malaria (2010). Focus sur le Sénégal, le Progrès et Impact Se-

ries, World Health Organization, 52p, [http ://www.rbm.who.int/ProgressImpact Series/docs/report4-en.pdf](http://www.rbm.who.int/ProgressImpactSeries/docs/report4-en.pdf).

Sen, Armatya (1983). Poor, Relatively Speaking. *Oxford Economic Papers*, New Series, Vol. 35, n°2, pp. 153- 169.

Mobilités actives et santé en milieu urbain : étude-pilote multi-capteurs (Projet ACTI- Cités)

Renaud Misslin¹, Thomas Bastian^{2,3}, Aurélie Maire^{2,3}, Chantal Simon^{2,3}, Christiane Weber⁴, Christophe Enaux⁴, Stéphane Blanc⁵, Yan Ropert-Coudert⁵, Akiko Kato⁵, Jean-Michel Oppert^{6,7}, Hélène Charreire^{1,6}

¹ Département de géographie
Université Paris Est-Créteil
Lab-Urba
Institut d'urbanisme de Paris, Créteil, France.

² CARMEN, INSERM U1060
Université de Lyon 1
INRA U1235 Lyon, France.

³ Centre de Recherches en Nutrition Humaine Rhône-Alpes
Hôpitaux civils de Lyon
Lyon, France,

⁴ Laboratoire Image, Ville et Environnement
Département de Géographie
Université de Strasbourg, Strasbourg, France,

⁵ Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien
CNRS, Strasbourg, France,

⁶ UREN INSERM U557
INRA U1125
Cnam
Université Paris 13, CRNH Ile-de-France, Bobigny, France,

⁷ Université Paris 6
Nutrition Pitié-Salpêtrière/UPMC-Paris 6
CRNH Ile-de-France, France.

Mots-clefs - Mobilités actives, environnement urbain, multi-capteurs, SIG

contexte et objectif

Les pathologies chroniques (ou non transmissibles) - maladies cardio-vasculaires, cancers - sont la première cause de mortalité dans le monde. Les comportements alimentaires et d'activité physique font partie des facteurs de risque de certaines de ces pathologies (OMS 2008). Un enjeu important de santé publique porte donc sur l'augmentation de la pratique quotidienne d'activité physique au sein de la population. La promotion des transports actifs (marche, vélo) - un levier majeur pour parvenir à

ce but - est devenue une des priorités des campagnes de promotion de l'activité physique (Boone-Heinonen 2009).

L'activité physique représente un comportement multidimensionnel complexe relevant d'une combinaison de déterminants individuels et environnementaux (Booth 2001, Pikora 2003). Parmi les déterminants environnementaux, l'accent est mis sur le rôle potentiel des caractéristiques de l'environnement bâti (espaces construits, réseaux de transport, mode d'occupation des sols, espaces verts urbains...), en interaction avec les éléments de l'environnement so-

cial dans lequel évolue l'individu. Ces composantes de l'environnement peuvent faciliter ou, au contraire, limiter un mode de vie actif. Ainsi, l'utilisation de modes de transport actif (marche, vélo) peut dépendre de facteurs aussi variés que l'urbanisation, l'occupation des sols, les aménagements urbains ou encore la densité des destinations (Owen 2004). Mieux comprendre les relations entre les caractéristiques de l'environnement physique et les pratiques de mobilités actives pourrait fournir des éléments d'aide à la décision pour la mise en place d'interventions à l'échelle des individus (par exemple interventions sur l'activité physique et le transport actif) et/ou de leur environnement (équipements, services, systèmes de transport...).

Dans la littérature internationale, les mesures d'activité physique dans les différents contextes de réalisation (loisirs, travail et déplacement) sont principalement basées sur des données déclaratives (questionnaires, entretiens). Cependant, ces outils ne permettent pas de recueillir des informations précises et détaillées sur les lieux de pratique de ces mobilités actives. Un des enjeux actuels de la recherche dans ce domaine est donc de mesurer de manière objective et plus détaillée les pratiques de la marche et du vélo et, simultanément, les lieux où sont pratiquées ces activités. Afin de répondre à ces enjeux, il est nécessaire de développer et de tester de nouvelles méthodes de mesure. Les développements technologiques récents permettent de disposer de capteurs de mouvement portables (ex. accéléromètres) mesurant l'intensité de l'activité physique habituelle à haute fréquence et sur plusieurs jours.

Dans le but de développer des approches innovantes visant à mieux comprendre comment les caractéristiques de l'environnement urbain influencent les mobilités actives, un projet de recherche multidisciplinaire a été créé, associant médecins, épidémiologistes et géographes (projet ACTI-Cités). L'un des objectifs de ce projet est de mesurer les mobilités actives en testant – dans une étude pilote – des méthodes combinant des données issues de

capteur GPS et d'accéléromètres (Oliver 2010; Kerr 2011). Cette communication présente l'étude pilote au travers de la méthodologie mise en œuvre pour recueillir des données issues de relevés multi-capteurs (faisabilité, limites) et les principaux résultats issus du traitement de ces données.

Méthode

L'étude pilote a été menée à Paris et à Strasbourg entre avril et mai 2012. Dans ces deux villes, 14 sujets ont reçu un « kit de mobilité » comprenant : un GPS (Qstarz BT Q1000eXTM), un accéléromètre tri-axial (Actigraph GT3X+TM), un dictaphone et un carnet d'activité. Chaque sujet a porté, à la ceinture, les deux appareils (GPS et accéléromètre) pendant 7 jours consécutifs en conditions de vie habituelle. Une étude préliminaire, basée sur des parcours urbains standardisés, a été menée à Lyon pour valider les deux appareils de mesure (Bastian, 2012). Le carnet d'activité a été utilisé par le sujet pour indiquer, tout au long de la journée, les lieux de départ et d'arrivée de chaque déplacement ainsi que les horaires et le(s) mode(s) de transport associés. Chaque soir, les sujets étaient invités à retranscrire les informations de leurs cahiers d'activité sur un site internet dédié à l'étude. A partir d'un outil développé et proposé sur ce site, les sujets ont également dessiné les limites de leur quartier perçu. Dans un dernier temps et uniquement durant 1 journée de la semaine, les sujets ont enregistré au fil de la journée et à l'aide du dictaphone, des informations en temps réel concernant leurs déplacements (mode de transport, choix du mode de transport, impression d'ensemble au cours du déplacement). A la fin de la semaine de recueil, un entretien de « débriefing » a été réalisé avec chaque sujet par les investigateurs.

Le GPS enregistre les coordonnées (longitude, latitude, altitude) ainsi que la vitesse de déplacement du sujet. L'accéléromètre mesure les changements d'accélération selon 3 axes orthogonaux (x, y, z ; proches des

axes antéro-postérieur, dorso-ventral, et latéral du sujet). L'acquisition des données d'accélérométrie se fait à une fréquence définie par l'utilisateur (ici 10Hz, c'est-à-dire 10 intégrations par seconde). Les données enregistrées ont ensuite été intégrées sur le temps et converties via ActiLife® en « nombre de coups par minute » sur chaque axe.

Les données recueillies par le GPS et l'accéléromètre ont été traitées à l'aide du logiciel PALMS® (Université de San Diego, Californie) permettant de combiner les données issues des deux capteurs, de subdiviser l'enregistrement GPS en trajets successifs et d'inférer automatiquement le mode de déplacement utilisé pour chacun de ces trajets. Cet algorithme permet d'attribuer à chaque point relevé par le GPS l'intensité de l'activité physique qui lui est associé, le numéro du trajet auquel il appartient et le mode de transport associé à ce trajet. Les données déclaratives recueillies grâce aux carnets d'activité ont été ensuite comparées aux données mesurées par les GPS. Cette étape de l'analyse a notamment permis de comparer les horaires de départ et d'arrivée et les modes de transport mesurés et déclarés.

Une dernière étape a consisté à intégrer les données dans un SIG afin de combiner la localisation des mobilités actives et certaines caractéristiques des environnements

urbains (zones 30, « rues partagées », pistes cyclables, arrêts de bus, etc).

Résultats

La combinaison des données issues des GPS et des accéléromètres a permis de recueillir environ 115 000 points et 30 déplacements par sujet (durant 1 semaine de recueil). Parmi ces déplacements, ceux réalisés en transport actif représentent en moyenne 1/4 de l'activité physique total réalisée au cours d'une semaine.

Les comparaisons des horaires déclarés par les sujets dans le carnet d'activité et des horaires mesurés par les capteurs sont concordantes entre les deux méthodes. Ces résultats sont similaires dans la ville de Paris et dans celle de Strasbourg. Lors des entretiens de fin de recueil, il est apparu que le mode de recueil des déplacements par GPS est perçu par les sujets comme moins contraignant que le mode de déclaration quotidien et systématique dans un carnet d'activité. Un exemple d'intégration des données dans un SIG a été développé sur la commune d'Eckbolsheim (67), en collaboration avec les services de la mairie de la ville, et sera présenté lors de la communication. Les principales limites liées à l'utilisation de ces multi-capteurs et aux traitements des données qui en sont issues seront également décrites et commentées.

Références

- OMS (2008). *Plan d'action 2008-2013 pour la stratégie mondiale de lutte contre les maladies non transmissibles*. Organisation Mondiale de la Santé.
- Boone-Heinonen J., Evenson KR., Taber DR., Gordon-Larsen P. (2009). *Walking for prevention of cardiovascular disease in men and women : a systematic review of observational studies*. *Obes Rev* 10 (2) : 204-217.
- 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.
- 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.
- Owen N., Humpel N., Leslie E, Bauman A., Sallis JF. (2004). *Understanding environmental influences on walking ; Review and research agenda*. *Am J Prev Med* 27 (1) : 67-76

Oliver M., Badland H., Maova S., Duncan MJ., Duncan S. (2010). *Combining GPS, GIS, and accelerometry : Methodological issues in the assessment of location and intensity of travel behaviors*. J Phys Act Health 7 : 102-108.

Kerr J., Duncan S., Schipperijn, J. (2011). *Using Global Positioning Systems in health research : A practical approach to data collection and processing*. Am J Prev Med

41(5) : 532-540.

Bastian T, Maire A., Misslin R., Oppert JM., Enaud C., Kato A., Lefai E., Charreire H., Blanc S., Weber C., Ropert-Coudert Y., Simon C. *Mesure objective de l'activité physique liée aux déplacements quotidiens : l'intérêt de l'utilisation couplée d'un GPS et d'un accéléromètre*. Poster présenté aux Journées Francophones de la Nutrition, 12-14 décembre 2012, Lyon.

Financements : Ce travail est réalisé dans le cadre du Projet ACTI-Cités financé par l'INCa (Programme Sciences Humaines Sociales-Epidémiologie Santé Publique, 2011-1-P-SHS-10). Une partie de ce travail a également été soutenue par la Fondation Le Roch.