

# Modélisation des interactions entre réseaux de transport et territoires : une approche par la co-évolution

*Journée d'étude Pacte-Citeres 2018*

JUSTE RAIMBAULT

(UPS CNRS 3611 ISC-PIF et UMR CNRS 8504 Géographie-cités)

**Mots-clés :** *Réseaux de transport ; territoire ; co-évolution ; modélisation*

## Résumé

### 1 Introduction

Les potentiels effets des réseaux techniques sur les territoires, et plus particulièrement des réseaux de transport, ont alimenté des débats scientifiques qui restent aujourd'hui relativement ouverts, comme la question de l'identification d'effets structurants des infrastructures (Offner, 1993; Offner et al., 2014). Une entrée pertinente est de comprendre les territoires et les réseaux de transport comme étant en co-évolution, c'est-à-dire exhibant des dynamiques couplées fortement qu'il est difficile d'isoler (Bretagnolle, 2009). Le travail de recherche présenté propose d'explorer cette perspective de co-évolution en l'explorant par l'intermédiaire de la modélisation et de la simulation, considérant le modèle comme un instrument de connaissance à part entière (Banos, 2013) complémentaire aux aspects théoriques et empiriques (Raimbault, 2017a), et dont l'impact est amplifié par l'utilisation des méthodes et outils d'exploration des modèles et de calcul intensif (Pumain and Reuillon, 2017).

Deux directions complémentaires de modélisation, étendant les travaux antérieurs de modélisation de cette co-évolution à l'échelle macroscopique (Baptiste, 2010; Schmitt, 2014) et mesoscopique (Raimbault et al., 2014), sont explorées.

### 2 Définition de la co-évolution

### 3 Echelle macroscopique

Le premier axe de modélisation se situe à l'échelle macroscopique et se base sur les principes de la théorie évolutive des villes (Pumain, 1997). La famille des modèles Simpop se place majoritairement dans les ontologies et échelles correspondantes, c'est-à-dire des entités élémentaires constituées par les villes elles-mêmes, à l'échelle spatial du système de ville (régionale à continentale) et sur des échelles temporelles relativement longues

#### 3.1 Effets de réseau

Un premier modèle de contrôle au sein duquel le réseau est statique mais ayant une retroaction sur les villes, suggère indirectement des effets de réseau. Ce travail préliminaire est détaillé par Raimbault (2018) qui détaille le modèle et l'applique au système de ville français sur le temps long (1830-1999). Le modèle travaille sur des populations attendues et

capture la complexité par les interactions non-linéaires entre villes et portées par le réseau. Trois processus se superposent pour déterminer le taux de croissance des villes : (i) une croissance endogène fixée par un paramètre, correspondant au modèle de Gibrat ; (ii) des processus d'interaction directe exprimés sous la forme d'un potentiel gravitaire influençant le taux de croissance ; (iii) une rétroaction des flux circulant dans le réseau sur les villes traversées. Le modèle est initialisé avec les populations réelles au début d'une période, puis évalué par comparaison avec les populations simulées sur l'ensemble de la période.

### **3.2 Modèle de co-évolution**

Ce modèle est ensuite étendu à un modèle co-évolutif, au sein duquel villes et liens du réseau de transport sont tous les deux dynamiques et en dépendance réciproque.

L'exploration systématique de ce modèle par l'intermédiaire du logiciel OpenMOLE (Reuillon et al., 2013) et l'application d'une méthode empirique de caractérisation de la co-évolution Raimbault (2017b) permettent de montrer qu'il capture une grande variété de dynamiques couplées, incluant effectivement des dynamiques co-évolutives.

La calibration sur le système de ville français sur la même durée que le modèle statique, avec données de population et réseaux ferroviaire dynamique, permet de quantifier l'évolution de processus d'interaction comme l'effet tunnel.

## **4 Echelle mesoscopique**

Le deuxième axe, à l'échelle mesoscopique, considère l'entrée par la morphogenèse urbaine, comprise comme l'émergence simultanée de la forme et de la fonction d'un système (Doursat et al., 2012). Celle-ci permet de considérer une description plus fine des territoires, à l'échelle de grilles fines de population (résolution 500m) et de représentation vectorielle du réseau à la même échelle.

### **4.1 Morphogenèse par aggrégation-diffusion**

Les systèmes territoriaux produits sont quantifiés par indicateurs morphologiques pour la population (Le Néchet, 2015) et indicateurs structurels du réseau. Ces indicateurs et leur corrélations spatiales sont par ailleurs calculés sur des fenêtres de taille équivalente couvrant l'ensemble de l'Europe.

Nous introduisons alors un modèle de morphogenèse capturant la co-évolution de la distribution spatiale de la population et du réseau routier. Le calcul d'indicateurs topologiques pour le réseau routier permet de calibrer le modèle et de montrer que les différents processus de croissance de réseau qui ont été inclus suivant un processus de multi-modélisation sont complémentaires pour se rapprocher du maximum de configurations réelles. Enfin, un dernier modèle métropolitain, étendant celui proposé par (Le Néchet and Raimbault, 2015), explore le rôle des processus de gouvernance, en particulier de collaboration entre acteurs locaux par l'intermédiaire de théorie des jeux, dans l'émergence du réseau de transport et son interaction avec la forme urbaine quantifiée par les motifs spatiaux d'accessibilité. Ce modèle permet par exemple de montrer que les dynamiques co-évolutives peuvent être amenées à inverser le comportement des gains d'accessibilité en comparaison à une configuration sans évolution de l'usage du sol, c'est-à-dire changer qualitativement le régime du système métropolitain.

## 5 Perspectives

Cette recherche développe des approches complémentaires à différentes échelles des interactions entre réseaux de transport et territoires en modélisant leur co-évolution.

### 5.1 Vers des modèles multi-échelle

Elle ouvre ainsi des perspectives d'approches intégrées, vers des modèles multi-échelles de ces interactions, qui s'avèrent de plus en plus nécessaires pour l'élaboration de modèles opérationnels pouvant être appliqués à l'élaboration de politiques de planification soutenables (Rozenblat and Pumain, 2018).

## Références

- Banos, A. (2013). Pour des pratiques de modélisation et de simulation libérées en géographies et shs. *HDR. Université Paris*, 1.
- Baptiste, H. (2010). Modeling the evolution of a transport system and its impacts on a french urban system. *Graphs and Networks : Multilevel Modeling, Second Edition*, pages 67–89.
- Bretagnolle, A. (2009). *Villes et réseaux de transport : des interactions dans la longue durée, France, Europe, États-Unis*. Hdr, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I.
- Doursat, R., Sayama, H., and Michel, O. (2012). *Morphogenetic engineering : toward programmable complex systems*. Springer.
- Le Néchet, F. (2015). De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'audit urbain. *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- Le Néchet, F. and Raimbault, J. (2015). Modeling the emergence of metropolitan transport authority in a polycentric urban region. In *European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*, Bari, Italy.
- Offner, J.-M. (1993). Les "effets structurants" du transport : mythe politique, mystification scientifique. *Espace géographique*, 22(3) :233–242.
- Offner, J.-M., Beaucire, F., Delaplace, M., Frémont, A., Ninot, O., Bretagnolle, A., and Pumain, D. (2014). Les effets structurants des infrastructures de transport. *Espace Géographique*, (42) :p-51.
- Pumain, D. (1997). Pour une théorie évolutive des villes. *Espace géographique*, 26(2) :119–134.
- Pumain, D. and Reuillon, R. (2017). *Urban Dynamics and Simulation Models*. Springer International.
- Raimbault, J. (2017a). An applied knowledge framework to study complex systems. In *Complex Systems Design & Management*, pages 31–45.
- Raimbault, J. (2017b). Identification de causalités dans des données spatio-temporelles. In *Spatial Analysis and GEOmatics 2017*.
- Raimbault, J. (2018). Indirect evidence of network effects in a system of cities. *Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science*, page 2399808318774335.
- Raimbault, J., Banos, A., and Doursat, R. (2014). A hybrid network/grid model of urban morphogenesis and optimization. In *4th International Conference on Complex Systems and Applications (ICCSA 2014)*, pages 51–60.
- Reuillon, R., Leclaire, M., and Rey-Coyrehourcq, S. (2013). Openmole, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models. *Future Generation Computer Systems*, 29(8) :1981–1990.
- Rozenblat, C. and Pumain, D. (2018). Conclusion : Toward a methodology for multi-scalar urban system policies. *International and Transnational Perspectives on Urban Systems*, page 385.

Schmitt, C. (2014). *Modélisation de la dynamique des systèmes de peuplement : de SimpopLocal à SimpopNet*. PhD thesis, Paris 1.