

Caractérisation et modélisation de la co-évolution des réseaux de transport et des territoires

J. Raimbault^{1,2,3,*}

juste.raimbault@iscpif.fr

¹UPS CNRS 3611 ISC-PIF

³CASA, UCL

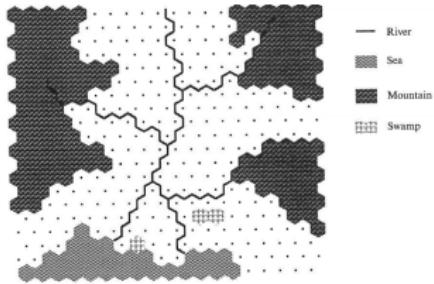
²UMR CNRS 8504 Géographie-cités

Prix de Thèse Systèmes Complexes

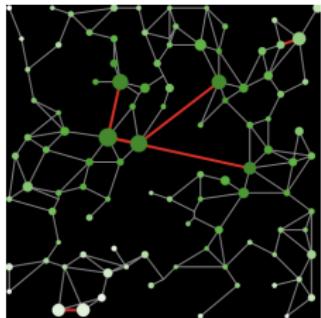
Lundi 17 juin 2019

Institut des Systèmes Complexes

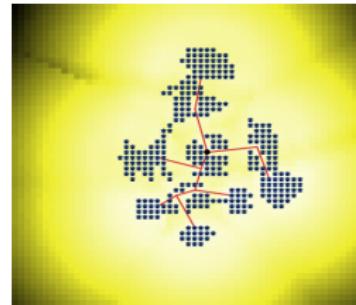
Contexte scientifique



Simpop 1 model [Sanders et al., 1997]



SimpopNet model [Schmitt, 2014]

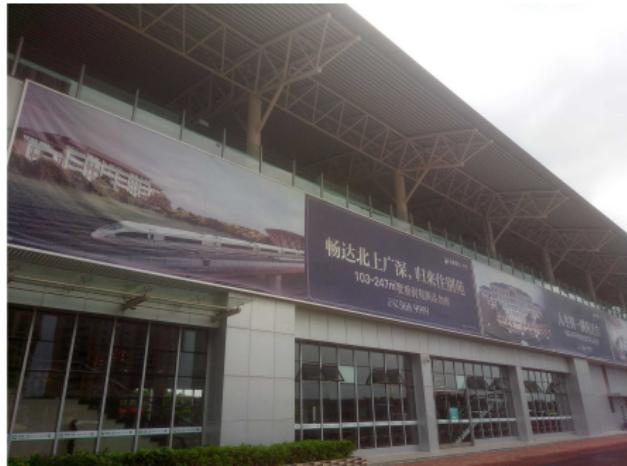


*Hybrid urban morphogenesis
[Raimbault et al., 2014]*



*Nouvelles méthodes d'exploration des
modèles de simulation
[Reuillon et al., 2013]*

Interactions entre réseaux et territoires



Observation d'interactions entre transport et ville dans le Delta de la Rivière des Perles : promotion de la grande vitesse, développement urbain ciblé autour des gares.

Raimbault, J. (2019). Evolving accessibility landscapes: mutations of transportation networks in China. In Aveline-Dubach, N., ed. *Pathways of sustainable urban development across China - the cases of Hangzhou, Datong and Zhuhai*, pp 89-108. Imago. ISBN:978-88-94384-71-0

Problématique de la thèse

Des dynamiques *co-évolutives* entre réseaux de transport et territoires suggérées par de nombreux travaux (Théorie Evolutive des Villes).

Axe 1 : *Comment définir et caractériser empiriquement ces dynamiques co-évolutives ?*

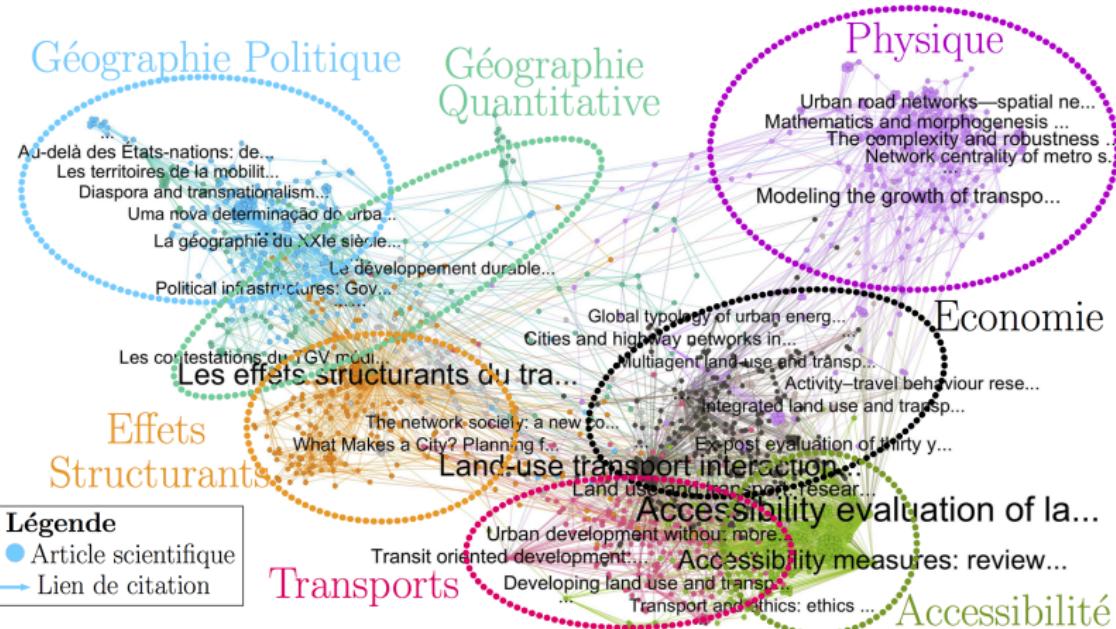
→ Connaissance par les seules études empiriques qui reste limitée.

Axe 2 : *Comment modéliser la co-évolution des réseaux de transport et des territoires ?*

→ Utilisation de la modélisation comme outil de connaissance.

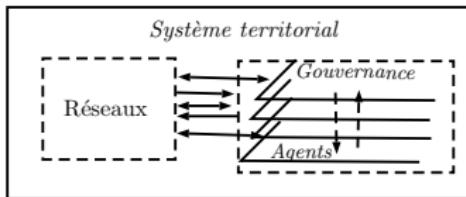
Vers une modélisation ? Cartographie des disciplines

Multiples points de vue sur les mêmes objets, modélisations complémentaires.



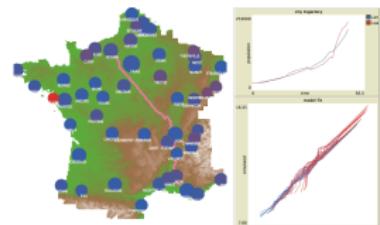
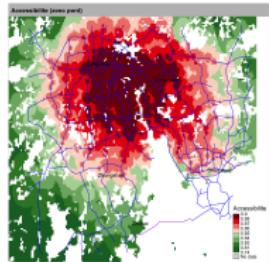
Raimbault, J. (2019). Exploration of an interdisciplinary scientific landscape. *Scientometrics*, 1-25.

Lecture par les domaines de connaissance



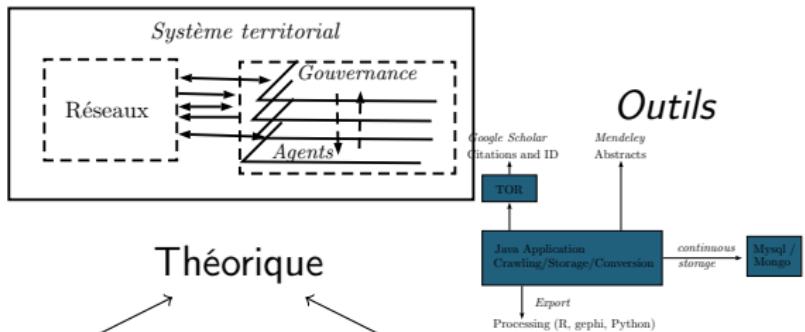
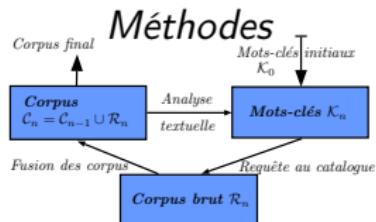
Théorique

Empirique ← → Modélisation



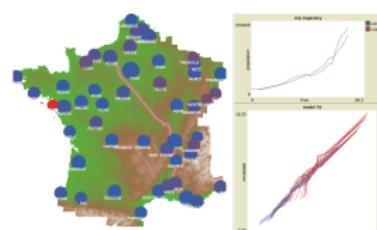
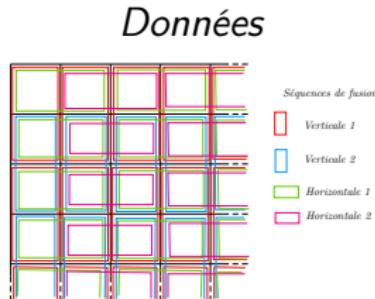
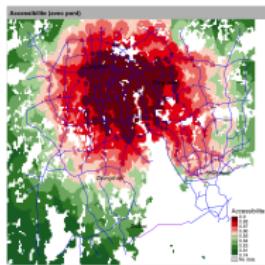
Raimbault, J. (2017). An Applied Knowledge Framework to Study Complex Systems. In Complex Systems Design & Management (pp. 31-45).

Lecture par les domaines de connaissance



Théorique

Empirique ← → **Modélisation**



Raimbault, J. (2017). An Applied Knowledge Framework to Study Complex Systems. In Complex Systems Design & Management (pp. 31-45).

Entrée théorique : définitions

Objets :

- Villes et territoires lus au prisme de la *Théorie Evolutive des Villes*
- Réseaux de transport comme matérialisation de “projets transactionnels”, suivant la *Théorie Territoriale des Réseaux*

Processus :

Une définition de la co-évolution à trois niveaux :

- ❶ niveau des agents
- ❷ niveau des populations d'agents (niches)
- ❸ niveau global du système

Entrées :

- ❶ Entrée empirique (niveau microscopique)
- ❷ Entrée par la morphogenèse (niveau de la niche)
- ❸ Entrée par la théorie évolutive (niveau global)

Entrée théorique : définitions

Objets :

- Villes et territoires lus au prisme de la *Théorie Evolutive des Villes*
- Réseaux de transport comme matérialisation de “projets transactionnels”, suivant la *Théorie Territoriale des Réseaux*

Processus :

Une définition de la co-évolution à trois niveaux :

- ❶ niveau des agents
- ❷ niveau des populations d'agents (niches)
- ❸ niveau global du système

Entrées :

- ❶ Entrée empirique (niveau microscopique)
- ❷ Entrée par la morphogenèse (niveau de la niche)
- ❸ Entrée par la théorie évolutive (niveau global)

Entrée théorique : définitions

Objets :

- Villes et territoires lus au prisme de la *Théorie Evolutive des Villes*
- Réseaux de transport comme matérialisation de “projets transactionnels”, suivant la *Théorie Territoriale des Réseaux*

Processus :

Une définition de la co-évolution à trois niveaux :

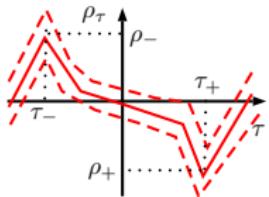
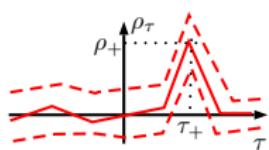
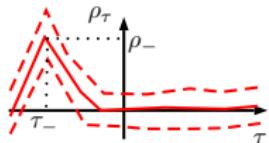
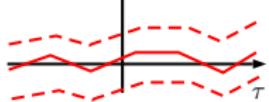
- ❶ niveau des agents
- ❷ niveau des populations d'agents (niches)
- ❸ niveau global du système

Entrées :

- ❶ Entrée empirique (niveau microscopique)
- ❷ Entrée par la morphogenèse (niveau de la niche)
- ❸ Entrée par la théorie évolutive (niveau global)

Elaboration d'une méthode de caractérisation

Corrélation retardée estimée
 ρ_τ



Interprétation :
évolution temporelle

... $X(t-1)$ $X(t)$ $X(t+1)$...

... $Y(t-1)$ $Y(t)$ $Y(t+1)$...

... $X(t-1)$ $X(t)$ $X(t+1)$...

... $Y(t-1)$ $Y(t)$ $Y(t+1)$...

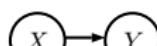
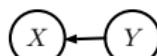
... $X(t-1)$ $X(t)$ $X(t+1)$...

... $Y(t-1)$ $Y(t)$ $Y(t+1)$...

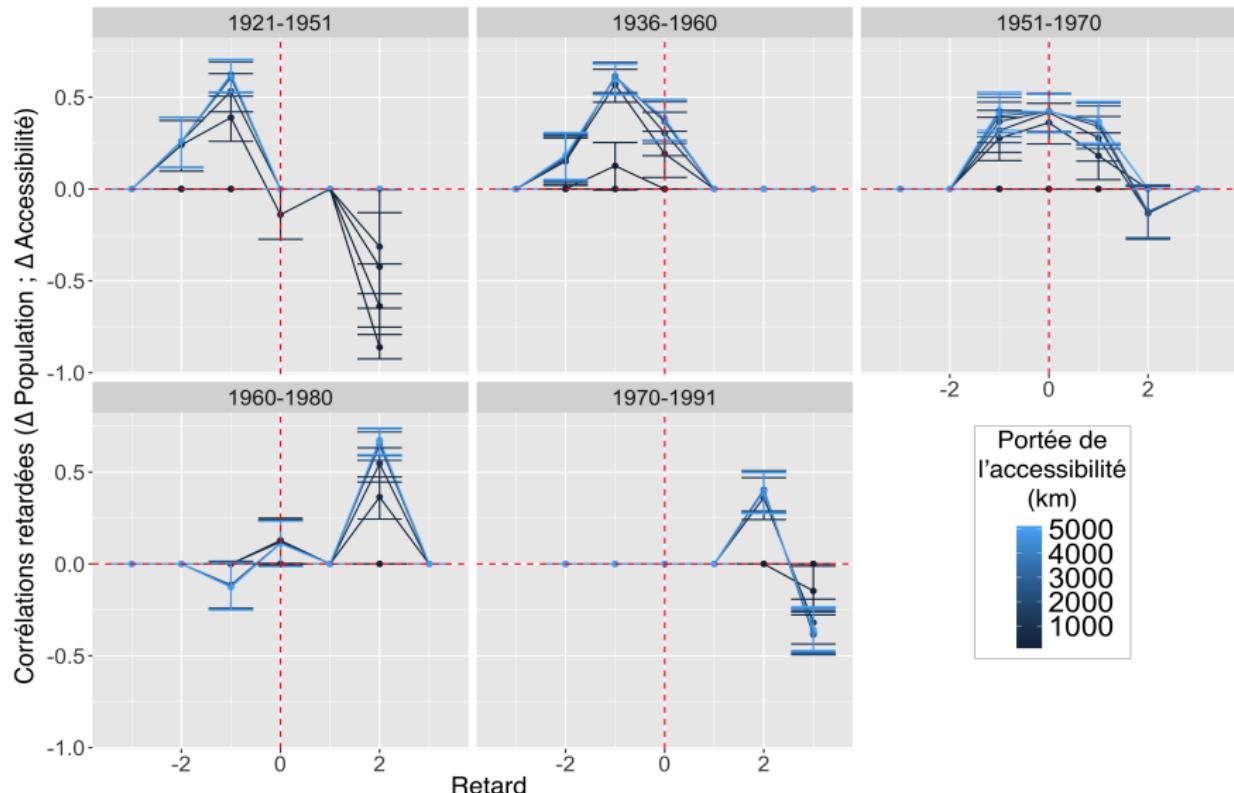
... $X(t-1)$ $X(t)$ $X(t+1)$...

... $Y(t-1)$ $Y(t)$ $Y(t+1)$...

Synthèse :
graphe causal

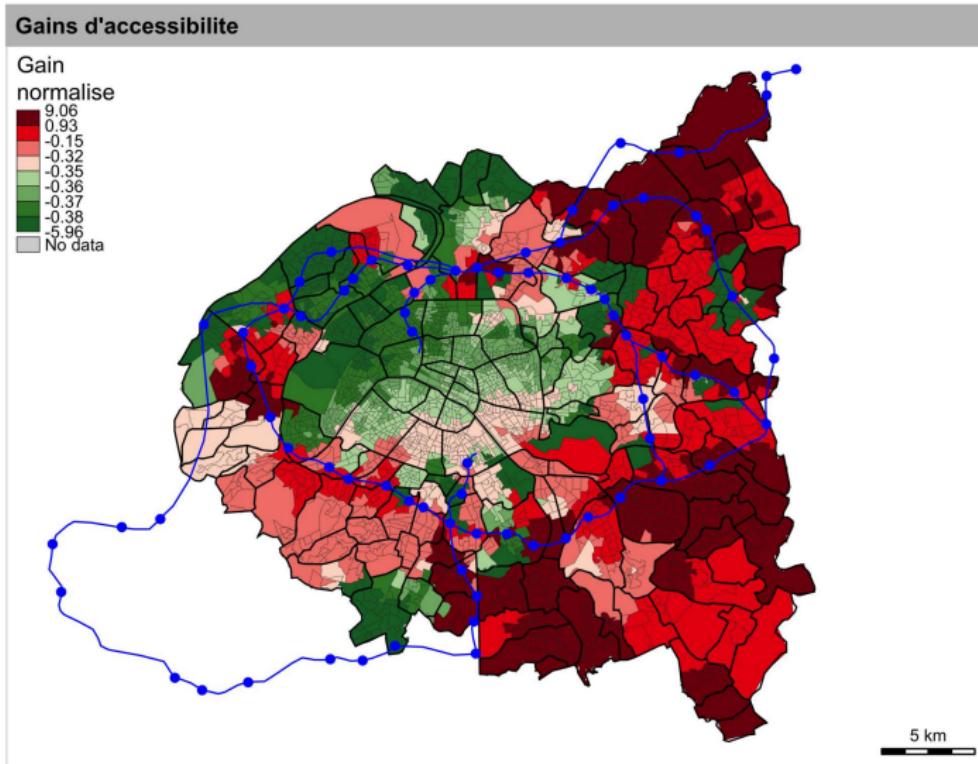


Des observations empiriques contrastées



Inversion du sens de la causalité entre croissance des populations et de l'accessibilité ferroviaire en Afrique du Sud au cours du 20ème siècle

Des observations empiriques contrastées



Relations plus complexes dans le cas du gain d'accessibilité permis par le Grand Paris Express et les dynamiques socio-économiques des territoires

Echelle macroscopique :

- Modèles d'interaction entre villes incluant le réseau →
*Démonstration d'effets de réseau ; exploration
des régimes d'interaction*

Echelle mesoscopique :

- Modèle de morphogenèse couplant forme urbaine et réseau
→ *Complémentarité de multiples processus ; calibration au premier
et second ordre*
- Extension et exploration du modèle Lutecia, incluant la gouvernance
du système de transport

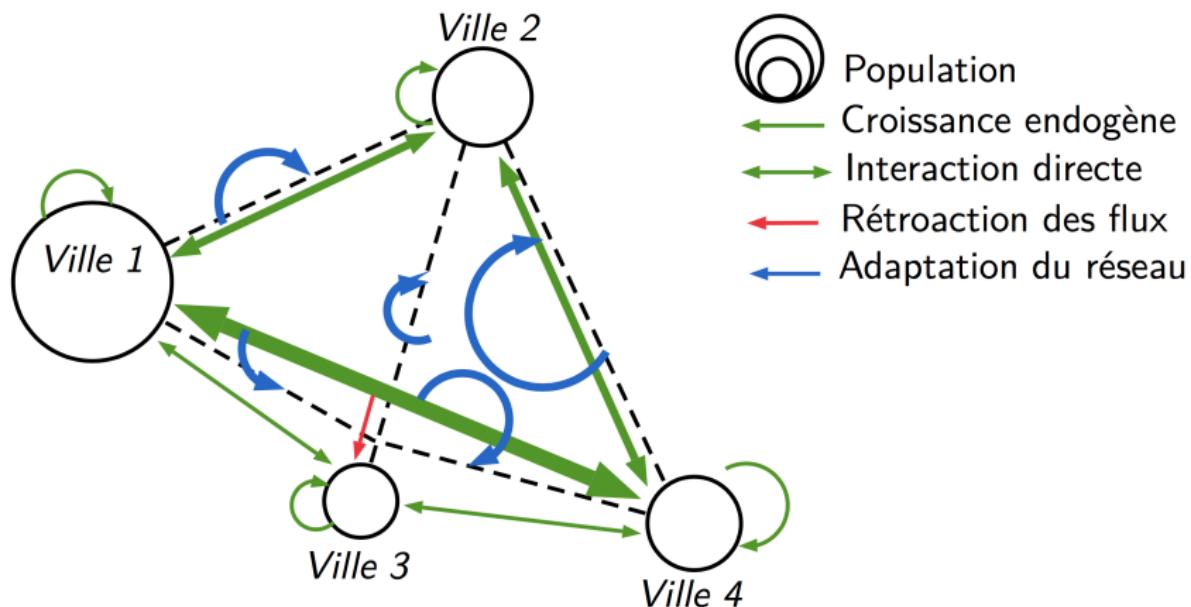
Echelle macroscopique :

- Modèles d'interaction entre villes incluant le réseau →
*Démonstration d'effets de réseau ; exploration
des régimes d'interaction*

Echelle mesoscopique :

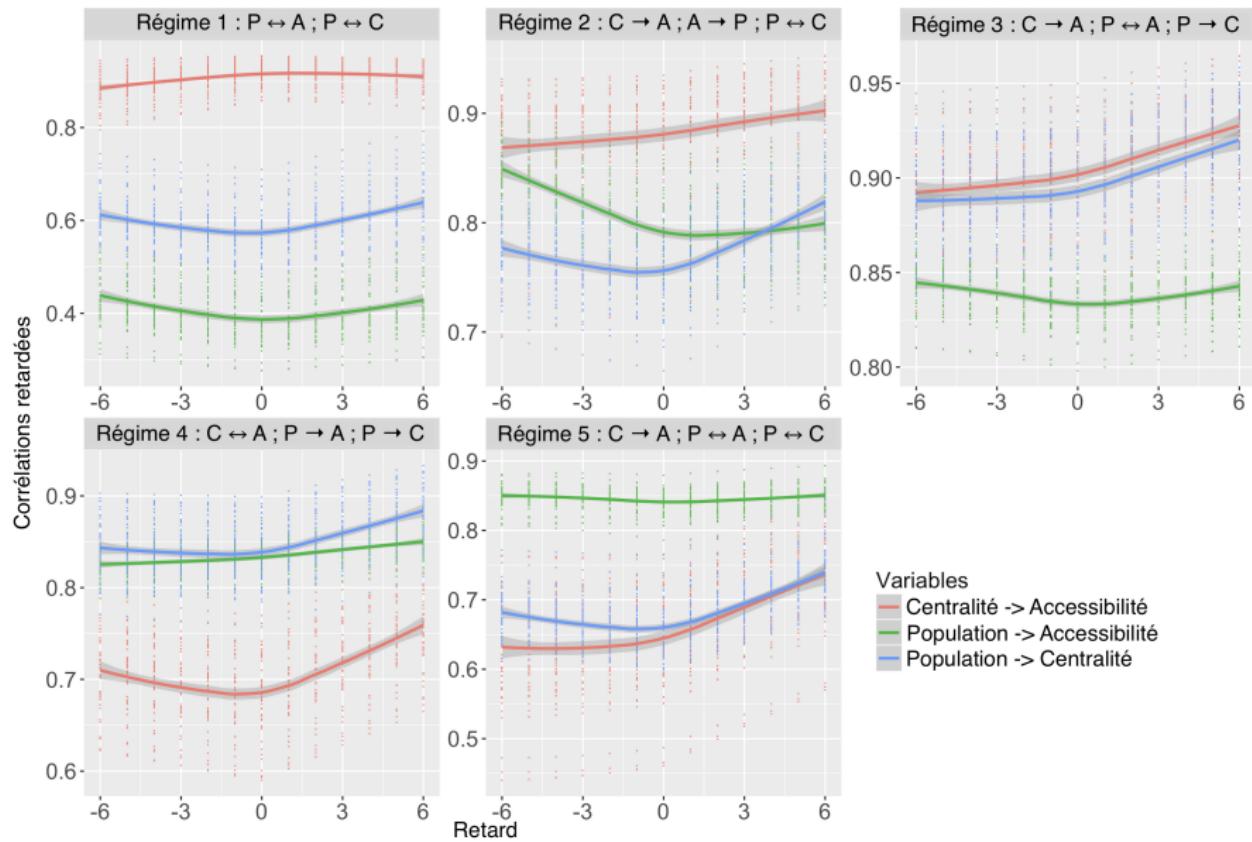
- Modèle de morphogenèse couplant forme urbaine et réseau
→ *Complémentarité de multiples processus ; calibration au premier
et second ordre*
- Extension et exploration du modèle Lutecia, incluant la gouvernance
du système de transport

Modèle macroscopique d'interaction



- Rambault, J. (2018). Indirect evidence of network effects in a system of cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2399808318774335.
- Rambault, J. (2019). Modeling the co-evolution of cities and networks. In Niel, Z., Rozenblat, C., eds. *Handbook of Cities and Network*, Edward Elgar Publishing, *in press*.

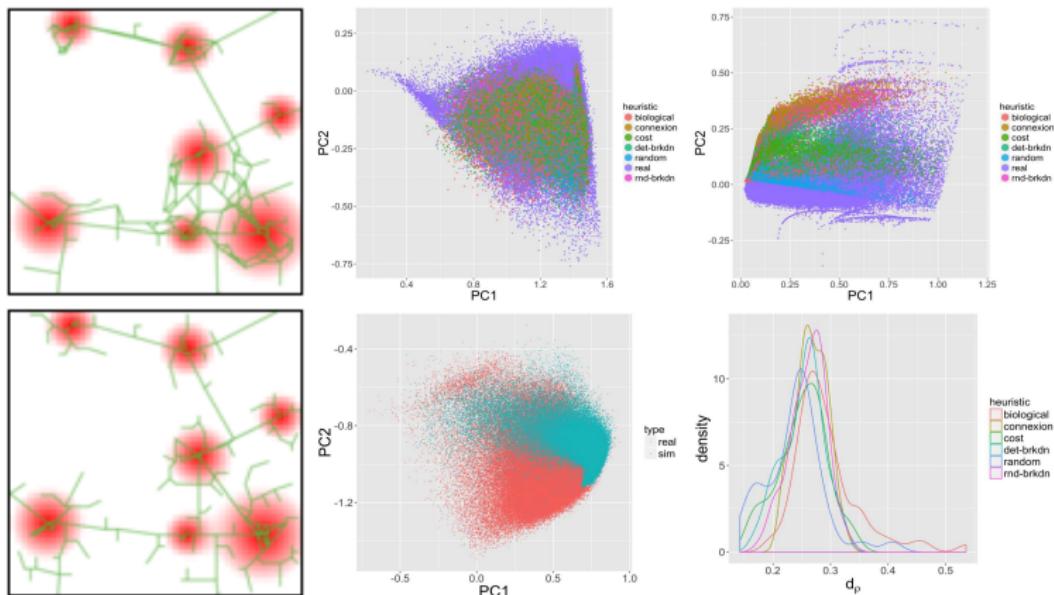
Modèles macroscopiques : régimes de co-évolution



Multiples régimes mis en évidence dans des configurations synthétiques

Modèles mésoscopiques: morphogenèse

Un modèle par réaction-diffusion et multi-modélisation de la croissance du réseau : complémentarité des heuristiques, calibration sur les formes et leurs corrélations

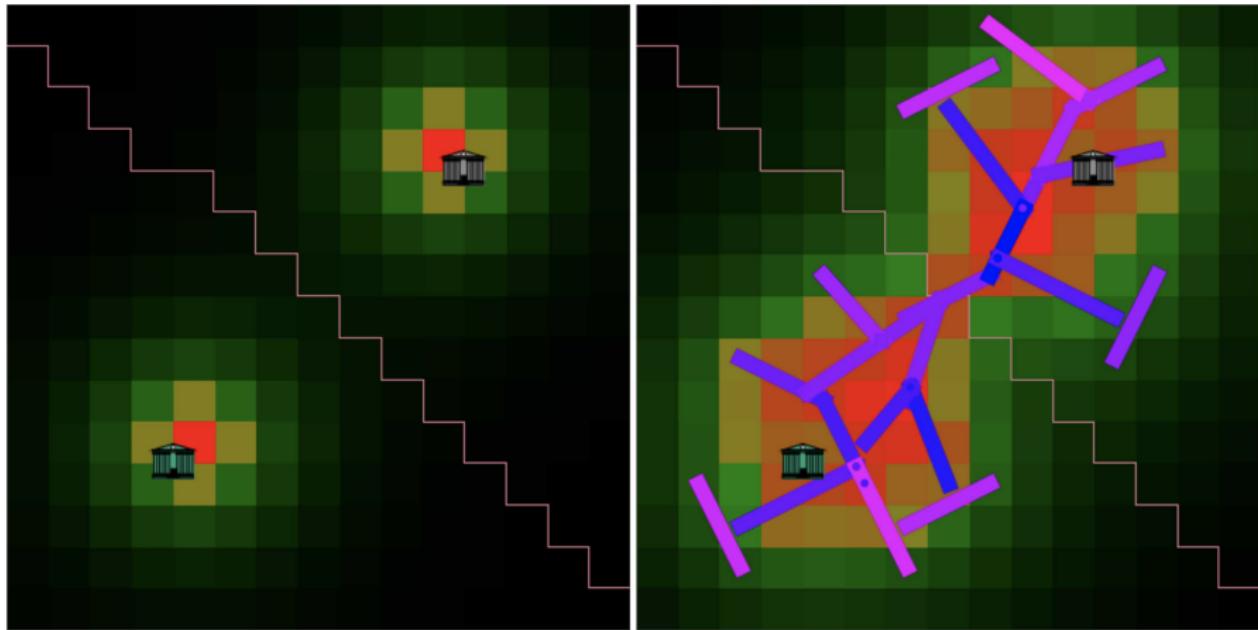


Raimbault, J. (2018). Calibration of a density-based model of urban morphogenesis. *PloS one*, 13(9), e0203516.

Raimbault, J. (2019). An urban morphogenesis model capturing interactions between networks and territories. In *The Mathematics of Urban Morphology* (pp. 383-409). Birkhäuser, Cham.

Modèles mésoscopiques

Le modèle Lutecia : vers une prise en compte de la gouvernance pour la croissance des réseaux de transport



Contributions

- *Définition* : relecture possible de la théorie évolutive, ouvre des ponts vers l'économie géographique
- *Caractérisation* : nombreuses perspectives d'applications en géographie, en sciences territoriales
- *Modélisation* : des modèles interdisciplinaires ayant vocation à être couplés et réutilisés

Perspectives

- Adaptation de Lutecia pour le développement de méthodes d'exploration de modèles spatiaux (développement d'OpenMole)
- *Vers des théories intégrées des systèmes territoriaux* : modèles multi-échelles et couplage de la théorie évolutive avec la théorie du *Scaling*.

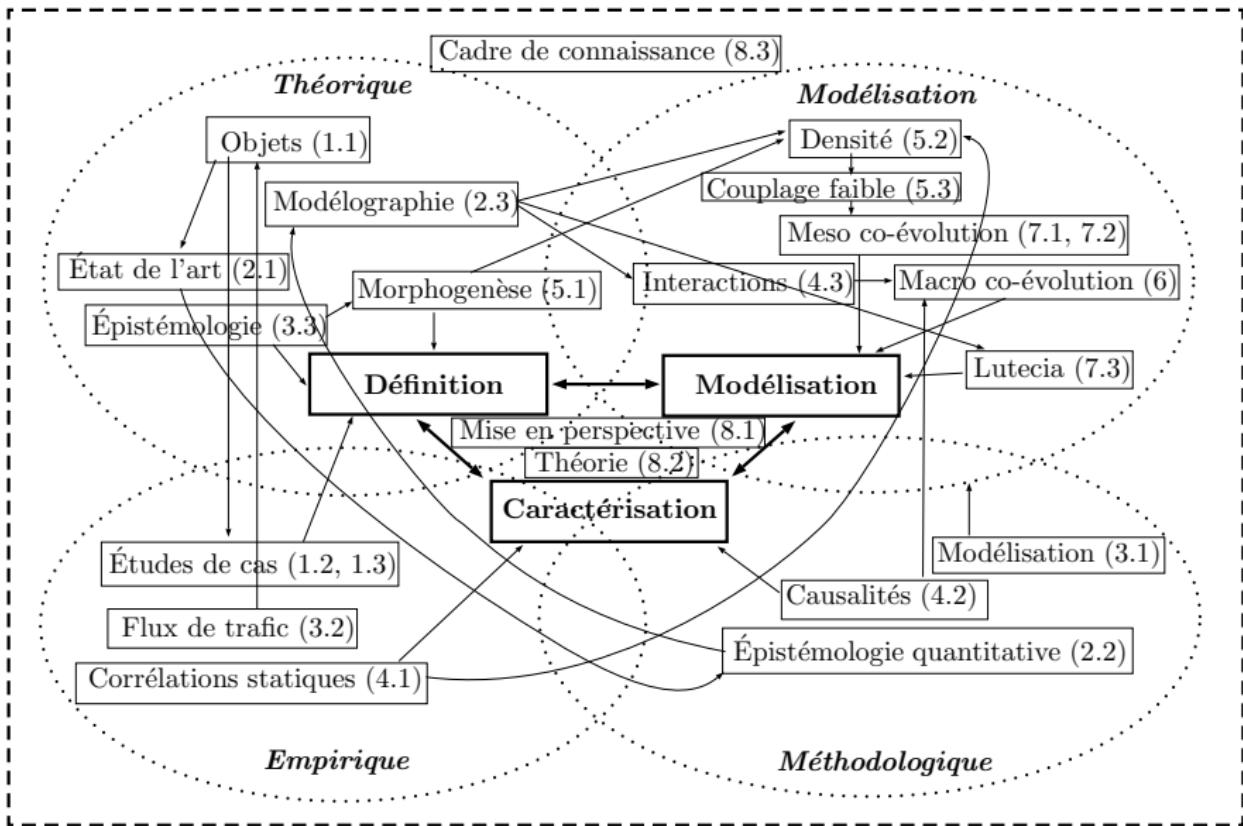
Contributions

- *Définition* : relecture possible de la théorie évolutive, ouvre des ponts vers l'économie géographique
- *Caractérisation* : nombreuses perspectives d'applications en géographie, en sciences territoriales
- *Modélisation* : des modèles interdisciplinaires ayant vocation à être couplés et réutilisés

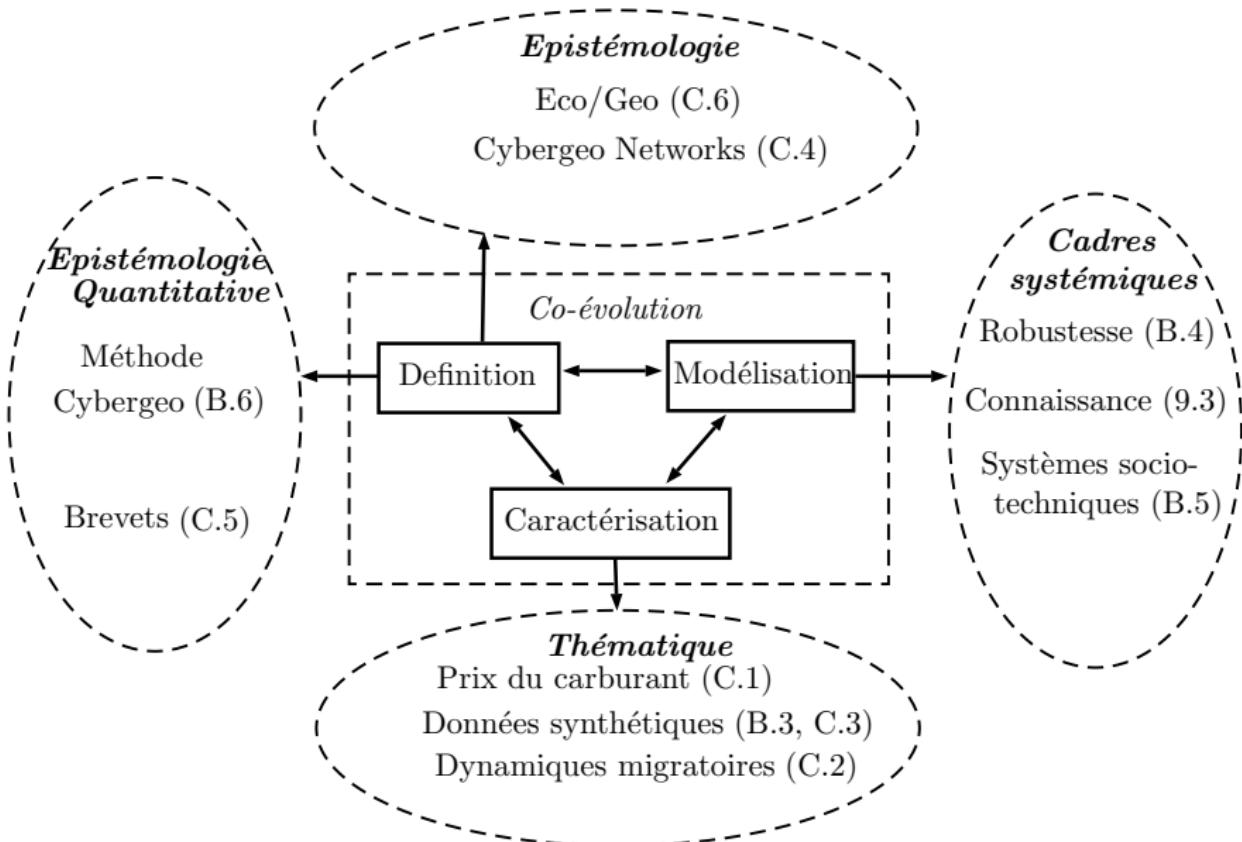
Perspectives

- Adaptation de Lutecia pour le développement de méthodes d'exploration de modèles spatiaux (développement d'OpenMole)
- *Vers des théories intégrées des systèmes territoriaux* : modèles multi-échelles et couplage de la théorie évolutive avec la théorie du *Scaling*.

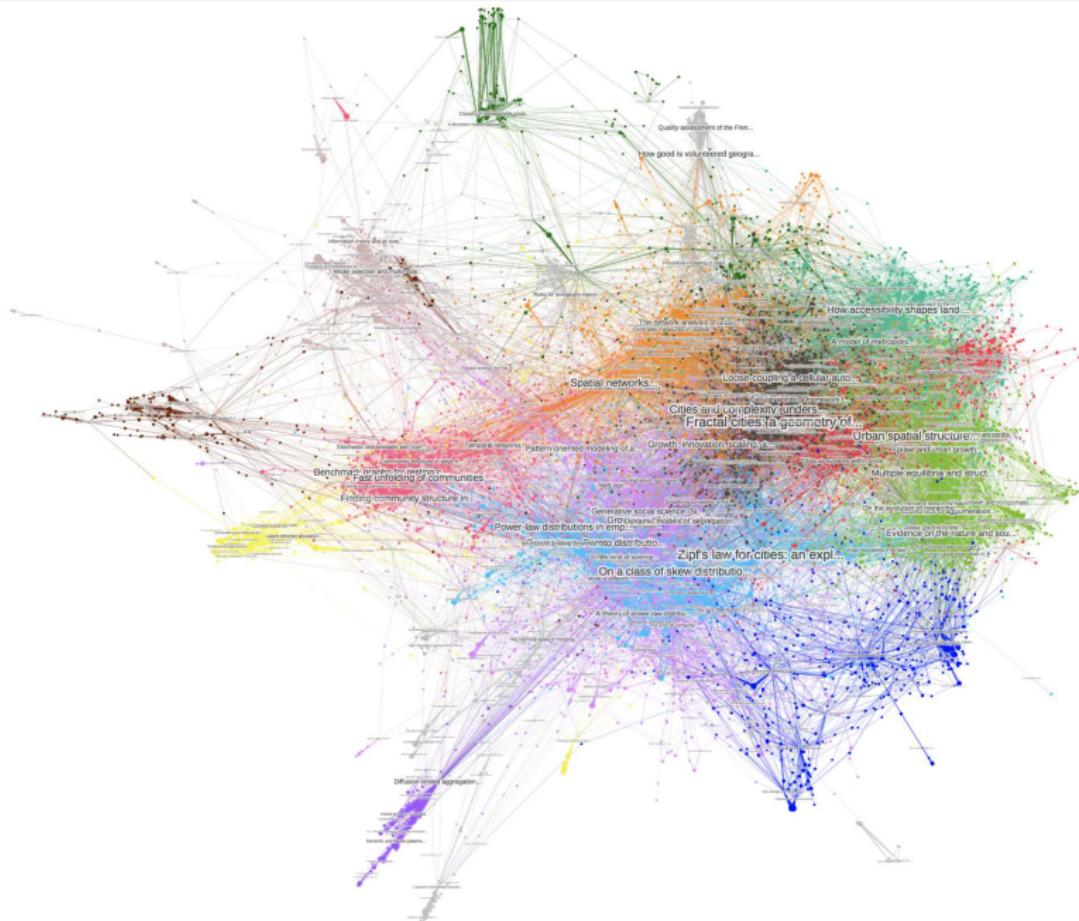
Problématique et plan dans les domaines de connaissance



Mise en perspective



Analyse réflexive



Interdisciplinarité

- Outils ouverts d'épistémologie quantitative et d'analyse réflexive
- Ponts entre disciplines: géographie, transports, économie, *Artificial Life*, épistémologie quantitative

Méthodologie

- Analyse empirique de systèmes spatio-temporels
- Méthodes d'exploration de modèles (analyse de sensibilité spatiale)

Complexité

- Etude interdisciplinaire de concepts clés (morphogenèse, co-évolution)
- Liens entre complexités
- Cadres d'étude en complexité

References I

-  Rimbault, J. (2017a).
An applied knowledge framework to study complex systems.
In *Complex Systems Design & Management*, pages 31–45.
-  Rimbault, J. (2017b).
Identification de causalités dans des données spatio-temporelles.
In *Spatial Analysis and GEOMatics 2017*.
-  Rimbault, J. (2018a).
Calibration of a density-based model of urban morphogenesis.
PloS one, 13(9):e0203516.
-  Rimbault, J. (2018b).
Indirect evidence of network effects in a system of cities.
Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science,
page 2399808318774335.

References II



Rimbault, J. (2019a).

Evolving accessibility landscapes: mutations of transportation networks in China.

In Aveline-Dubach, N., editor, *Pathways of sustainable urban development across China - the cases of Hangzhou, Datong and Zhuhai*, pages 89–108. Imago. ISBN: 978-88-94384-71-0.



Rimbault, J. (2019b).

Exploration of an interdisciplinary scientific landscape.
Scientometrics, pages 1–25.



Rimbault, J. (2019c).

Modeling the co-evolution of cities and networks.

In Niel, Z., R. C., editor, *Handbook of Cities and Network*. Edward Elgar Publishing, in press.

References III

-  Rimbault, J. (2019d).
An urban morphogenesis model capturing interactions between networks and territories.
In *The Mathematics of Urban Morphology*, pages 383–409. Springer.
-  Rimbault, 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*, 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.

References IV

-  Sanders, L., Pumain, D., Mathian, H., Guérin-Pace, F., and Bura, S. (1997).
Simpop: a multiagent system for the study of urbanism.
Environment and Planning B, 24:287–306.
-  Schmitt, C. (2014).
Modélisation de la dynamique des systèmes de peuplement: de SimpopLocal à SimpopNet.
PhD thesis, Paris 1.