

Vers des Modèles Couplant Développement Urbain et Croissance des Réseaux de Transport

Synthèse de mi-thèse

JUSTE RAIMBAULT

Novembre 2016

Du positionnement général *L'ambition de cette thèse est de ne pas avoir d'ambition.* Cette entrée en matière, rude en apparence, contient à différents niveaux les logiques sous-jacentes à notre processus de recherche. Au sens propre, nous nous plaçons tant que possible dans une démarche constructive et exploratoire, autant sur les plans théoriques et méthodologiques que thématique, mais encore proto-méthodologique (outils appliquant la méthode) : si des ambitions unidimensionnelles ou intégrées devaient émerger, elles seraient conditionnées par l'arbitraire choix d'un échantillon temporel parmi la continuité de la dynamique qui structure tout projet de recherche. Au sens structurel, l'auto-référence qui soulève une contradiction apparente met en exergue l'aspect central de la réflexivité dans notre démarche constructive, autant au sens de la récursivité des appareils théoriques, de celui de l'application des outils et méthodes développés au travail lui-même ou que de celui de la co-construction des différentes approches et des différents axes thématiques. Le processus de production de connaissance pourra ainsi être lu comme une métaphore des processus étudiés. Enfin, sur un plan plus enclin à l'interprétation, cela suggérera la volonté d'une position délicate liant un positionnement politique dont la nécessité est intrinsèque aux sciences humaines (par exemple ici contre l'application technocratique des modèles, ou pour le développement d'outils luttant pour une science ouverte) à une rigueur d'objectivité plus propre aux autres champs abordés, position forçant à une prudence accrue.

Des objectifs scientifiques *L'objectif d'une variété.* Un objectif est différent d'une ambition, et ceux-ci sont ainsi pour nous clairement fixés sur différents aspects et à différents niveaux. L'objectif principal du point de vue du géographe est d'enrichir l'état de la connaissance sur les processus co-évolutifs entre territoires et réseaux (la définition de ces termes et l'appareil théorique associé faisant parties intégrantes des sous-objectifs), par l'entrée particulière des réseaux de transports et dans une perspective axée premièrement sur la modélisation. Les aspects géographiques peuvent se décliner en sous-objectifs sur des plans variés :

1. Etablir par une étude d'épistémologie qualitative et quantitative le paysage scientifique associé à notre objectif principal, notamment sa diversité lié aux disciplines variées y étant associées.
2. Extraire des faits stylisés empiriques sur les processus liant territoires et réseaux, à différentes échelles temporelles et spatiales et sur différents cas d'étude.
3. Construire des modèles de croissance urbaine et/ou de croissance des réseaux, pouvant aller du modèle jouet au modèle semi-paramétrisé, dans le but d'être soit des outils exploratoires soit des briques élémentaires d'une famille de modèles de co-évolution des réseaux et des territoires.

4. Par émergence issue de l'interaction des objectifs précédents, élaborer une théorie géographique des *systèmes territoriaux réticulaires co-évolutifs*.

Des objectifs dont les aspects pouvant être classifiés à dominante plutôt méthodologique ou proto-méthodologique (même s'il est clair que dans la pratique l'ensemble des objectifs est complémentaire et entrelacé de manière *complexe*) viennent ensuite s'ajouter :

5. Exercices de style sur différentes questions horizontales fondamentales à l'étude des systèmes complexes, liés de près ou de loin au sujet thématique, dans le but d'un apport méthodologique.
6. Développement d'outils (libres et ouverts) et de techniques, que ce soit au niveau de problèmes précis ou au niveau de l'organisation générale du travail de recherche.

Enfin, l'articulation de ces différents objectifs devrait servir un objectif plus large :

7. Construction d'un programme de recherche par la mise en évidence et en cohérence de grands axes structurants restant à explorer pour l'étude des systèmes territoriaux complexes.

Du contenu courant *L'auto-organisation prend souvent l'architecture de court.* Une grande partie du travail résumé ci-dessous est organisé sous forme provisoire dans [Raimbault, 2016g] qui peut être lu comme complément à cette synthèse, mais dont le plan, suivant l'adage précédent, ne témoigne pas d'une éventuelle architecture finale. Les résultats présentés par la suite sont à mettre chacun en relation avec l'un ou plusieurs des objectifs précédents. Une exploration algorithmique de la littérature a été menée dans [Raimbault, 2015b], suggérant un cloisonnement des domaines scientifiques s'intéressant à notre sujet. Des méthodes plus élaborées ainsi que les outils correspondants (collecte et analyse des données), couplant une analyse sémantique au réseau de citations, ont été développées pour renforcer ces conclusions préliminaires [Raimbault, 2016d]. L'application au corpus de la revue *Cybergeog* (*article en finition, cible Scientometrics*) démontre le potentiel d'application à notre sujet. Ces outils font partie d'une dynamique plus large de développement d'un logiciel libre d'analyse bibliométrique (*article en préparation avec coauteurs, voir [Chasset et al., 2016]*). Ces premiers résultats d'épistémologie quantitative confirment l'intérêt d'une modélisation couplant des processus relevant de différentes échelles et domaines d'études. Concernant l'analyse empirique, une étude des corrélations statiques entre mesures de forme urbaine et mesures de forme de réseau a pu révéler la non-stationarité spatiale de leurs interactions [Raimbault, 2016b]. Cet aspect a aussi été mis en évidence dans l'espace et le temps à une échelle microscopique lors de l'étude des dynamiques d'un système de transport [Raimbault, 2016e], conjointement avec l'hétérogénéité des processus pour un autre type de système [Raimbault, 2015a]. Ces faits stylisés valident pour l'instant l'utilisation de modèles de simulation complexes, pour lesquels des premiers efforts de modélisation ont ouvert la voie vers des modèles plus élaborés. A l'échelle mesoscopique, des processus d'aggrégation-diffusion ont été prouvés suffisant pour reproduire un grand nombre de formes urbaines avec un faible nombre de paramètres, calibrés sur l'ensemble du spectre des valeurs réelles des indicateurs de forme urbaine pour l'Europe (*article en finition, cible PlosOne*). Ce modèle simple a pu, à l'occasion d'un article méthodologique explorant le possibilité de contrôle au second ordre de la structure de données synthétiques [Raimbault, 2016c], être couplé faiblement à un modèle de génération de réseau, démontrant une grande latitude de configurations potentiellement générées. L'exploration de différentes heuristiques autonomes de génération de réseau a par ailleurs été entamée [Raimbault and Gonzalez, 2015]. A l'échelle macroscopique, un modèle simple de croissance urbaine calibré dynamiquement sur les villes françaises de 1830 à 2000 a permis de démontrer l'existence d'un effet réseau de par l'augmentation de pouvoir explicatif du modèle lors de l'ajout d'un effet des flux transitant par un réseau physique [Raimbault, 2016f]. Cet ensemble de modèles se positionne avec un objectif de parcimonie et dans une perspective d'application en multi-modélisation. Dans une démarche basée-agent plus descriptive, [Le Néchet and Raimbault, 2015] décrit un modèle de co-évolution à l'échelle métropolitaine (modèle Lutecia) qui inclut en particulier

des processus de gouvernance pour le développement des infrastructures de transport. L'ensemble des points précédents a permis un premier travail théorique, avec l'élaboration d'une première proposition d'appareil théorique pouvant servir de cadre général aux différentes analyses empiriques et modèles (*article en finition, cible Cyberge*). L'un des piliers de cette théorie, la notion de *morphogénèse*, a été explorée d'un point de vue interdisciplinaire dans [Antelope et al., 2016], confirmant son aspect crucial dans la construction de la théorie. Enfin, divers travaux ont été menés dans des perspectives méthodologiques : [Raimbault, 2016a] développe une méthode de quantification de la robustesse des évaluation multi-objectifs de systèmes complexes ; [Raimbault et al., 2016] applique les outils d'analyse sémantique à un corpus d'un autre type, démontrant leur potentialité comme outils plus généraux d'épistémologie quantitative ; [Serra and Raimbault, 2016] propose un exercice de médiation scientifique et questionne des outils de communication d'enjeux environnementaux à un public large, pouvant trouver par exemple application sur nos sujets aux enjeux également sociétaux tel le développement urbain et les infrastructures de transport.

Du contenu final *La route est longue mais la voie est libre.* Il n'est pas raisonnable de prétendre donner à ce point une image précise du contenu final et de son architecture, tant la dynamique de co-construction des différentes composantes est intégrée. Il est cependant possible de lister des développements nécessaires afin de donner un peu de chair et plus de forme au squelette brossé ci-dessus.

- Sur le plan empirique, élaboration de tests de causalités sur séries temporelles, qui seront raffinés sur des données synthétiques (notamment des formes urbaines et réseaux associés issus de [Raimbault et al., 2014], puis appliqués à différents cas d'étude pour lesquels les pré-traitement des données est effectué ou en cours : Bassin Parisien de 1950 à 2000 ; Villes françaises et réseaux ferré et autoroutier de 1830 à 2000 ; Transaction immobilières et réseau du Grand Paris de 1995 à 2010 (*collaboration avec T. Le Corre*) ; Villes et réseau ferré en Afrique du Sud de 1900 à 2000 (*collaboration avec S. Baffi*).
- Sur le plan de la modélisation, en se basant sur les différentes briques déjà introduites :
 - Une extension dynamique de [Raimbault, 2016c] pourra être aisément calibrée en utilisant les données de [Raimbault, 2016b], possiblement en multi-modélisation pour les heuristiques de morphogénèse de réseau.
 - De même, le modèle de croissance à l'échelle macroscopique est directement généralisable à un réseau dynamique, et sera appliqué en priorité aux villes chinoises, mais aussi sur les systèmes de villes français et sud-africains.
 - Le modèle Lutecia sera appliqué à l'étude de cas de la région du delta du Zhujiang, à l'occasion d'un séjour de terrain (6mois) dans le cadre du projet européen Medium.
- Les divers outils mis en place seront pour les plus utiles distribués sous forme de packages ou de bibliothèques, ainsi que les bases de données développées.
- Un travail de réflexivité sera mené, par l'application d'une part des méthodes d'épistémologie quantitative développées à notre propre travail (analyse du corpus cité, réseaux des concepts et des sous-projets), et d'autre part par l'explicitation du caractère implémentatif des différentes parties vis à vis de la théorie, et de la théorie elle-même par rapport à une méta-théorie des systèmes socio-techniques (en cours de développement, voir [Raimbault, 2016g]). Celui-ci sera essentiel pour les ajustements théoriques, mais aussi pour offrir au lecteur des clés de lecture non-linéaires.

Notre positionnement scientifique général développé en introduction est tel le medium dans lequel se manifestent les différents domaines (empirique, théorique, modélisation, méthodologique et proto-méthodologique) et rendant possible leur co-évolution, et surtout l'émergence de questionnement transversaux et verticaux, la toute première ébauche d'un projet de recherche : cette voie qui est libre.

References

- [Antelope et al., 2016] Antelope, C., Hubatsch, L., Raimbault, J., and Serna, J. M. (2016). An interdisciplinary approach to morphogenesis. *Forthcoming in Proceedings of Santa Fe Institute CSSS 2016*.
- [Chasset et al., 2016] Chasset, P.-O., Cottineau, C., Commenges, H., and Raimbault, J. (2016). cybergeo20 v1.0, doi 10.5281/zenodo.53905.
- [Le Néchet and Raimbault, 2015] Le Néchet, F. and Raimbault, J. (2015). Modeling the emergence of metropolitan transport authority in a polycentric urban region. In *Plurimondi. An International Forum for Research and Debate on Human Settlements*, volume 7.
- [Raimbault, 2015a] Raimbault, J. (2015a). Hybrid modeling of a bike-sharing transportation system. In *International Conference on Computational Social Science*.
- [Raimbault, 2015b] Raimbault, J. (2015b). Models coupling urban growth and transportation network growth: An algorithmic systematic review approach. *Plurimondi. An International Forum for Research and Debate on Human Settlements*, 7(15).
- [Raimbault, 2016a] Raimbault, J. (2016a). A discrepancy-based framework to compare robustness between multi-attribute evaluations. *Forthcoming in Proceedings of CSDM 2016. arXiv preprint arXiv:1608.00840*.
- [Raimbault, 2016b] Raimbault, J. (2016b). For a cautious use of big data and computation. In *Royal Geographical Society-Annual Conference 2016-Session: Geocomputation, the Next 20 Years (1)*.
- [Raimbault, 2016c] Raimbault, J. (2016c). Generation of correlated synthetic data. In *Actes des Journées de Rochebrune 2016*.
- [Raimbault, 2016d] Raimbault, J. (2016d). Indirect bibliometrics by complex network analysis. In *20e Anniversaire de Cyberge*.
- [Raimbault, 2016e] Raimbault, J. (2016e). Investigating the empirical existence of static user equilibrium. *Forthcoming in Transportation Research Procedia, EWGT2016. arXiv preprint arXiv:1608.05266*.
- [Raimbault, 2016f] Raimbault, J. (2016f). Models of growth for system of cities: Back to the simple. In *Conference on Complex Systems 2016*.
- [Raimbault, 2016g] Raimbault, J. (2016g). *Towards Models Coupling Urban Growth and Transportation Network Growth. First year preliminary memoire. DOI : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.60538>*. PhD thesis, Université Paris-Diderot - Paris VII.
- [Raimbault et al., 2014] Raimbault, J., Banos, A., and Doursat, R. (2014). A hybrid network/grid model of urban morphogenesis and optimization. In *Proceedings of the 4th International Conference on Complex Systems and Applications (ICCSA 2014), June 23-26, 2014, Université de Normandie, Le Havre, France; M. A. Aziz-Alaoui, C. Bertelle, X. Z. Liu, D. Olivier, eds.: pp. 51-60*.
- [Raimbault et al., 2016] Raimbault, J., Bergeaud, A., and Potiron, Y. (2016). Investigating patterns of technological innovation. In *Conference on Complex Systems 2016*.
- [Raimbault and Gonzalez, 2015] Raimbault, J. and Gonzalez, J. (May 2015). Application de la morphogénèse de réseaux biologiques à la conception optimale d’infrastructures de transport. In *Rencontres du Labex Dynamites*.
- [Serra and Raimbault, 2016] Serra, H. and Raimbault, J. (2016). Game-based tools to transmit freshwater ecology concepts. In *SETAC 2016*.