

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

J. Raimbault<sup>1,2,\*</sup>

`juste.raimbault@iscpif.fr`

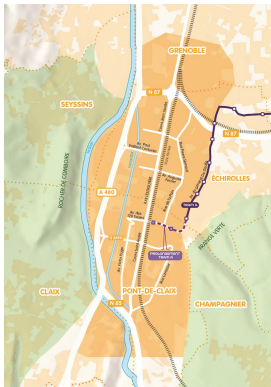
<sup>1</sup>UPS CNRS 3611 ISC-PIF

<sup>2</sup>UMR CNRS 8504 Géographie-cités

Journée Jeunes Chercheurs Pacte-Citeres 2018

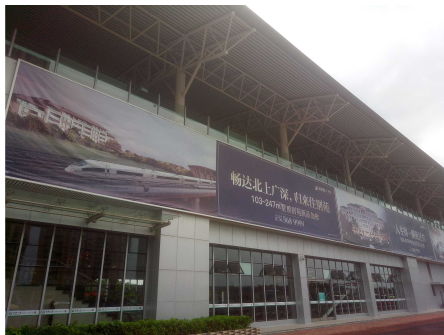
15 novembre 2018

# Effets structurants des infrastructures de transport ?



Sources: *Metropole Grenoble-Alpes* [www.lametro.fr](http://www.lametro.fr); *SNCF Projet Lyon-Turin* <http://www.lyon-turin.info>

# 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.*

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 ?*

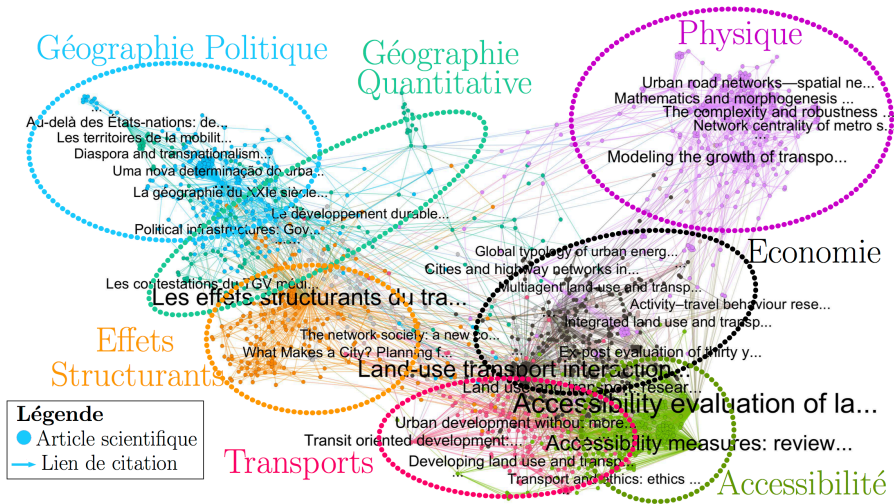
→ Connaissance par les seules études empiriques qui reste limitée.

**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



*Multiplés points de vue sur les mêmes objets,  
autant de façons complémentaires de les modéliser.*

*Concept de co-évolution mobilisé par de nombreuses disciplines :*

- Biologie : définition originale [Durham, 1991] ; concept de co-évolution diffuse [Strauss et al., 2005]
- Evolution culturelle [Mesoudi, 2017]
- Sociologie [Volberda and Lewin, 2003]
- Economie géographique [Schamp, 2010]
- Géographie: théorie évolutive des villes [Pumain, 1997]
- Niches écologiques [Holland, 2012]

## **Concepts essentiels :**

(i) présence d'entités évolutives ; (ii) aux interactions plus ou moins circulaires ; (iii) dans des sous-systèmes territoriaux.

# Co-évolution des territoires et des réseaux: 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 :*

- ① niveau des agents
- ② niveau des populations d'agents (niches)
- ③ niveau global du système

## Entrées :

- ① Entrée empirique (niveau microscopique)
- ② Entrée par la morphogenèse (niveau de la niche)
- ③ Entrée par la théorie évolutive (niveau global)

# Co-évolution des territoires et des réseaux: 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 :*

- ① niveau des agents
- ② niveau des populations d'agents (niches)
- ③ niveau global du système

## Entrées :

- ① Entrée empirique (niveau microscopique)
- ② Entrée par la morphogenèse (niveau de la niche)
- ③ Entrée par la théorie évolutive (niveau global)

## 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 :*

- ① niveau des agents
- ② niveau des populations d'agents (niches)
- ③ niveau global du système

## Entrées :

- ① Entrée empirique (niveau microscopique)
- ② Entrée par la morphogenèse (niveau de la niche)
- ③ Entrée par la théorie évolutive (niveau global)

## 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

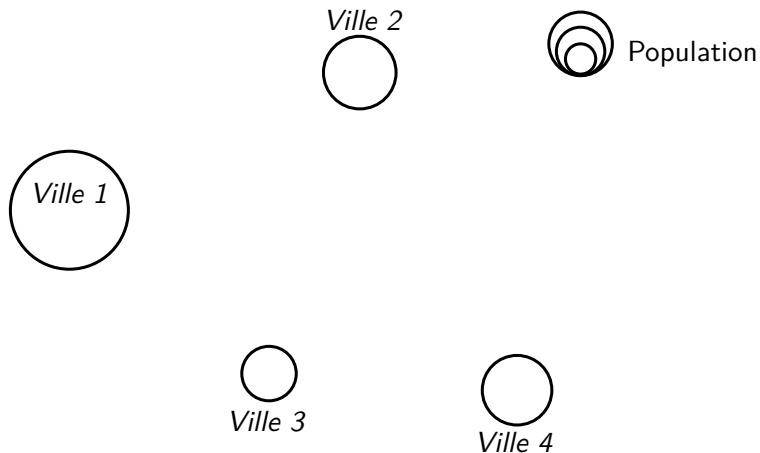
## Echelle macroscopique :

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

## Echelle mesoscopique :

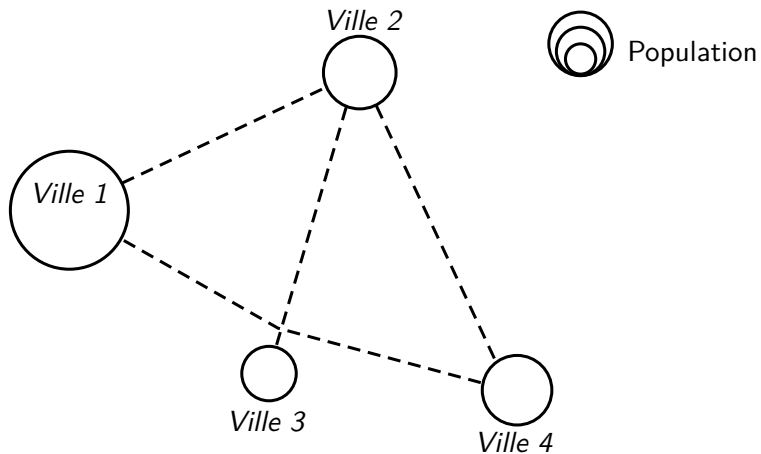
- Modèle de morphogenèse couplant forme urbaine et réseau  
→ *Complémentarité de multiples processus ; calibration au premier et second ordre*
- Extension et exploration du modèle Lutecia, incluant la gouvernance du système de transport

# Modèle macroscopique d'interaction

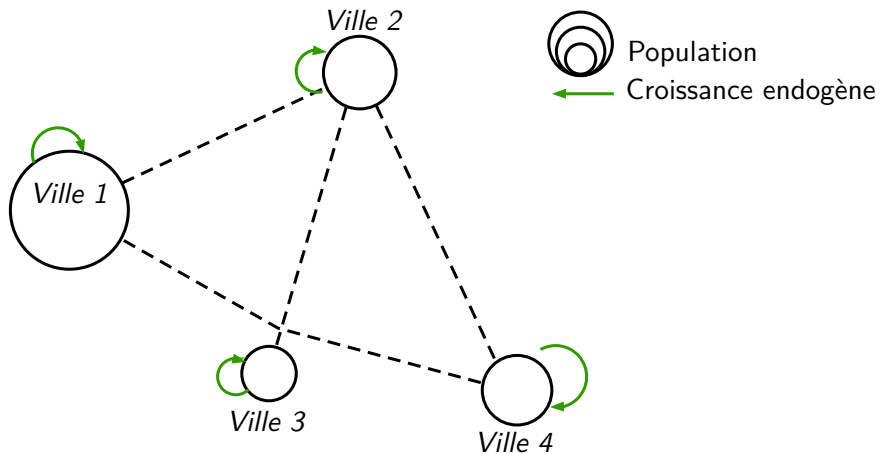




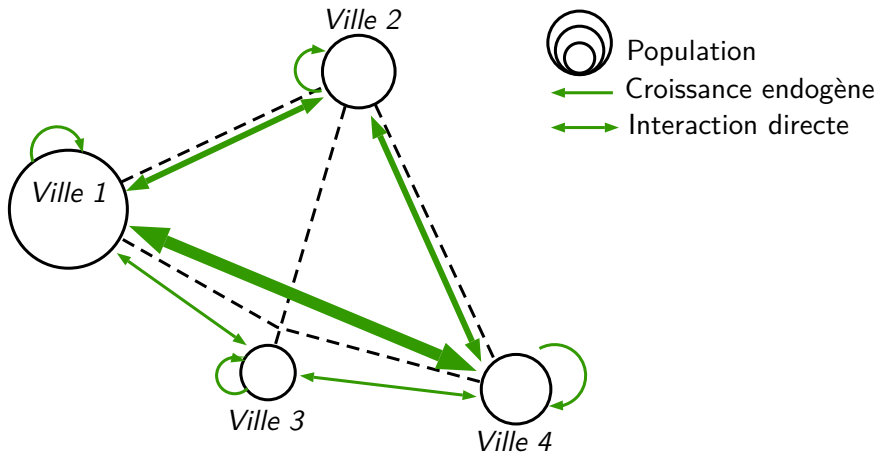
# Modèle macroscopique d'interaction



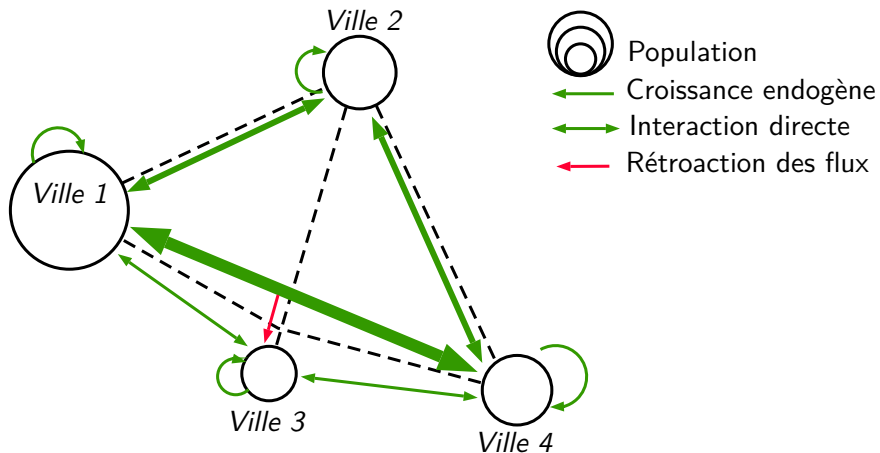
# Modèle macroscopique d'interaction



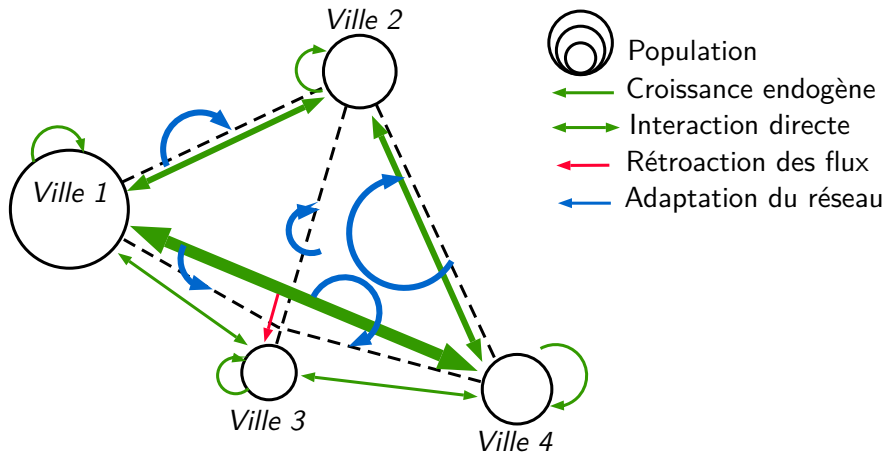
# Modèle macroscopique d'interaction



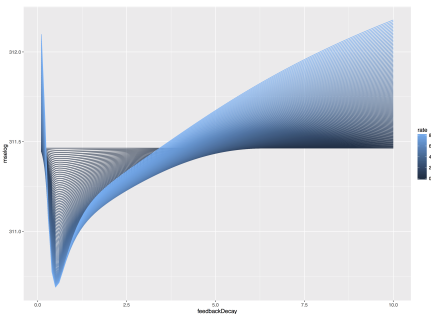
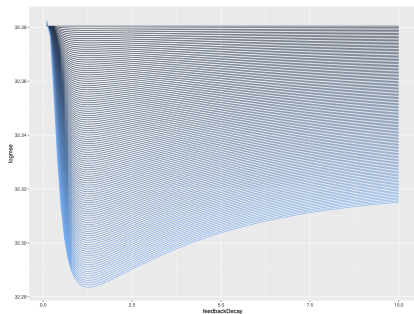
# Modèle macroscopique d'interaction



# Modèle macroscopique d'interaction

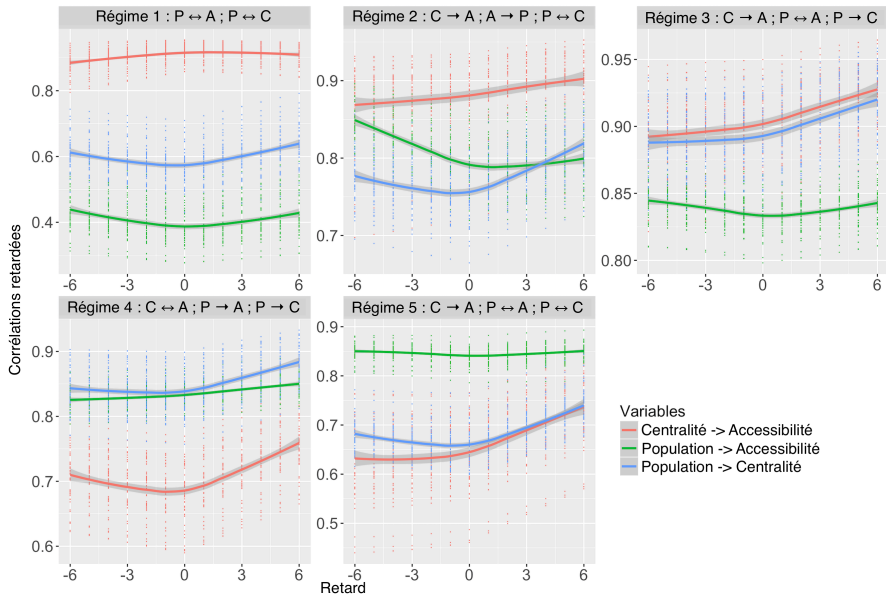


# Modèles macroscopiques : effets de réseaux



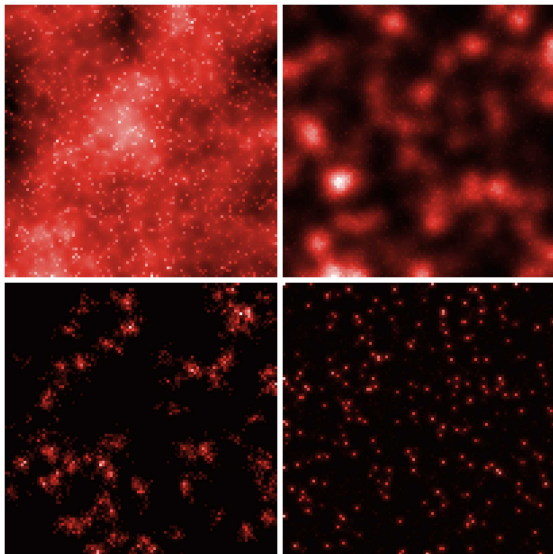
*Effets de réseau robustes au surapprentissage révélés par le modèle avec réseau statique [Raimbault, 2018b]*

# Modèles macroscopiques : régimes de co-évolution



*Multiplés régimes mis en évidence dans des configurations synthétiques*  
[Raimbault, 2018c]

# Modèles mesoscopiques : morphogenèse



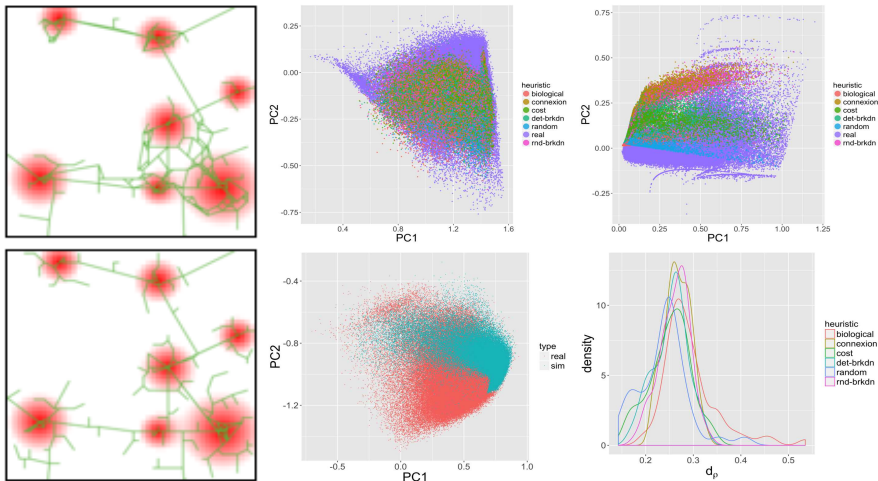
*Exemples de configuration territoriales générées par un modèle d'agrégation-diffusion pour la densité de population [Raimbault, 2018a]*



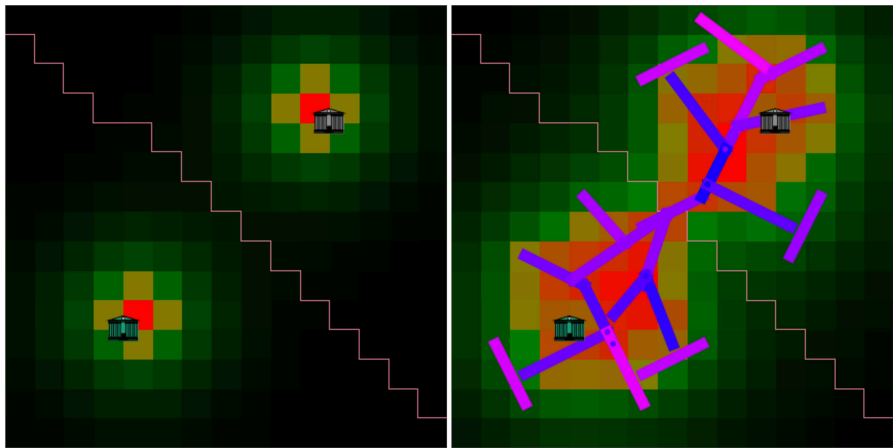
# Co-évolution par morphogénèse

Relation entre forme et fonction (morphogénèse) comme paradigme pour modéliser la co-évolution à l'échelle mésoscopique [Raimbault, 2018e]

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



*Le modèle Lutecia : vers une prise en compte de la gouvernance pour la croissance des réseaux de transport [Le Néchet and Raimbault, 2015]*



Utilisation de calcul intensif sur grille pour l'exploration et la calibration des modèles, rendue transparente par l'utilisation du logiciel OpenMOLE  
<https://next.openmole.org/>



*OpenMOLE: (i) embarque n'importe quel modèle ; (ii) permet un accès transparent aux environnements de calcul intensif ; (iii) fournit des méthodes pour l'exploration et la calibration des modèles de simulation.*

**Candidatures encore ouvertes pour l'école d'été !**

(<https://exmodelo.org/>)

## Echelle macroscopique

- Approche multiplexe pour les modes de transport
- Vers des modèles génériques d'interaction pour les systèmes de villes [Raimbault, 2018d]

## Echelle mesoscopique

- Généricité des types de formes urbaines
- Vers des modèles opérationnels à l'échelle métropolitaine (application de Lutecia)

## Vers des modèles multi-échelles

- Structure plus fine du réseau dans les modèles macroscopiques
- Couplage de modèles mesoscopiques au sein d'un modèle d'interaction pour la détermination des paramètres exogènes

→ Vers des théories intégratives des systèmes territoriaux ? **Multi-échelle.**

→ Multiples dimensions et caractéristiques urbaines ? **Interdisciplinarité.**

## Références

Raimbault, J. (2018). Indirect evidence of network effects in a system of cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2399808318774335.

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

Raimbault, J. (2018). Modeling the co-evolution of cities and networks. *Forthcoming in Handbook of cities and networks*, Rozenblat C., Niel Z., eds. arXiv:1804.09430.

Raimbault, J. (2018). An urban morphogenesis model capturing interactions between networks and territories. *Forthcoming in Mathematics of Urban Morphogenesis*, D'acchi L., ed., Springer Birkhauser Mathematics. arXiv :1805.05195

Raimbault, J. (2018). Caractérisation et modélisation de la co-évolution des réseaux de transport et des territoires (Doctoral dissertation, Université Paris 7 Denis Diderot).

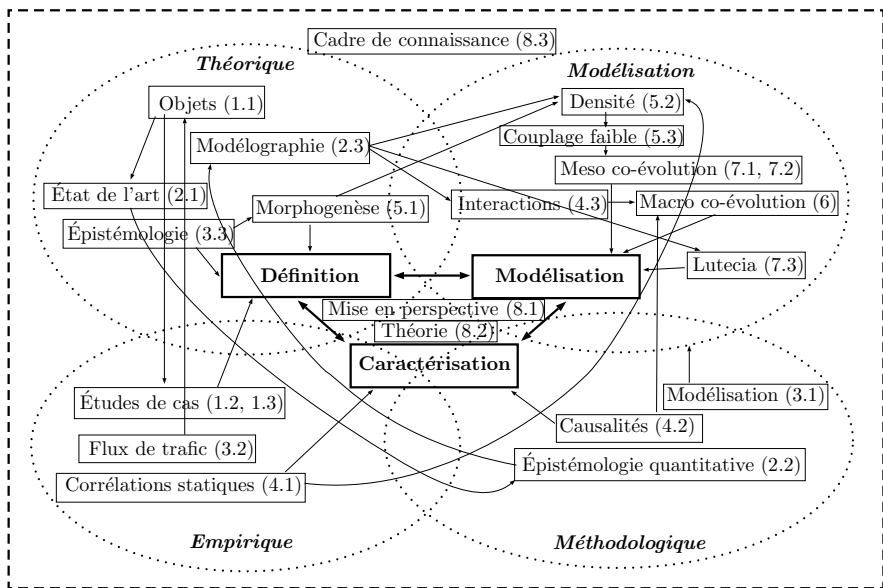
- Code, données et résultats disponibles à

<https://github.com/JusteRaimbault/CityNetwork>

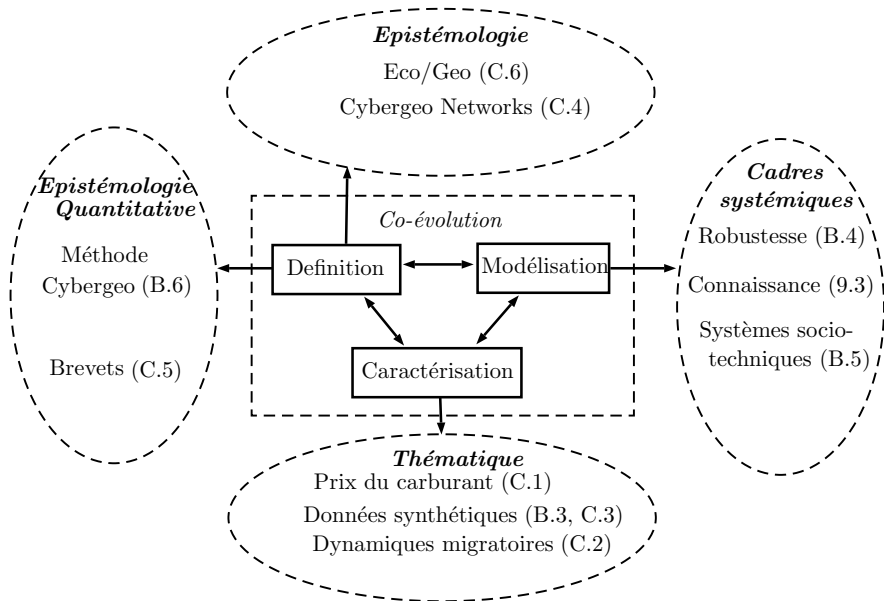
- Remerciements à *European Grid Infrastructure* et ses *National Grid Initiatives* (*France-Grilles* en particulier) pour le support technique et l'infrastructure.

## **Reserve Slides**

# Problématique et plan dans les domaines de connaissance

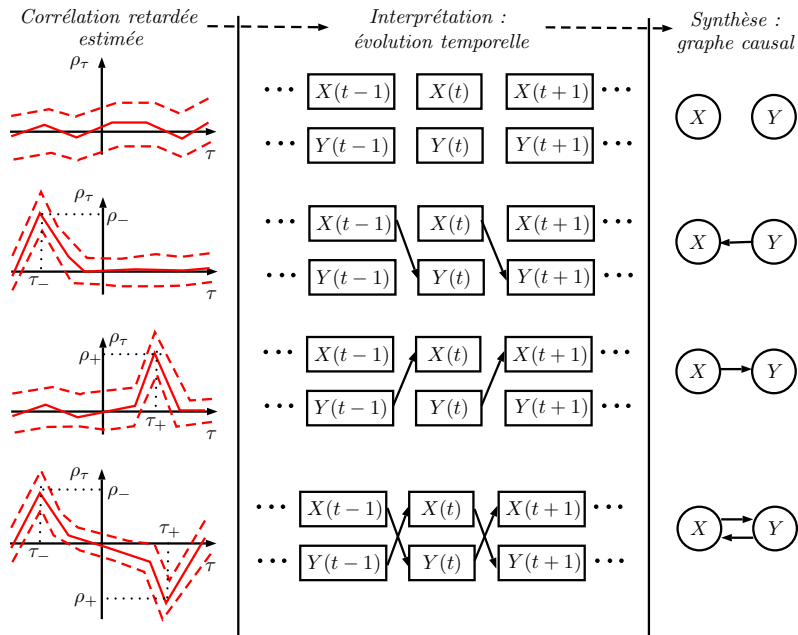


# Mise en perspective

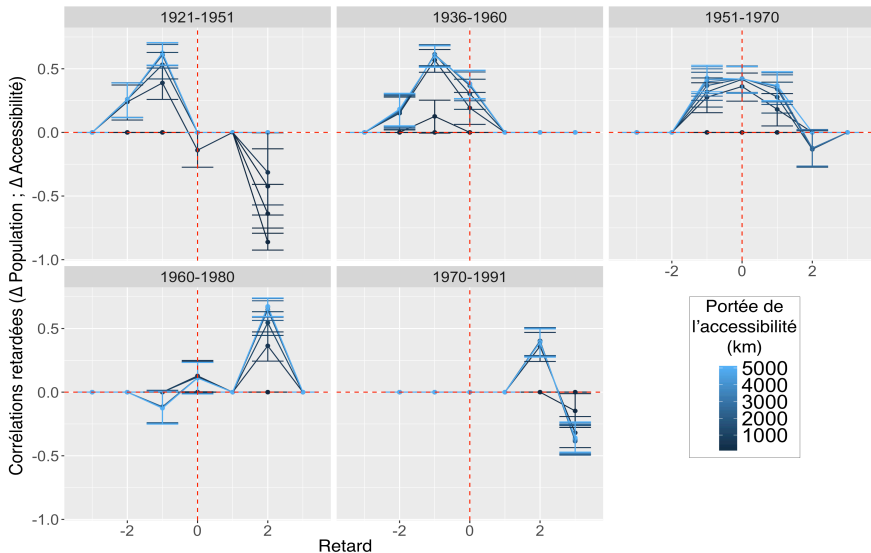




# Elaboration d'une méthode de caractérisation

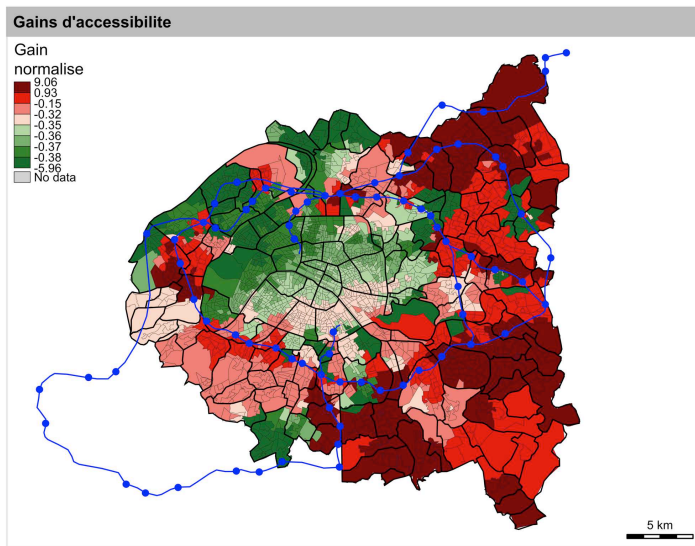


# Des observations empiriques contrastées



*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*



Durham, W. H. (1991).

*Coevolution: Genes, culture, and human diversity.*

Stanford University Press.



Holland, J. H. (2012).

*Signals and boundaries: Building blocks for complex adaptive systems.*

Mit Press.



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.*



Mesoudi, A. (2017).

Pursuing darwin's curious parallel: Prospects for a science of cultural evolution.

*Proceedings of the National Academy of Sciences*,  
114(30):7853–7860.



Pumain, D. (1997).

Pour une théorie évolutive des villes.

*Espace géographique*, 26(2):119–134.



Raimbault, J. (2018a).

Calibration of a density-based model of urban morphogenesis.

*PloS one*, 13(9):e0203516.



Raimbault, J. (2018b).

Indirect evidence of network effects in a system of cities.

*Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*,  
page 2399808318774335.



Raimbault, J. (2018c).

Modeling the co-evolution of cities and networks.

*Forthcoming in Handbook of Cities and Networks*, Niel Z.,  
Rozenblat C., eds. *arXiv:1804.09430*.



Raimbault, J. (2018d).

A systematic comparison of interaction models for systems of cities.

*In Conference on Complex Systems 2018*.



Raimbault, J. (2018e).

An urban morphogenesis model capturing interactions between networks and territories.

*Forthcoming in Mathematics of Urban Morphogenesis, D'acci L., ed., Springer Birkhauser Mathematics. arXiv:1805.05195.*



Schamp, E. W. (2010).

20 on the notion of co-evolution in economic geography.

*The handbook of evolutionary economic geography, page 432.*



Strauss, S. Y., Sahli, H., and Conner, J. K. (2005).

Toward a more trait-centered approach to diffuse (co) evolution.

*New Phytologist*, 165(1):81–90.



Volberda, H. W. and Lewin, A. Y. (2003).

Co-evolutionary dynamics within and between firms: From evolution to co-evolution.

*Journal of management studies*, 40(8):2111–2136.