

Co-construire Modèles, Etudes Empiriques et Théories en Géographie Théorique et Quantitative : le cas des Interactions entre Réseaux et Territoires

J. Raimbault^{1,2}

juste.raimbault@parisgeo.cnrs.fr

¹UMR CNRS 8504 Géographie-cités

²UMR-T IFSTTAR 9403 LVMT

13èmes Rencontres Théo Quant - Besançon
Atelier 1 : Modélisation et Simulation Urbaine (1)

17 mai 2017

TQG et Domaines de Connaissance

Le Meilleur endroit pour parler de Géographie Théorique et Quantitative ?
Un an sur deux avec ECQTG !

Quelle identité pour la TQG ? Nouvelles méthodes et outils
[Pumain and Robic, 2002] ; une particularité Européenne [Cuyala, 2013].
Existence cependant avérée d'épistémologies propres cohérentes (pour déplaire à [Ripoll, 2017])

Postulat : *L'essence de la TQG est dans le couplage fort et la co-construction des domaines de connaissances - initialement Théorie, Modélisation et Empirique au sens de [Livet et al., 2010] ; extension aux Méthodes, Outils et Données par [Rimbault, 2017b] décrivant un cadre épistémologique pour une Géographie Intégrée.*

Illustrations

Exemples de théories de référence illustrant cette co-construction :

- Théorie fractale des structures urbaines. De [Frankhauser, 1998] à [Frankhauser, 2008] : théorie, études de cas, données, méthodes (estimateurs, morpho. math.), outils (fractalyse)
- Projet TransmoDyn et transitions des systèmes de peuplements : co-construction renforcée par l'intégration disciplinaire
- Théorie Evolutive des Villes

Théorie Evolutive des Villes

Définition : *Une Théorie Géographique ayant pour ambition de rassembler la plupart des faits stylisés connus sur les villes et leur organisation dans les territoires, dans une perspective hors-équilibre et non statique, en les suivant sur de longues périodes de temps et mettant une emphase sur les facteurs structurants et les bifurcations.*

[Entretien avec D. Pumain, 03/2017]

→ Travaux précurseurs : manifeste théorique [Pumain, 1997] et modélisation [Sanders et al., 1997]

→ Relations “gagnant-gagnant” avec les informaticiens [Entretien avec R. Reuillon, 04/2017] : OpenMole [Reuillon et al., 2013] et Meta-heuristiques [Chérel et al., 2014]

→ Terrains variés et poussés ([Swerts, 2013] [Baffi, 2016]), modélisations intégrées ([Cottineau, 2014] [Schmitt, 2014]), épistémologie [Rey, 2015]

→ Cadre théorique et méthodes pour renouveler les ontologies : ex. def. ville [Entretien avec C. Cottineau, 05/2017]

→ L’analyse quantitative (réseau de citation) confirme cette structure (en revue)

Contexte et Démarche

Une illustration sur un exemple “vivant”

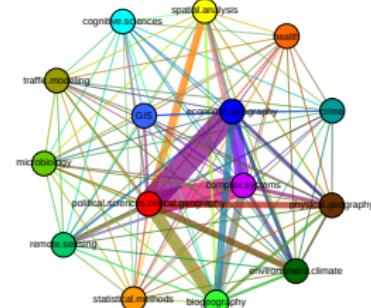
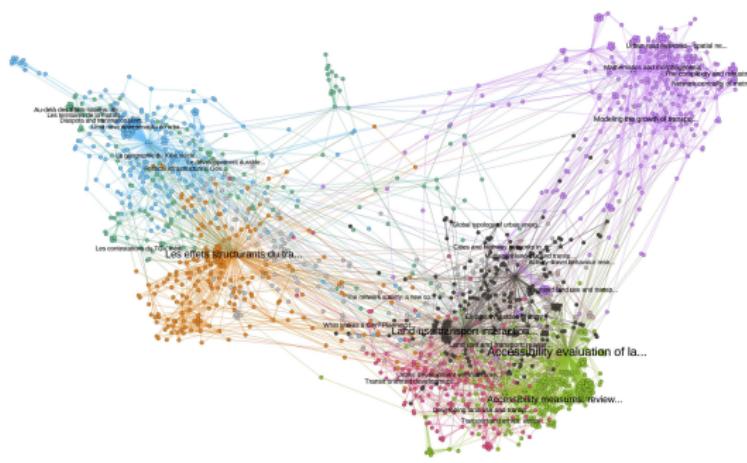
Objet d'étude : Interactions entre réseaux de transports et territoires.
Débats récurrents sur des causalités circulaires complexes [Offner, 1993] ;
Existence d'une co-évolution [Bretagnolle, 2009] mais peu de modèles
l'endogénéisant

→ Synthèse de travaux en cours visant à construire des modèles de
co-évolution : mobilise les différents domaines et implique une
construction théorique.

⚠ Difficulté de la narration linéaire : modèles de communication à
renouveler impérativement ? (pauvreté de la lecture linéaire, mémoires
prenant la poussière dans l'étagère ...)

Pourquoi une théorie et des modèles de co-évolution

[Rimbault, 2015b] : Revue Systématique Algorithmique reconstruisant la structure sémantique des disciplines étudiant un sujet donné ; Extension des méthodes et outils à une approche par hyperréseau dans [Rimbault, 2016d]
→ *cloisonnement disciplinaire fort : objet intermédiaire peu étudié par des disciplines ne communiquant pas, d'où l'intérêt de modèle et d'une théorie propre.*

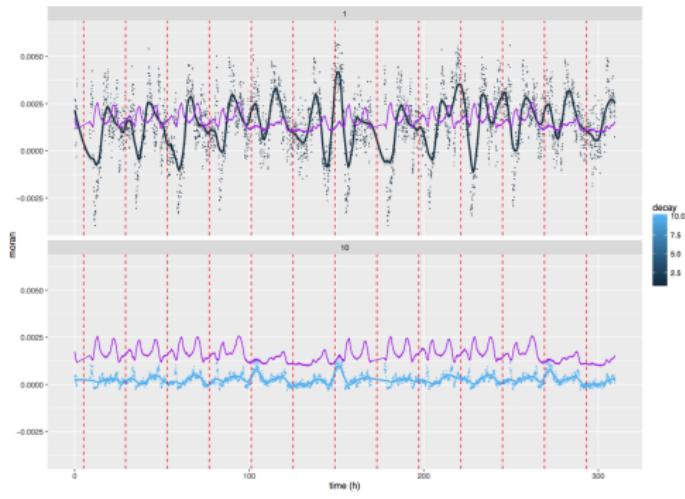
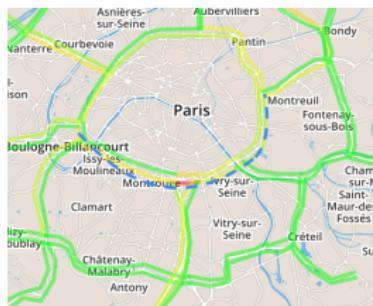


(Gauche) Réseau de citations fortement modulaire ; (Droite) illustration de la reconstruction sémantique de disciplines

Dynamiques Chaotiques des Systèmes de Transport

Etude de l'existence empirique de l'Equilibre Utilisateur Statique sur le réseau autoroutier d'Ile-de-France [Rimbault, 2017a]

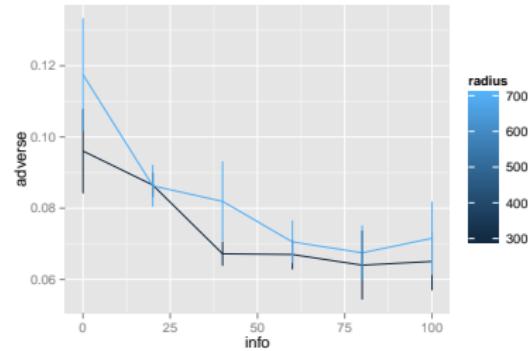
→ Non-stationnarité et caractère chaotique des dynamiques à l'échelle microscopique



Modélisation Basée-agent d'un Système de Transport

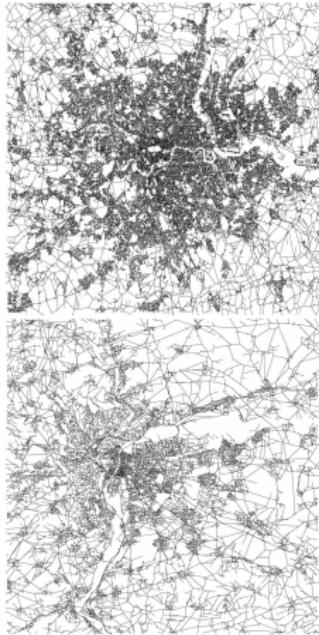
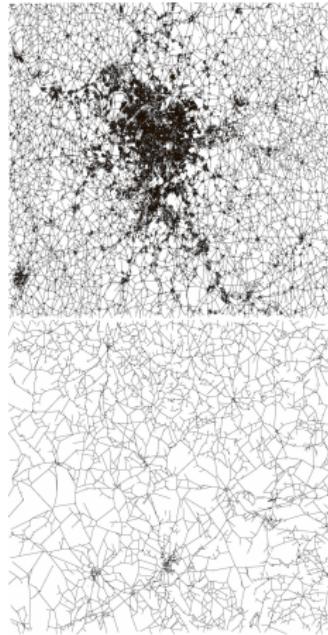
Un modèle agent pour tester des interventions basées sur l'utilisateur pour un système de vélo en partage [Raimbault, 2015c] ; modélisation hybride avec statistiques et choix discrets [Raimbault, 2015a]

→ Nécessité d'une prise en compte de l'hétérogénéité des processus



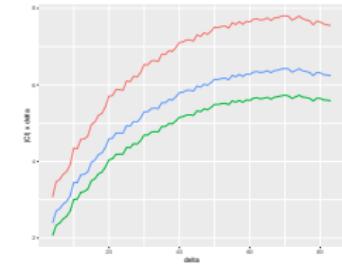
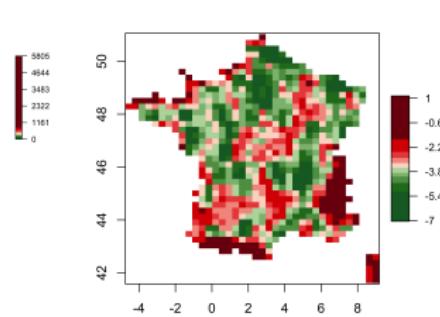
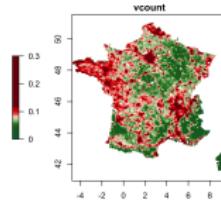
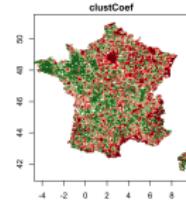
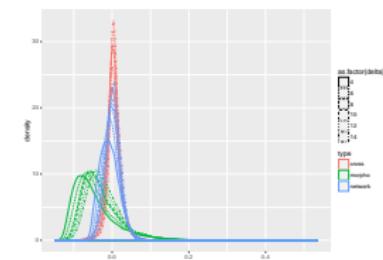
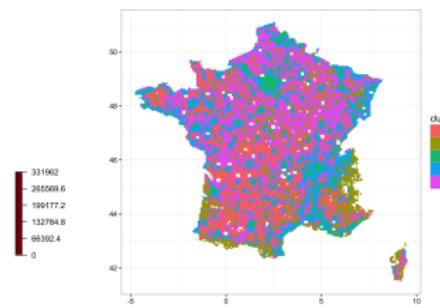
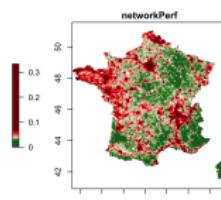
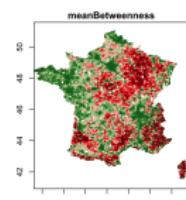
Analyse des Réseaux Routiers

Etude systématique de la topologie des réseaux routiers européens,
corrélation des indicateurs avec leur résilience
→ *Variabilité spatiale et caractère multi-scalaire des processus*



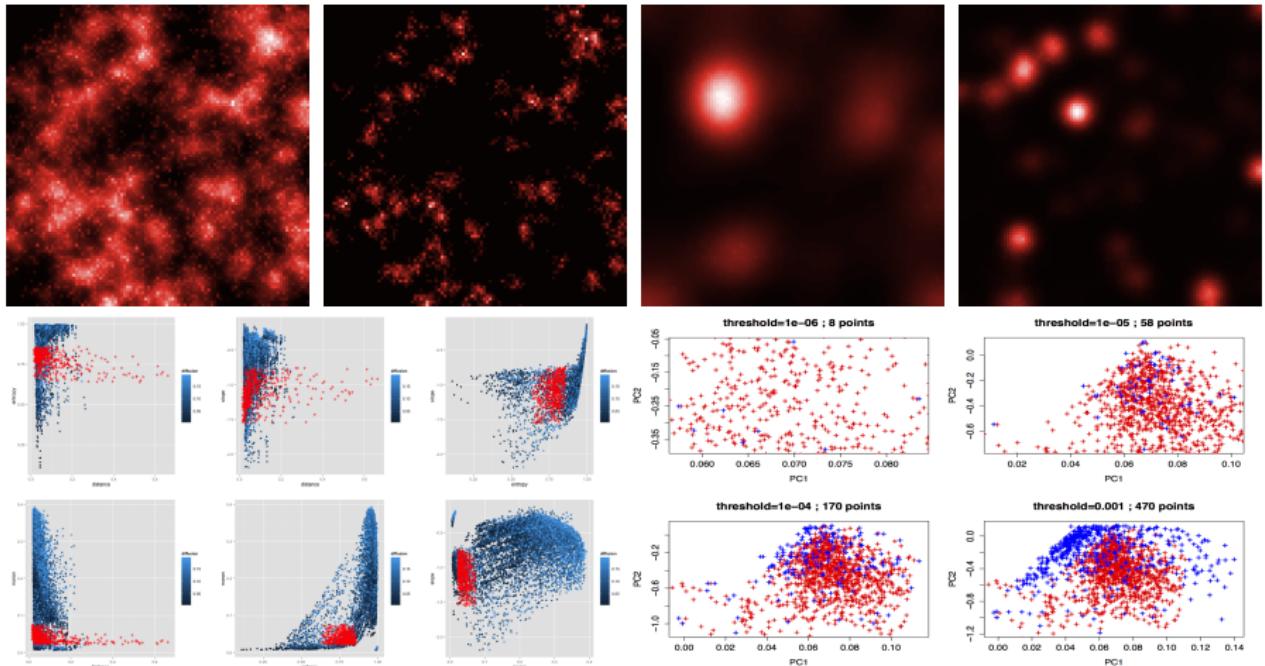
Correlations spatiales

[Raimbault, 2016b] : Données, outils et méthodes montrant la non-stationnarité spatiale et multi-scalarité des corrélations entre forme urbaine et topologie des réseaux



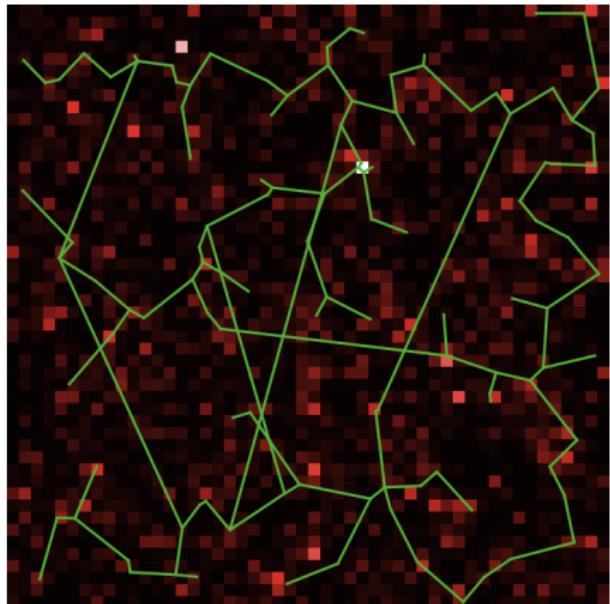
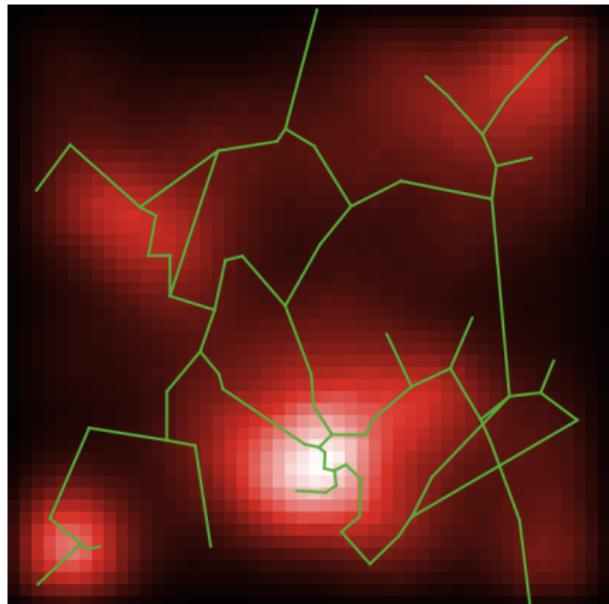
Croissance Urbaine par Aggregation-diffusion

Calibration morphologique d'un modèle de croissance urbaine par aggrégation-diffusion : suggestion de processus Morphogénétiques autonomes.



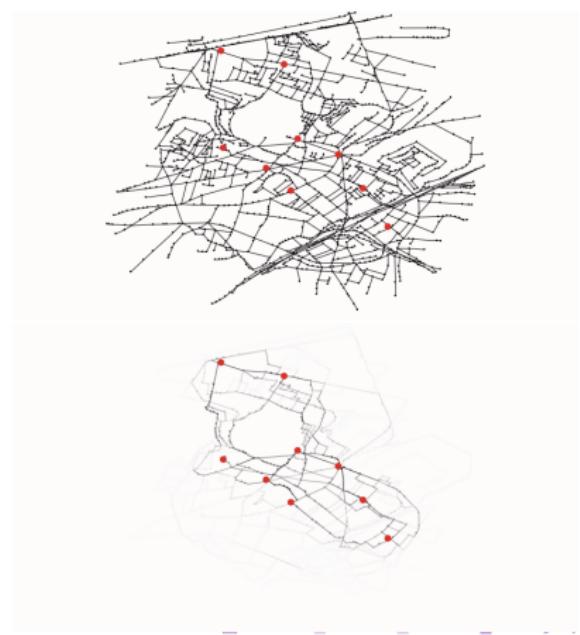
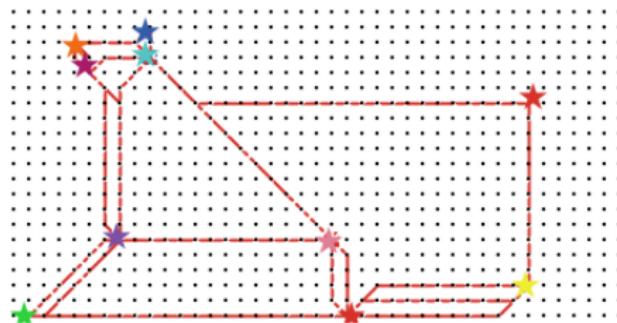
Données synthétiques corrélées

Modélisation avec couplage simple montre un vaste espace faisable des correlations simulées [Raimbault, 2016c]



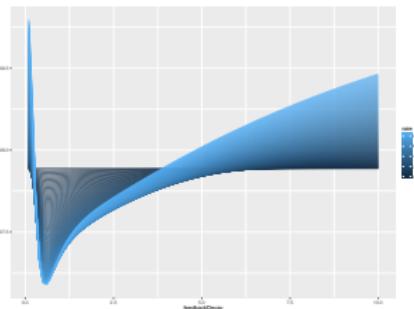
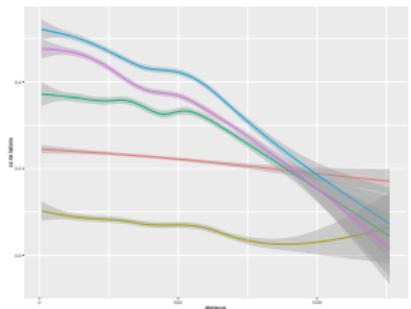
Morphogenèse des Réseaux de Transport

Morphogenèse d'un réseau de transport et design optimal via un modèle inspiré d'un système biologique (*slime mould*)
[Raimbault and Gonzalez, 2015]



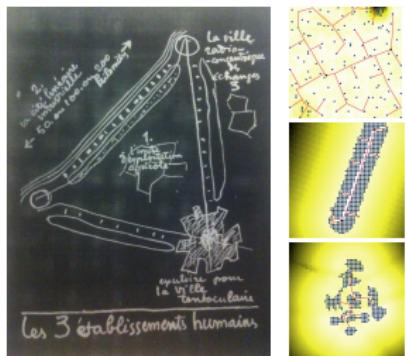
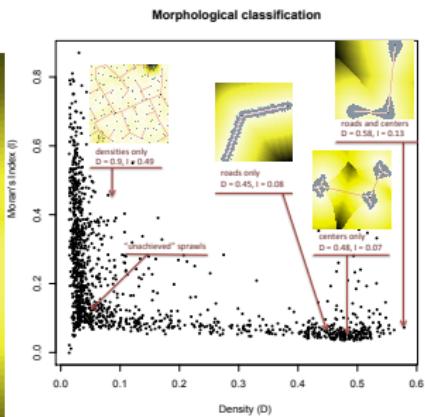
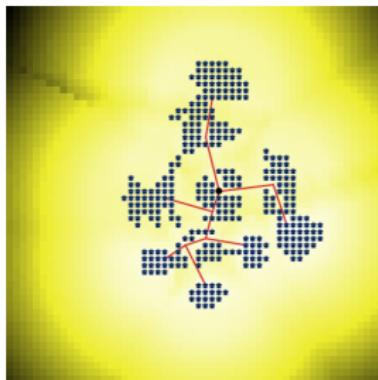
Croissance Macroscopique et Nécessité du réseau

Un modèle de croissance de population à l'échelle macroscopique révèle des effets du réseau physique dans le système de villes français
[Raimbault, 2016e]



Croissance couplée mesoscopique

Une dynamique co-évolutionnaire simple produit des formes urbaines stylisées à une échelle mesoscopique [Raimbault et al., 2014]



Développements en cours : Régimes de causalités clairement identifiables

Piliers de la Théorie

Vers une Théorie des Systèmes Territoriaux Co-évolutifs en Réseau
[Raimbault, 2016f] : fils directeurs des travaux précédents s'articulent en deux axes.

- ① *Morphogenèse Urbaine* → La Morphogenèse comme des règles autonomes pour expliquer la croissance de la forme urbaine : fournit des décompositions modulaires.
- ② *Systèmes Territoriaux co-évolutifs* → Importance du caractère non-stationnaire, hétérogène, multi-scalaire des systèmes urbains, contenu dans une approche en tant que Systèmes Complexes Adaptatifs.

Morphogenèse

Construction d'une définition interdisciplinaire de la Morphogenèse dans [Antelope et al., 2016]

Morphogenèse d'un système : Emergence de la forme et de la fonction par relations causales circulaires entre les deux, souvent autonomes entre les niveaux d'émergence ([Bedau, 2002]). Présence d'une fonction : architecture émergente [Doursat et al., 2012] (différent de systèmes simplement auto-organisés).

→ *Identification de sous-systèmes et échelles pertinents dans les systèmes territoriaux*

Systèmes Territoriaux Complexes en Réseaux

Définition des systèmes territoriaux

- *Théorie Evolutive Urbaine* → Systèmes de Villes comme Systèmes Complexes Adaptatifs, appliquée aux établissements humains en général et ainsi aux systèmes territoriaux.
- *Territoires Humains en Réseau* → Approche Raffestinienne du territoire [Raffestin, 1988] ("*conjonction d'un processus territorial avec un processus informationnel*"), combinée à la théorie des réseaux de Dupuy [Dupuy, 1987] (réalisation de réseaux transactionnels).
- *Co-évolution* → Co-évolution comme l'existence de *niches*, conséquence de motifs de frontières et signaux [Holland, 2012].

Formulation de la Théorie

Hypothèse : *l'existence de processus morphogénétiques dans lesquels les réseaux ont un rôle crucial est équivalente à la présence de sous-systèmes dans les systèmes territoriaux complexes en réseaux, qu'on définit alors comme co-évolutifs.*

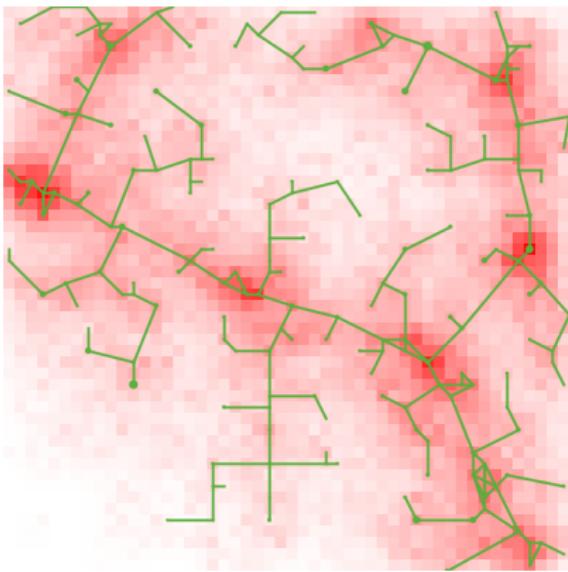
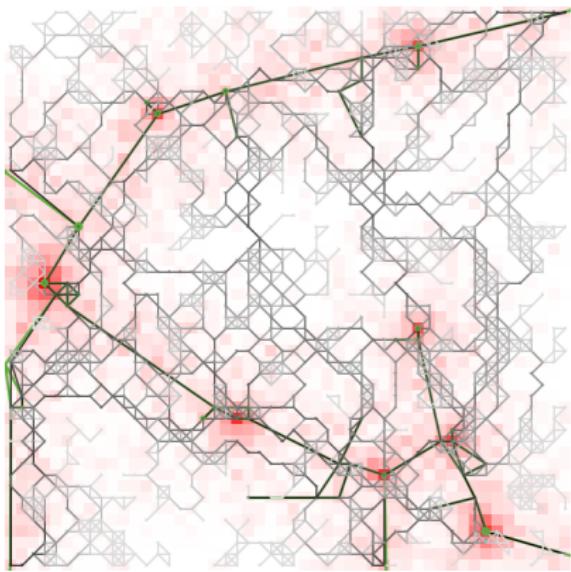
Implications

- Modélisation vers une méthodologie modulaire et de multi-modélisation afin d'exhiber des processus morphogénétiques
- Travaux empiriques vers une étude plus poussée des correlations, causalités (pour les séries temporelles) et recherche de décompositions modulaires des systèmes.

Co-évolution at the mesoscopic scale

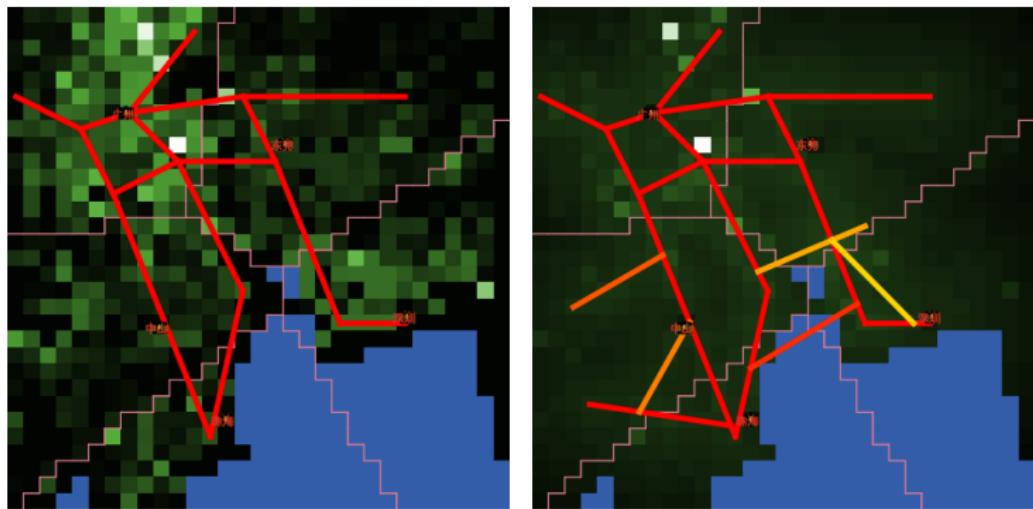
Retour de la théorie vers les modèles et les études empiriques

Multi-modélisation de la co-évolution à l'échelle mesoscopique (présentation à venir @CCS17)



Lutecia

Lutecia ([Le Néchet and Rimbault, 2015]) : un modèle de co-évolution incluant les processus de gouvernance d'extension des réseaux de transport ; application à la Mega-region Urbaine du Delta de la Rivière des Perles



Discussion

- Développements empiriques en cours, guidés par la construction théorique : régimes de causalités dans le modèle RBD ; causalités territoriales autour du Grand Paris Express ; Analyse spatio-temporelle des prix de vente de l'essence.
- Importance du positionnement dans le cadre de connaissance : allégorie de la TQG qui permet de mieux la comprendre ?
- Rôle de la Réflexivité : la méta-théorie présente des similitudes structurelles avec la théorie (co-évolution et morphogenèse). Besoin de théories reflexives/récursives pour les Systèmes Complexes ?

Conclusion

- Une illustration de la construction itérative et des allers-retours entre les différents domaines de connaissance en TQG (ou plutôt en *Géographie Intégrée* car lecture par notre prisme épistémologique propre).
 - Permet de tendre vers une plus grande intégration horizontale (questions transversales), verticale (disciplines intégrées) - cf. Roadmap Systèmes Complexes [Bourgine et al., 2009] - et des domaines de connaissance.
- Code et données des différentes études mentionnées disponible sur github à <https://github.com/JusteRaimbault>

Reserve slides

Reserve Slides

Fondements Epistémologiques du Cadre de Connaissances

1. Une approche cognitive de la Science [Giere, 2010b] : les *agents scientifiques* [Giere, 2010a] à l'origine des dynamiques co-évolutives des connaissances. Cadre épistémologique du perspectivisme [Giere, 2010c].
2. Compatible avec une *science anarchiste* à la Feyerabend [Feyerabend, 1993] : auto-organisation et émergence des connaissances
3. Extrême sur la “check-list” de Hacking [Hacking, 1999] (au delà de Kuhn) :
 - contingence maximale de par la nature dépendante au chemin du processus complexe de co-évolution des connaissances
 - degré de constructivisme maximal dans la posture perspectiviste
 - stabilité des sciences fortement couplée entre origine interne et externe de par le rôle des agents

Formulation (I)

Definition. La morphogenèse d'un système implique des relations circulaires causales et souvent autonomes entre les niveaux d'émergence ([Bedau, 2002]) entre *forme* et *fonction* [Antelope et al., 2016], et exhibe dans ce sens une architecture émergente [Doursat et al., 2012].

Fait stylisé. Il existe des processus de production de connaissances scientifiques morphogénétiques, constitués d'ensemble de *perspectives*, et impliquant une co-évolution des vecteurs (agents) et de domaines de connaissance (def. ci-dessous).

Postulat. La TQG en fait majoritairement partie et est en ce sens précurseur d'une *Géographie Intégrée*. [Note : appel aux épistémologues, démonstration systématique à effectuer]

Formulation (II)

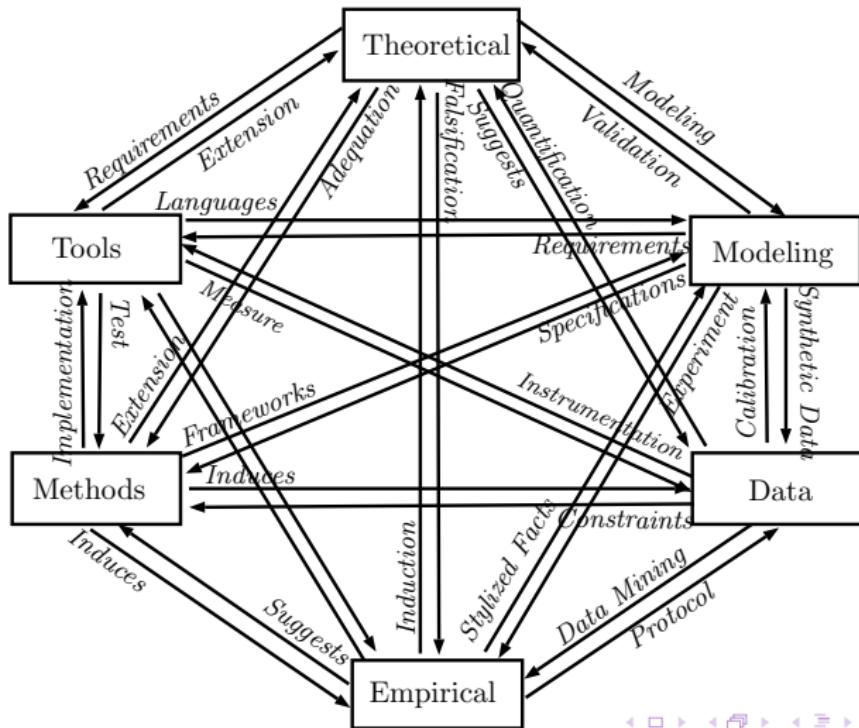
Définition des domaines.

- **Empirique** Connaissances empiriques sur des cas réels
- **Théorique** Construction cognitives plus générales
- **Modélisation** *Medium* formalisé de la perspective, ou tout modèle au sens de Varenne [Varenne, 2010]
- **Données** Information brute qui a été captée
- **Méthodes** Structures génériques de production de connaissances
- **Outils** Proto-méthodes et supports des autres domaines

Corolaire. La distinction entre “quantitatif” et “qualitatif” est arbitraire et sans intérêt pour la production dans ce cadre, de par la nécessité de l’ensemble de leur composantes dans l’ensemble des domaines.

Illustration

Projection de l'espace des connaissances comme graphe complet (qualifications arbitraires pour les relations binaires)



Implémentation du Cadre de Connaissances

Implémentation : Cadre meta, pouvant a priori être traduit dans la plupart des conceptions du modèle

- Modèles de simulation
- Modèles statistiques ou mathématiques
- Modèles de données
- Modèles conceptuels

Science Ouverte : Reproductibilité et transparence **totales** (sous conditions éthiques) postulées comme nécessaires (positionnement “politique” à ce stade, pourrait être étudié systématiquement [Fanelli et al., 2017]). Outils libres et ouverts, collaboratifs etc. (git : cf. [ReScience, 2015] Journal of Replicated Science)

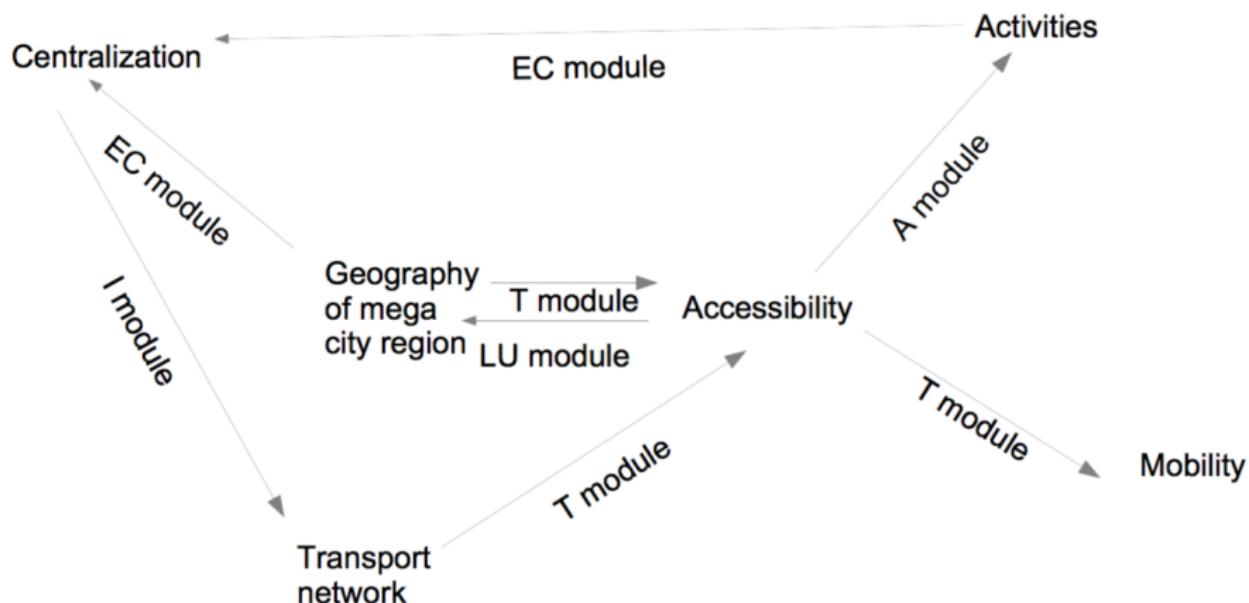
The LUTECIA Model : Rationale

Mega-city Regions [Hall and Pain, 2006] exhibit new qualitative regimes of urban systems ?

- A LUTI + infrastructure provision model (LUTECIA)
- Coevolution transport / urbanism (LUTI model with endogeneous transport infrastructure provision)
- Game theory framework to predict emergence of centralized decision within a polycentric region
- Importance of accessibility at MCR scale

The LUTECIA Model : Structure

LU : Land Use module ; T : Transport module ; EC : Evaluation of Centralized decision module ; I : Infrastructure provision module ; A : Agglomeration economies module



Governance Modeling

Matrix of actors utilities, depending on respective choices

1 2	C	A
C	$U_i = \kappa \cdot \Delta X_i(Z_C^*) - I - \frac{\delta I}{2}$	$\begin{cases} U_1 = \kappa \cdot \Delta X_1(Z_1^*) - I \\ U_2 = \kappa \cdot \Delta X_2(Z_2^*) - I - \frac{\delta I}{2} \end{cases}$
A	$\begin{cases} U_1 = \kappa \cdot \Delta X_1(Z_1^*) - I - \frac{\delta I}{2} \\ U_2 = \kappa \cdot \Delta X_2(Z_2^*) - I \end{cases}$	$U_i = \kappa \cdot \Delta X_i(Z_i^*) - I$

Two types of games implemented :

- Mixed Nash equilibrium, where actors compete
- One Rational Discrete Choice equilibrium

Extended Formalized Framework: Requirements

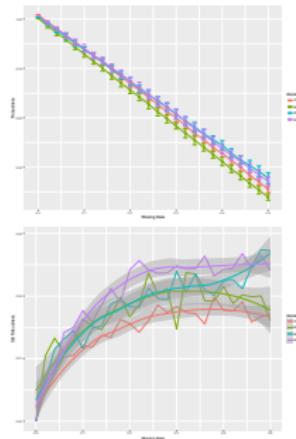
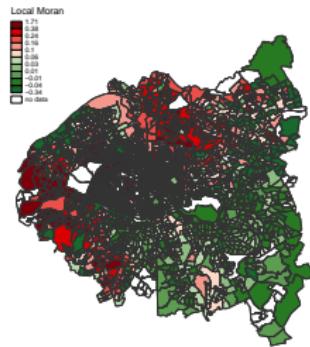
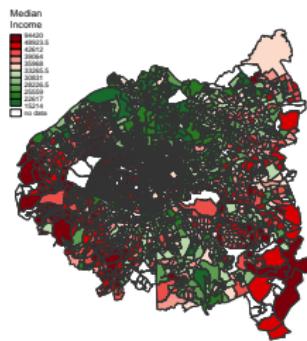
- a precise definition and emphasis on the notion of coupling between subsystems, in particular allowing to qualify or quantify a certain degree of coupling : dependence, interdependence, etc. between components.
- a precise definition of scale
- a precise definition of what is a system.
- the notion of emergence in order to capture multi-scale aspects of systems.
- a central place of ontology in the definition of systems, i.e. of the sense in the real world given to its objects
- heterogeneous aspects of the same system, that could be heterogeneous components but also complementary intersecting views.

Extended Formalized Framework: Summary

- Starting from a perspectivist approach to science [Giere, 2010c], a system is the superposition of perspectives on it, that are dataflow machines [Golden et al., 2012] with ontologies [Livet et al., 2010].
- Compatible notions of *emergence*, nominal and weak emergence [Bedau, 2002], yield pre-order relations on ontologies.
- An ontological graph is constructed by induction.
- The graph can be mapped to a minimal tree (directed forest), that captures a hierarchical structure of the system regarding emergence. “Strongly coupled” subsystems are encoded within nodes of the tree.

Robustness of Multi-attribute Evaluations

Data-driven and Model-independant framework to compare robustnesses of multi-attributes evaluations [Raimbault, 2016a]



References I

-  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.
-  Baffi, S. (2016).
Railways and city in territorialization processes in South Africa : from separation to integration ?
Theses, Université Paris 1 - Panthéon Sorbonne.
-  Bedau, M. (2002).
Downward causation and the autonomy of weak emergence.
Principia: an international journal of epistemology, 6(1):5–50.
-  Bourgine, P., Chavalarias, D., and al. (2009).
French Roadmap for complex Systems 2008-2009.
ArXiv e-prints.

References II

-  Bretagnolle, A. (2009).
Villes et réseaux de transport : des interactions dans la longue durée, France, Europe, États-Unis.
Hdr, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I.
-  Chérel, G., Cottineau, C., and Reuillon, R. (2015).
Beyond corroboration: Strengthening model validation by looking for unexpected patterns.
PLoS ONE, 10(9):e0138212.
-  Cottineau, C. (2014).
L'évolution des villes dans l'espace post-soviétique. Observation et modélisations.
PhD thesis, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

References III

-  Cuyala, S. (2013).
La diffusion de la géographie théorique et quantitative européenne francophone d'après les réseaux de communications aux colloques européens (1978-2011).
Cybergeo: European Journal of Geography.
-  Doursat, R., Sayama, H., and Michel, O. (2012).
Morphogenetic engineering: toward programmable complex systems.
Springer.
-  Dupuy, G. (1987).
Vers une théorie territoriale des réseaux: une application au transport urbain.
In *Annales de Géographie*, pages 658–679. JSTOR.

References IV

-  Fanelli, D., Costas, R., and Ioannidis, J. P. A. (2017).
Meta-assessment of bias in science.
Proceedings of the National Academy of Sciences,
114(14):3714–3719.
-  Feyerabend, P. (1993).
Against method.
Verso.
-  Frankhauser, P. (1998).
Fractal geometry of urban patterns and their morphogenesis.
Discrete Dynamics in Nature and Society, 2(2):127–145.
-  Frankhauser, P. (2008).
Fractal geometry for measuring and modelling urban patterns.
In *The dynamics of complex urban systems*, pages 213–243. Springer.

References V

-  Giere, R. N. (2010a).
An agent-based conception of models and scientific representation.
Synthese, 172(2):269–281.
-  Giere, R. N. (2010b).
Explaining science: A cognitive approach.
University of Chicago Press.
-  Giere, R. N. (2010c).
Scientific perspectivism.
University of Chicago Press.
-  Golden, B., Aiguier, M., and Krob, D. (2012).
Modeling of complex systems ii: A minimalist and unified semantics
for heterogeneous integrated systems.
Applied Mathematics and Computation, 218(16):8039–8055.

References VI

-  Hacking, I. (1999).
The social construction of what?
Harvard university press.
-  Hall, P. G. and Pain, K. (2006).
The polycentric metropolis: learning from mega-city regions in Europe.
Routledge.
-  Holland, J. H. (2012).
Signals and boundaries: Building blocks for complex adaptive systems.
Mit Press.

References VII

-  Le Néchet, F. and Rimbault, J. (2015).
Modeling the emergence of metropolitan transport autorithy in a polycentric urban region.
Plurimondi. An International Forum for Research and Debate on Human Settlements, 7(15).
-  Livet, P., Muller, J.-P., Phan, D., and Sanders, L. (2010).
Ontology, a mediator for agent-based modeling in social science.
Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 13(1):3.
-  Offner, J.-M. (1993).
Les "effets structurants" du transport: mythe politique, mystification scientifique.
Espace géographique, 22(3):233–242.

References VIII

-  Pumain, D. (1997).
Pour une théorie évolutive des villes.
Espace géographique, 26(2):119–134.
-  Pumain, D. and 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(1):123–144.
-  Raffestin, C. (1988).
Repères pour une théorie de la territorialité humaine.
-  Raimbault, J. (2015a).
Hybrid modeling of a bike-sharing transportation system.
In *International Conference on Computational Social Science*.

References IX

-  Rimbault, 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).
-  Rimbault, J. (2015c).
User-based solutions for increasing level of service in bike-sharing
transportation systems.
In *Complex Systems Design & Management*, pages 31–44. Springer.
-  Rimbault, J. (2016a).
A discrepancy-based framework to compare robustness between
multi-attribute evaluations.
Forthcoming in Proceedings of CSDM 2016. arXiv preprint arXiv:1608.00840.

References X

-  Rimbault, 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)*.
-  Rimbault, J. (2016c).
Generation of correlated synthetic data.
In *Actes des Journees de Rochebrune 2016*.
-  Rimbault, J. (2016d).
Indirect bibliometrics by complex network analysis.
In *20e Anniversaire de Cybergeo*.

References XI

-  Rimbault, J. (2016e).
Models of growth for system of cities : Back to the simple.
forthcoming presentation at CCS2016, 19-22 September,
Amsterdam. Abstract available at
<https://github.com/JusteRimbault/CityNetwork/blob/master/Docs/Co>
-  Rimbault, J. (2016f).
Towards a theory of co-evolutive networked territorial systems:
Insights from transportation governance modeling in pearl river delta,
china.
In Medium Seminar-Urban Sustainable Development in Zhuhai.
-  Rimbault, J. (2017a).
Investigating the empirical existence of static user equilibrium.
Transportation Research Procedia, 22C:450–458.

References XII

-  Rimbault, J. (2017b).
Un Cadre de Connaissances pour une Géographie Intégrée.
In *Journée des jeunes chercheurs de l'Institut de Géographie de Paris*,
Paris, France.
-  Rimbault, 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.

References XIII

-  Rimbault, 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*.
-  ReScience (2015).
Rescience journal, <https://rescience.github.io/>.
-  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 XIV

-  Rey, S. (2015). *Une plateforme intégrée pour la construction et Une plateforme intégrée pour la construction et l'évaluation de modèles de simulation en géographie.* PhD thesis, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
-  Ripoll, F. (2017). Géographie de l'alternatif, géographies alternatives ? grand témoin. In *Journée des Jeunes Chercheurs de l'Institut de Géographie*.
-  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.

References XV

-  Schmitt, C. (2014).
Modélisation de la dynamique des systèmes de peuplement: de SimpopLocal à SimpopNet.
PhD thesis, Paris 1.
-  Swerts, E. (2013).
Les systèmes de villes en inde et en chine.
-  Varenne, F. (2010).
Les simulations computationnelles dans les sciences sociales.
Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales, 5(2):17–49.