

Espace et complexités des systèmes territoriaux

J. Raimbault^{1,2,3}

`juste.raimbault@iscpif.fr`

¹UPS CNRS 3611 ISC-PIF

²CASA, UCL

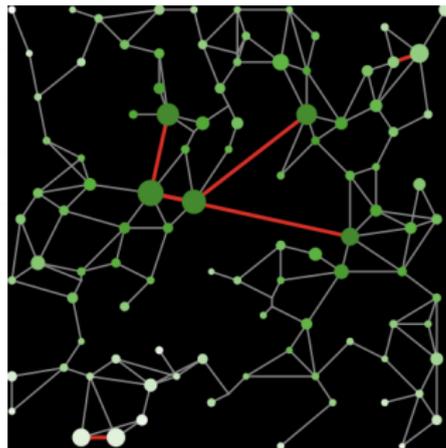
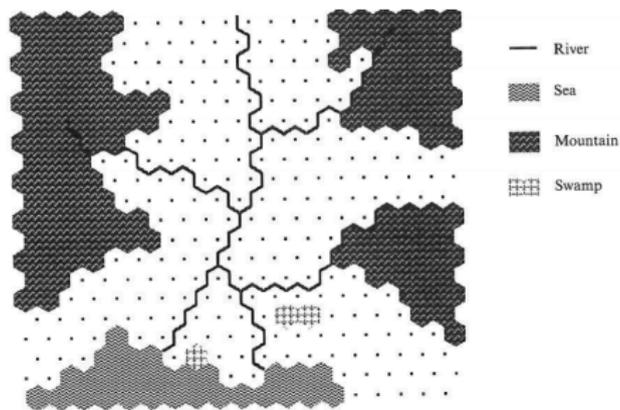
³UMR CNRS 8504 Géographie-cités

Journées de Rochebrune 2019

21 janvier 2018

Systèmes socio-spatiaux auto-organisés

- théorie évolutive urbaine [Pumain, 2018]
- co-évolution entre et au sein des sous-systèmes [Raimbault, 2018b]
- interactions et dynamiques embarquées dans l'espace



Modèles Simpop1 [Sanders et al., 1997] et SimpopNet [Schmitt, 2014]

Quelle complexité pour les systèmes territoriaux ? [Batty, 2018]

→ diversité des définitions, caractérisations, cadres de la complexité [Chu, 2000]

→ les cauchemars du démon de Laplace ? [Deffuant et al., 2015]

→ complémentarité des facettes de la complexité [Raimbault, 2018d]

Complexité computationnelle, complexité algorithmique, théorie multiscalaire de l'information, chaos dynamique, criticalité auto-organisée, morphogenèse, autopoïèse, complexité sociale . . .

Quel rôle de l'espace pour la complexité des systèmes territoriaux ?

→ Illustration de facettes de la complexité des systèmes territoriaux pour

- complexité ontologique
- émergence
- complexité dynamique
- co-évolution

Définition de la complexité particulièrement pertinente pour les systèmes sociaux par [Pumain, 2003] : nombres de points de vue nécessaires pour cerner un système (**complexité ontologique**)

→ multidimensionalité des systèmes urbains reste un défi [Perez et al., 2016] ; difficulté de l'interdisciplinarité [Dupuy and Benguigui, 2015]

→ richesse des approches montrée par [Raimbault, 2017b] pour l'exemple des interactions entre réseaux et territoires

→ richesse de l'espace dans la tension entre économie géographique et géographie économique [Marchionni, 2004][Sanders et al., 2018] ; se prolonge sur le plan méthodologique (ABM vs analytique)

Complexité au sens de **l'émergence faible** [Bedau, 2002]

→ nature intrinsèquement multi-échelle des systèmes de villes [Pumain, 1997]
; nécessité de modèles opérationnels multi-scalaires

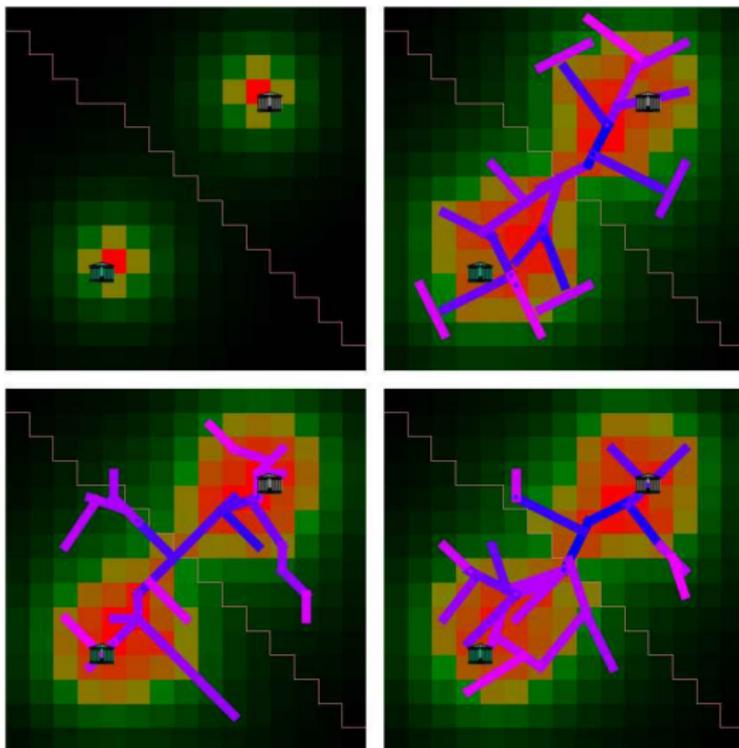
[Rozenblat and Pumain, 2018]

→ pas nécessité de complexité ontologique forte pour avoir émergence faible : exemple de la congestion du trafic [Treiber et al., 2010]

→ auto-organisation spatialisée essentielle à ces processus ; concept de morphogenèse : forme et fonction [Doursat et al., 2012]

Emergence : le modèle Lutecia

Co-évolution et émergence d'un niveau intermédiaire de gouvernance au sein des méga-régions urbaines [Le Néchet and Raimbault, 2015]

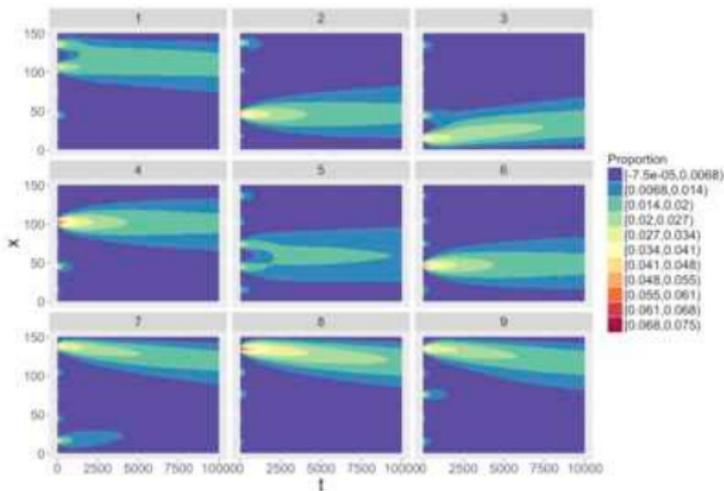
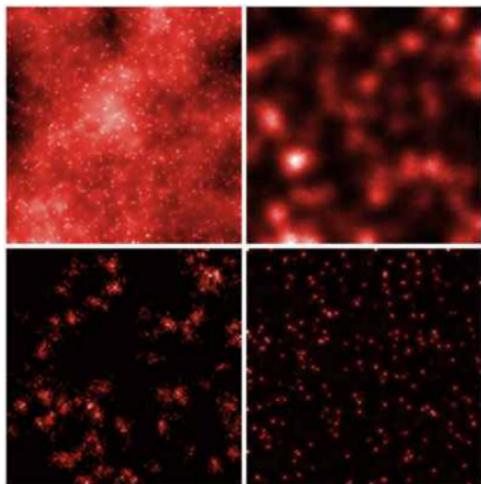


Chaos, bifurcations, dépendance au chemin dans les systèmes dynamiques : **complexité dynamique**

- conceptuellement ancien en géographie [Dauphiné, 1995] ; question ouverte du chaos spatio-temporel [Crutchfield and Kaneko, 1987]
- approches fractales [Batty and Longley, 1994], appliquées en pratique [Yamu and Frankhauser, 2015]
- liens entre non-stationnarité et non-ergodicité ? [Pumain, 2012]

Morphogenèse par agrégation-diffusion

Exploration d'un modèle de morphogenèse urbaine par agrégation-diffusion [Raimbault, 2018a]



Calculs distribués sur grille par l'intermédiaire du logiciel open source OpenMOLE <https://next.openmole.org/> [Reuillon et al., 2013]

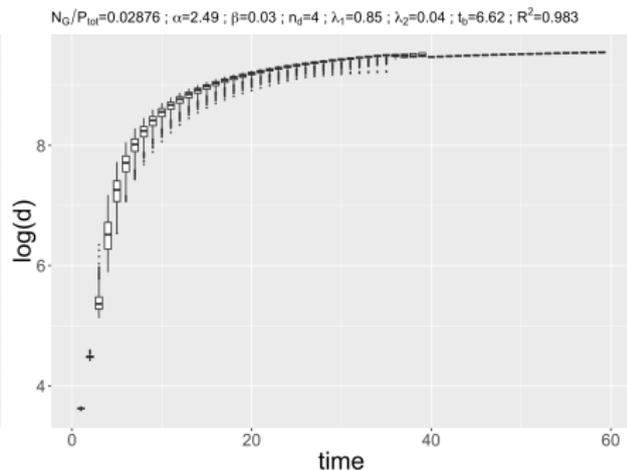
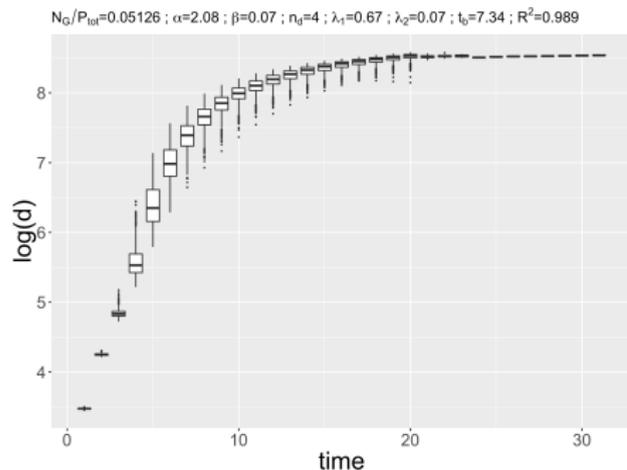


OpenMOLE: (i) embarque tout modèle comme une boîte noire ; (ii) fournit un accès transparent aux environnements de calcul haute performance ; (iii) fournit des méthodes d'exploration et de calibration des modèles de simulation.

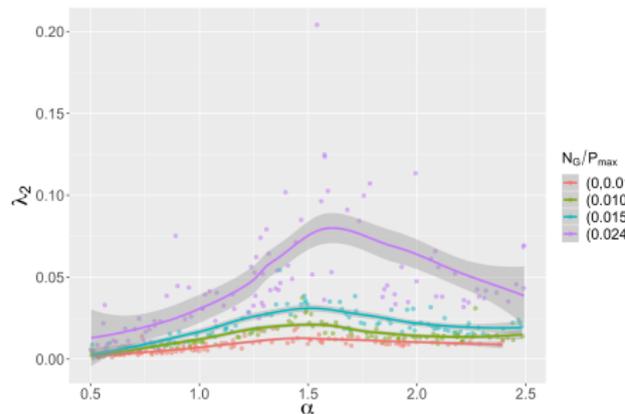
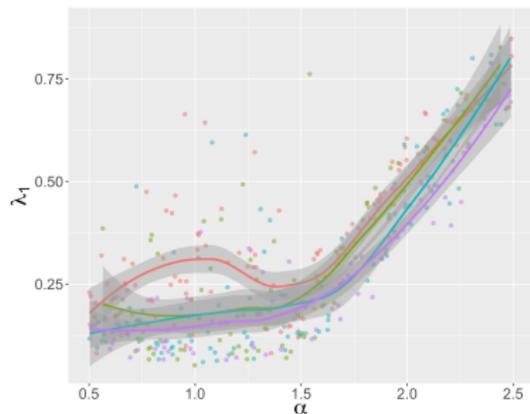
Ecole d'été ExModelo : *save the date* pour juin 2020
(<https://exmodelo.org/>)

Sensibilité aux conditions initiales

Estimation de l'exposant de Lyapounov local pour la distribution des populations : ajustement linéaire par morceaux de $\log \|P^{(1)} - P^{(2)}\|$ pour deux réalisations indépendantes à partir d'une configuration initiale sensible

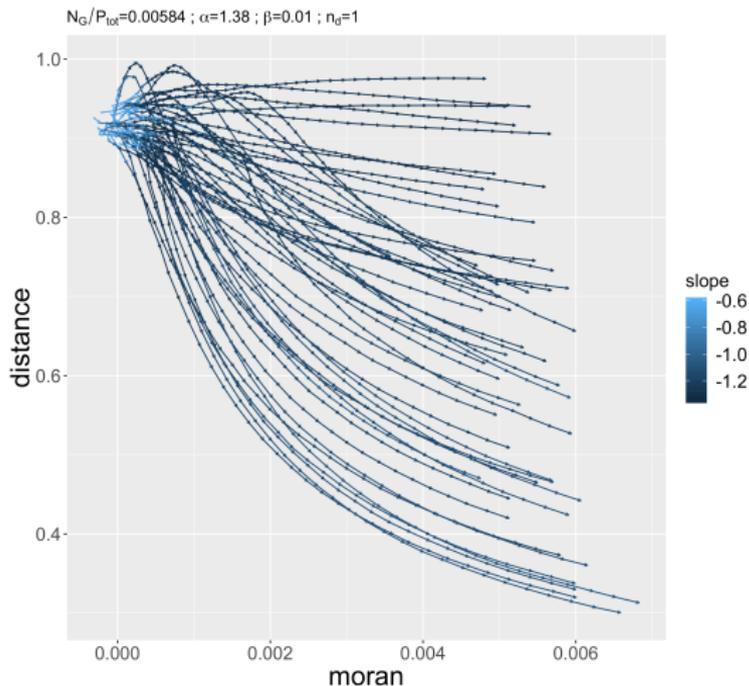


Changement de régime inattendu à $\alpha \simeq 1.5$: seuil de sensibilité de la structure urbaine



Dépendance au chemin

Trajectoire des indicateurs morphologiques agrégés : existence de trajectoires qui se croisent (impossibilité de représentation en système différentiel déterministe par Cauchy-Lipschitz), dépendance au chemin pour les trajectoires correspondantes



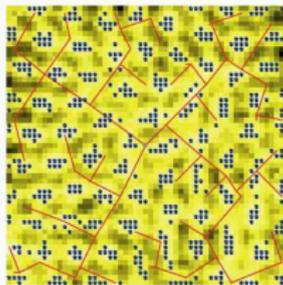
La complexité comme existence de **niches de co-évolution** (niches territoriales, au sens étendu de [Holland, 2012])

→ [Raimbault, 2018b] propose une définition de la co-évolution multi-niveau spécifique aux systèmes territoriaux ; [Raimbault, 2018c] émergence de niches au sein d'un modèle macroscopique de co-évolution ; [Raimbault, 2017a] méthode de caractérisation empirique basée sur les corrélations retardées

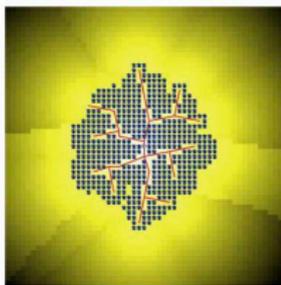
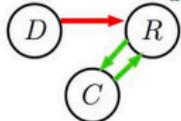
Question ouverte : rôle de la non-stationnarité spatiale des processus dans l'émergence de niches territoriales ? (aka *un certain niveau de "complexité" spatiale implique-t-il co-évolution ?*)

→ extension d'un modèle de morphogenèse urbaine par co-évolution (modèle RBD [Raimbault et al., 2014]) par non-stationnarité ; extension spatiale de la méthode de détection de régimes de co-évolution [Raimbault, 2017a] (détection de niches)

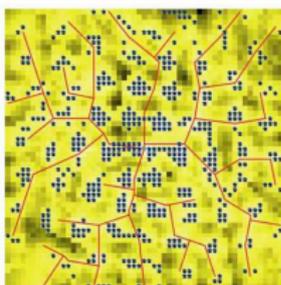
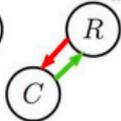
Le modèle RBD



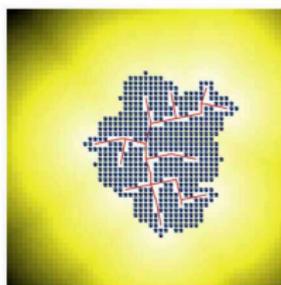
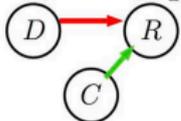
$$w_r = 0, w_c = 0, w_d = 1$$



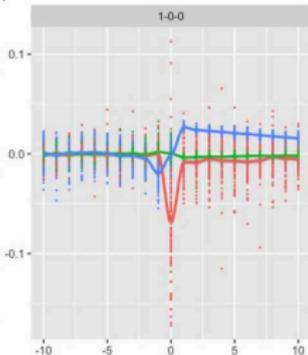
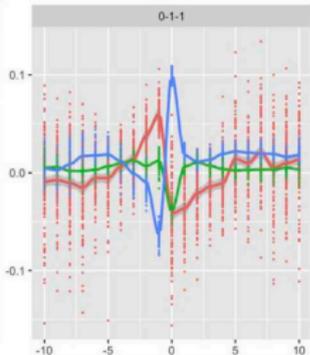
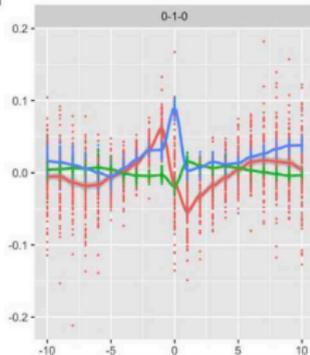
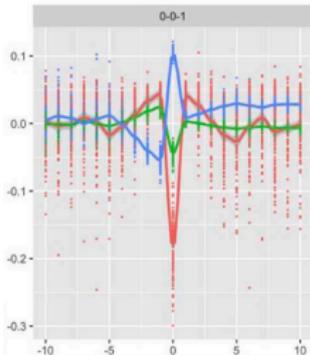
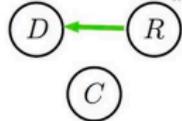
$$w_r = 0, w_c = 1, w_d = 0$$



$$w_r = 0, w_c = 1, w_d = 1$$

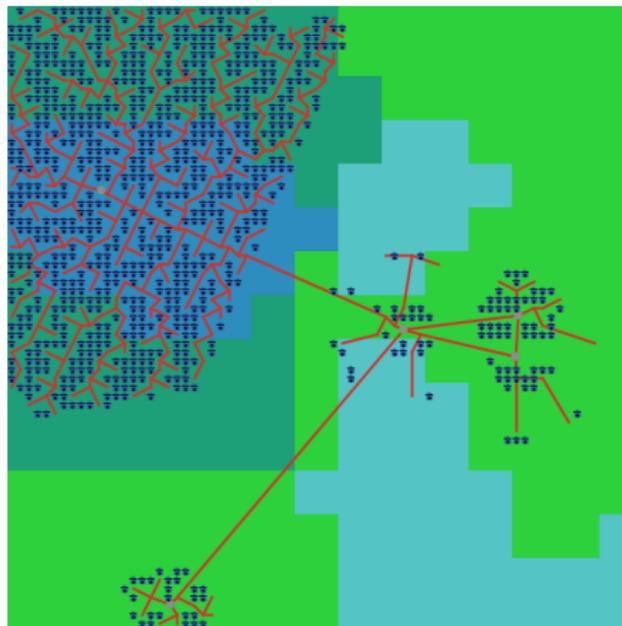
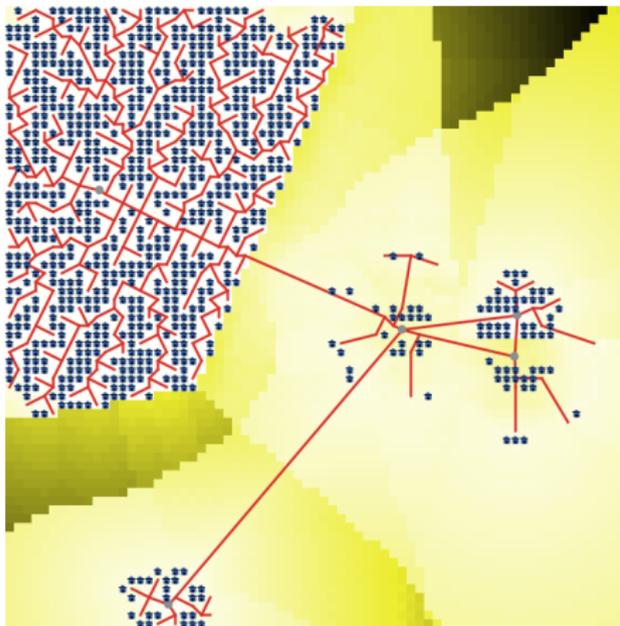


$$w_r = 1, w_c = 0, w_d = 0$$



Détection spatiale des régimes de co-évolution

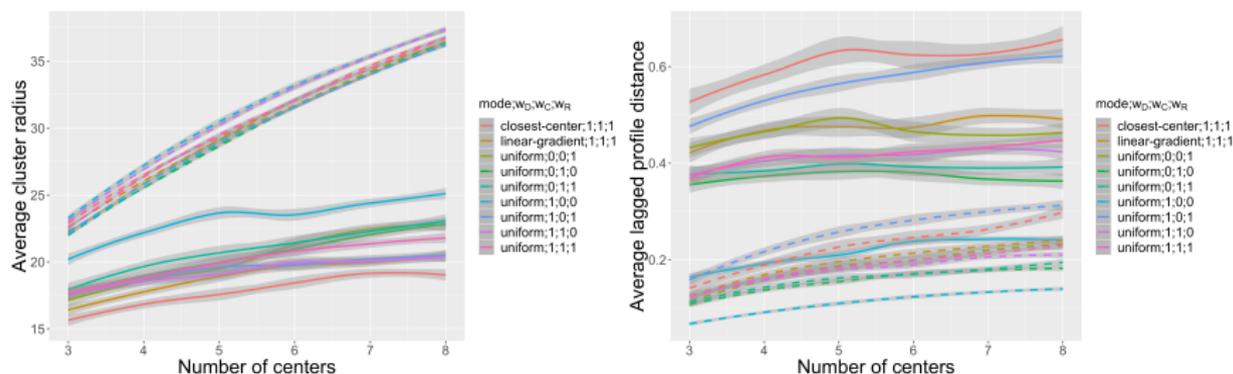
Classification non-supervisée pour les profils de corrélations retardées estimés sur des fenêtres glissantes



Emergence de niches territoriales

→ Indicateurs pour quantifier le “niveau de niche” des clusters obtenus : rayon normalisé moyen ; distance entre les features des centroïdes ; distance au centres de non-stationnarité ; intra-cluster variance

→ Modèle nul par permutation aléatoire des étiquettes de cluster ; modèle de référence (stationnaire) ; test de deux modes de non-stationnarité spatiale (gradient ; plus proche centre)



Niveau de niche le plus haut pour la non-stationnarité la plus forte

Systèmes territoriaux et autres dimensions de la complexité

→ complexité computationnelle et caractère de grande déviation des distributions spatiales des activités humaines ((i) impossibilité en probabilité d'obtenir de telles distributions ; (ii) capacités computationnelles voire cognitives des systèmes territoriaux ? cf *slime mould* [Zhu et al., 2013])

→ complexité informationnelle et rôle des processus d'innovation dans la morphogénèse des systèmes de villes [Favaro and Pumain, 2011] ; lien avec les processus d'évolution culturelle nécessairement spatialisés [Mesoudi, 2017] (cf émergence des langues)

→ Vers une intégration plus systématique (épistémologiquement et théoriquement) des différentes complexités pour l'étude des systèmes territoriaux ?

[Raimbault, 2018d]

→ Réflexivité (entre autre complexité appliquée à la complexité) nécessaire pour une connaissance complexe [Morin, 1991] ; vers un perspectivisme appliqué ?

[Banos et al., 2018]

Références

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

Raimbault, J., Banos, A., & Doursat, R. (2014, June). A Hybrid Network/Grid Model of Urban Morphogenesis and Optimization. In 4th International Conference on Complex Systems and Applications (pp. 51-60).

- Code, données et résultats disponibles à

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

- Article à https://github.com/JusteRaimbault/SpatialComplexity/Docs/Rochebrune2019/Versions/Rochebrune2019_Raimbault_v1.pdf

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

-  Banos, A., Chasset, P.-O., Commenges, H., Cottineau, C., Pumain, D., and Raimbault, J. (2018).

A spatialised bibliometrics approach of a scientific journal production.

arXiv preprint arXiv:1808.07282.

-  Batty, M. (2018).

Defining complexity in cities.

Theories and Models of Urbanization, Pumain D., ed., Springer Series Lecture Notes in Morphogenesis.

-  Batty, M. and Longley, P. A. (1994).

Fractal cities: a geometry of form and function.

Academic Press.

-  Bedau, M. (2002).

Downward causation and the autonomy of weak emergence.

Principia: an international journal of epistemology, 6(1):5–50.

-  Chu, D. (2008).
Criteria for conceptual and operational notions of complexity.
Artificial Life, 14(3):313–323.
-  Crutchfield, J. P. and Kaneko, K. (1987).
Phenomenology of spatio-temporal chaos.
In *Directions In Chaos—Volume 1*, pages 272–353. World Scientific.
-  Dauphiné, A. (1995).
Chaos, fractales et dynamiques en géographie, volume 4.
GIP Reclus.
-  Deffuant, G., Banos, A., Chavalarias, D., Bertelle, C., Brodu, N., Jensen, P., Lesne, A., Müller, J.-P., Perrier, É., and Varenne, F. (2015).
Visions de la complexité. le démon de laplace dans tous ses états.
Natures Sciences Sociétés, 23(1):42–53.

-  Doursat, R., Sayama, H., and Michel, O. (2012). *Morphogenetic engineering: toward programmable complex systems*. Springer.
-  Dupuy, G. and Benguigui, L. G. (2015). Sciences urbaines: interdisciplinarités passive, naïve, transitive, offensive. *Métropoles*, (16).
-  Favaro, J.-M. and Pumain, D. (2011). Gibrat revisited: An urban growth model incorporating spatial interaction and innovation cycles. *Geographical Analysis*, 43(3):261–286.



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.



Marchionni, C. (2004).

Geographical economics versus economic geography: towards a clarification of the dispute.

Environment and Planning A, 36(10):1737–1753.



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.



Morin, E. (1991).

La Méthode, tome 4. Les idées.



Perez, P., Banos, A., and Pettit, C. (2016).

Agent-based modelling for urban planning current limitations and future trends.

In International Workshop on Agent Based Modelling of Urban Systems, pages 60–69. Springer.



Pumain, D. (1997).

Pour une théorie évolutive des villes.

Espace géographique, 26(2):119–134.



Pumain, D. (2003).

Une approche de la complexité en géographie.

Géocarrefour, 78(1):25–31.



Pumain, D. (2012).

Urban systems dynamics, urban growth and scaling laws: The question of ergodicity.

In *Complexity Theories of Cities Have Come of Age*, pages 91–103.

Springer.



Pumain, D. (2018).

An evolutionary theory of urban systems.

In *International and Transnational Perspectives on Urban Systems*,

pages 3–18. Springer.



Raimbault, J. (2017a).

Identification de causalités dans des données spatio-temporelles.
In Spatial Analysis and GEOmatics 2017.



Raimbault, J. (2017b).

Invisible bridges? scientific landscapes around similar objects studied from economics and geography perspectives.
In 20th European Colloquium in Theoretical and Quantitative Geography 2017.



Raimbault, J. (2018a).

Calibration of a density-based model of urban morphogenesis.
PloS one, 13(9):e0203516.



Raimbault, J. (2018b).

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

PhD thesis, Université Paris 7 Denis Diderot.



Raimbault, J. (2018c).

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. (2018d).

Relating complexities for the reflexive study of complex systems.

Theories and Models of Urbanization, Pumain D., ed., Springer Series Lecture Notes in Morphogenesis.



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. M. A. Aziz-Alaoui, C. Bertelle, X. Z. Liu, D. Olivier.



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.

-  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.
-  Sanders, L., Thomas, I., and Vacchiani-Marcuzzo, C. (2018).
On the survival of butterflies in the jungle of urban systems.
Theories and Models of Urbanization, Pumain D., ed., Springer
Series Lecture Notes in Morphogenesis.
-  Schmitt, C. (2014).
*Modélisation de la dynamique des systèmes de peuplement: de
SimpopLocal à SimpopNet*.
PhD thesis, Paris 1.

-  Treiber, M., Kesting, A., and Helbing, D. (2010).
Three-phase traffic theory and two-phase models with a fundamental diagram in the light of empirical stylized facts.
Transportation Research Part B: Methodological, 44(8-9):983–1000.
-  Yamu, C. and Frankhauser, P. (2015).
Spatial accessibility to amenities, natural areas and urban green spaces: using a multiscale, multifractal simulation model for managing urban sprawl.
Environment and Planning B: Planning and Design, 42(6):1054–1078.
-  Zhu, L., Aono, M., Kim, S.-J., and Hara, M. (2013).
Amoeba-based computing for traveling salesman problem: Long-term correlations between spatially separated individual cells of physarum polycephalum.
Biosystems, 112(1):1–10.