

Sur les Modèles de Ségregation de Schelling

Cours TAMUR - Exposé thématique

Juste Raimbault

19 mars 2014

Outline

- 1 Contexte et généralités
- 2 Description formelle des modèles
- 3 Extensions et Applications

Outline

- 1 Contexte et généralités
- 2 Description formelle des modèles
- 3 Extensions et Applications

Introduction

- T. C. Schelling : Economiste américain, contributions en Théorie des jeux et Sciences Sociales computationelles.
- Article fondateur : [Schelling, 1969], cherche à expliquer mathématiquement les phénomènes de ségrégation sociale (très problématiques au Etats-Unis).
- Modèles d'un type particulier, précurseur dans la méthodologie de modélisation et de simulation.

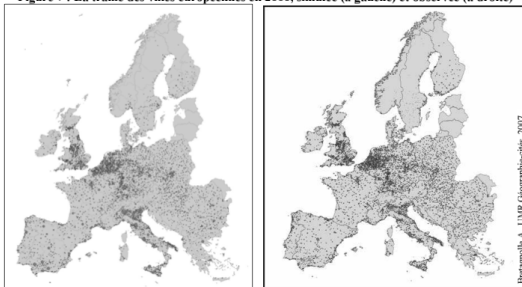
Contexte scientifique : Science des Systèmes Complexes

- Complexité: notion d'émergence et de *self-organisation*.
Précurseurs : Cybernétique ([Wiener, 1948]) puis Synergétique ([Haken, 1980]). Voir [Newman, 2011] pour une revue récente d'une large vue du domaine, [Chavalarias et al., 2009] pour des enjeux de recherche actuels.
- Application à l'étude des Systèmes Urbains : J. Jacobs ([Jacobs, 1956]); Batty : "Cities and complexity" ([Batty, 2007]). Modélisation et simulations computationnelles en Sciences Sociales : [Varenne, 2010].
- Développement rapide aujourd'hui : travaux de physiciens (e. g. [Louf and Barthelemy, 2013]) notamment grâce aux nouveaux types de données, ([Louail et al., 2014]); interactions avec la géographie et sociologie quantitatives ([Banos, 2013]); "A new science of cities" ? ([Batty, 2013]).

Exemple de simulation multi-agents

La série des modèles SIMPOP : modèles agent-based pour la simulation de la croissance d'un système de villes à échelle continentale ([Pumain, 2012]). Fig. d'après [Bretagnolle et al., 2007].

Figure 7 : La trame des villes européennes en 2000, simulée (à gauche) et observée (à droite)



Principe des modèles de Schelling

Idee essentielle : la ségrégation est *bottom-up*, i. e. émergente au sens faible ([Bedau, 2002]). Les individus veulent satisfaire un certain critère de préférence (fixe ou variable aléatoire) pour la composition de leur voisinage (définition relative à la Moore ou absolue du voisinage), et déménagent en fonction.

-> Emergence de motifs spatiaux de ségrégation par simulation ou calcul analytique

Remarque : modèle initial définit préférence en fonction de la composition ethnique du voisinage, mais fonctionne avec composition socio-économique (gentrification), en interaction avec un champ spatial, sous contraintes, etc...

Outline

- 1 Contexte et généralités
- 2 Description formelle des modèles
- 3 Extensions et Applications

Modèles dynamiques de Ségrégation

D'après [Schelling, 1971], formulation du modèle standard :
temps $t \in \mathbb{N}$, $X = (\vec{X}_i)_{1 \leq i \leq N_X} \subset \mathcal{S}$, lieux de résidence dans
système spatial (continu \mathbb{R}^2 ou réseau euclidien), $A = (a_{ij})_{i \leq N_A, j \leq K}$
attributs des agents, $R_t : A \rightarrow X$ localisation spatiale des agents,
 $U(A, R_t, X)$ fonction d'utilité des agents.
La configuration évolue selon

$$R_{t+1} \in \{F(R_t, U(A, R_t, X)) \mid U(A, F(R_t, U), X) - \vec{C} \succeq 0\}$$

avec F correspondance dépendant des choix de modélisation
(implémenté via une variable aléatoire sous contraintes)

Résultats Expérimentaux

Simulation numériques d'après [Schelling, 1971]. Analyse de sensibilité (ex. à la taille du voisinage).

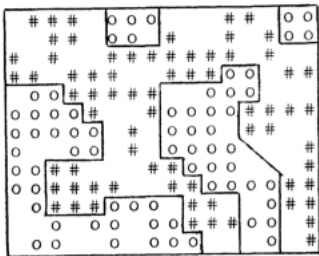


Fig.10

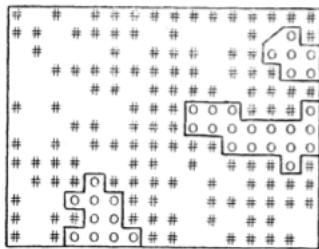


Fig.15

Résultats Analytiques

Tentatives de calculs directs macroscopiques dans le cas de voisinages absolus et de distributions de tolérance uniformes; stabilité des équilibres. Problème : hypothèse d'homogénéité peu raisonnable en sciences sociales ? (sans parler de l'équilibre)
Méthodes récentes : "Equation-free multiscale computations" [Tsoumanis et al., 2010] seraient plus adaptées ?

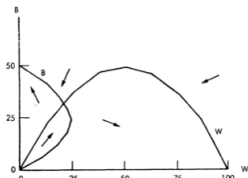


Fig. 18

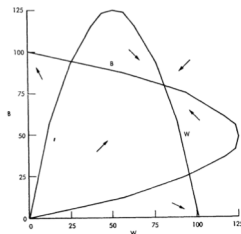


Fig. 19

Résultats Analytiques

Exploration de politiques publiques possibles pour contrer la ségrégation.

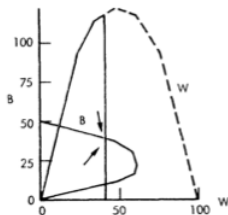


Fig. 22

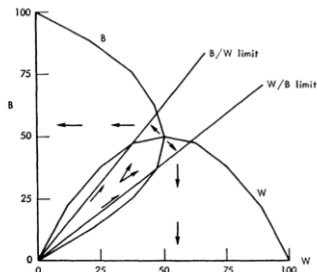


Fig. 28

Indicateurs de ségrégation

Comment mesurer la ségrégation ? Différentes définitions, peut mener à des controverses ([Simpson, 2004] vs. [Johnston et al., 2005]).

- Mesures de disparité, entropie spatiale, Index de Moran [Le Néchet and Aguilera, 2011]
- Mesure physique par clustering ([Gauvin et al., 2009]): n_c taille des clusters

$$s = \frac{2}{N_A^2} \sum n_c^2$$

Diagramme de phase

Etude du comportement physique du modèle : détermination du diagramme de phase ([Gauvin et al., 2009]). Rq : très similaire aux verres de spin. Idée : Formulation stochastique pour le calcul des fonctions de large déviation dans les zones instables ? ([Lecomte and Tailleur, 2007])

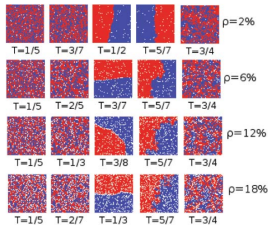
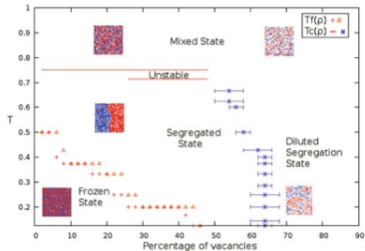


Fig. 2. Configurations obtained at large times for selected values of ρ and T .



Outline

- 1 Contexte et généralités
- 2 Description formelle des modèles
- 3 Extensions et Applications**

Extension : Analyse de robustesse

- Comment les formes des fonctions d'utilité individuelles peuvent influencer les motifs de ségrégation ?
- Dans [Panics and Vriend, 2007], exploration de différentes formes ; même dans le cas d'une forte préférence pour l'intégration, la ségrégation est favorisée (calcul des proportions d'équilibres de Nash aveugles sur de nombreuses répétitions).

Extension : Comparaison empirique

- Peu de tentatives de calibration ou de constatations empiriques des modèles.
- Etude de cas de nombreuses villes américaines et des motifs de parcours résidentiels dans [Clark, 1991] : le modèle serait vérifiable, mais plus sur des variables socio-économiques.

Extension : Influence des régulations

Si les mesures locales ne sont pas efficaces, quid des mesures globales ? Une régulation à la Pigou pourrait diminuer significativement la ségrégation [Wang, 2013].

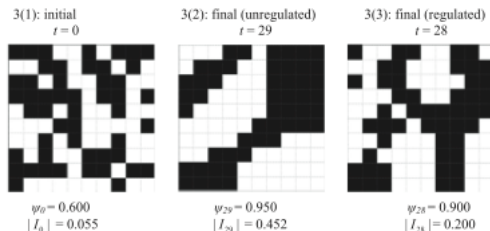


Fig. 3. A sample comparison between two simulations, $N = 10$.

Extension : Sensibilité spatiale

Contrairement aux résultats de [Fagiolo et al., 2007] qui ne spatialisent pas le réseau et n'ont pas de sens réel, [Banos, 2012] prouve que le modèle est extrêmement sensible à la structure spatiale.

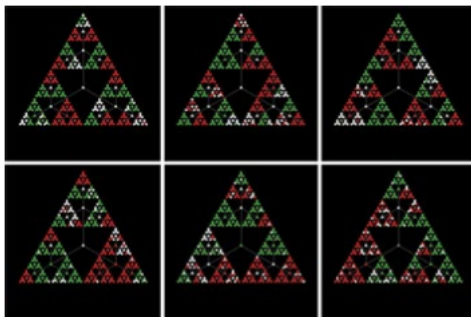


Figure 9. [In color online.] Influence of node centrality on its final state [noise = 0.1; density = 80%; λ varies from 0 (upper left corner) to 50].

Application : potentiel de ségrégation

Dans [Raimbault et al., 2014], modèle de croissance urbaine utilisé pour évaluer des contraintes initiales (plan). Mesure du potentiel de ségrégation économique par couplage avec un modèle de dynamique résidentielle ([Benenson, 1998]) basé sur un modèle de Schelling, utilisant la sensibilité spatiale des structures ([Banos, 2012]).

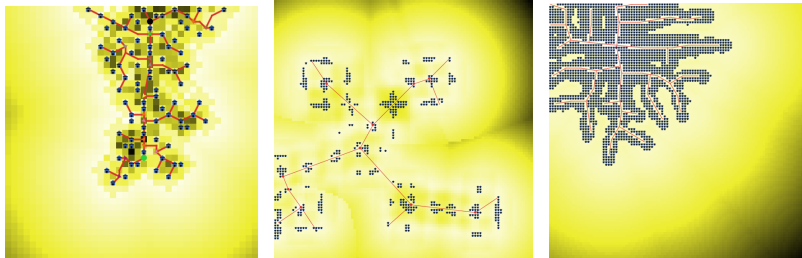


Figure: Exemple de structures spatiales à évaluer

Conclusion

- Modèles précurseurs, intéressants théoriquement, analytiquement et expérimentalement. Même si difficile à calibrer, modèles de principe pouvant guider l'aide à la décision.
- Nombreux développement scientifiques, à la base d'une grande quantité de connaissances.

References I



Banos, A. (2012).

Network effects in schelling's model of segregation: new evidences from agent-based simulation.

Environment and Planning B: Planning and Design,
39(2):393–405.



Banos, A. (Décembre 2013).

Pour des pratiques de modélisation et de simulation libérées en Géographie et SHS.

PhD thesis, UMR CNRS Géographie-Cités, ISCIPIF.



Batty, M. (2007).

Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-based Models, and Fractals.

MIT Press.

References II



Batty, M. (2013).
The New Science of Cities.
MIT Press.



Bedau, M. (2002).
Downward causation and the autonomy of weak emergence.
Principia: an international journal of epistemology, 6(1):5–50.



Benenson, I. (1998).
Multi-agent simulations of residential dynamics in the city.
Computers, Environment and Urban Systems, 22(1):25–42.

References III



Bretagnolle, A., Glisse, B., Louail, T., Pumain, D., and Vacchiani-Marcuzzo, C. (2007).

Deux types de systèmes de villes identifiés par la modélisation multi-agents (europe, etats-unis).

In Colloque de Cerisy Systemes complexes en sciences humaines et sociales, volume 26.



Chavalarias, D., Bourguin, P., Perrier, E., Amblard, F., Arlabosse, F., Auger, P., Baillon, J.-B., Barreteau, O., Baudot, P., Bouchaud, E., et al. (2009).

French roadmap for complex systems 2008-2009.







Clark, W. A. (1991).

Residential preferences and neighborhood racial segregation: A test of the schelling segregation model.

Demography, 28(1):1–19.

References IV

-  Fagiolo, G., Valente, M., and Vriend, N. J. (2007).
Segregation in networks.
Journal of Economic Behavior & Organization, 64(3):316–336.
-  Gauvin, L., Vannimenus, J., and Nadal, J.-P. (2009).
Phase diagram of a schelling segregation model.
The European Physical Journal B, 70(2):293–304.
-  Haken, H. (1980).
Synergetics.
Naturwissenschaften, 67(3):121–128.
-  Jacobs, J. (1956).
The Death and Life of Great American Cities.
Vintage.

References V



Johnston, R., Poulsen, M., and Forrest, J. (2005).

On the measurement and meaning of residential segregation: a response to simpson.

Urban studies, 42(7):1221–1227.



Le Néchet, F. and Aguilera, A. (2011).

Déterminants spatiaux et sociaux de la mobilité domicile-travail dans 13 aires urbaines françaises : une approche par la forme urbaine, à deux échelles géographiques.

In *ASRDLF 2011*, SCHOELCHER, Martinique.

<http://asrdlf2011.com/>.



Lecomte, V. and Tailleur, J. (2007).

A numerical approach to large deviations in continuous time.

Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2007(03):P03004.

References VI



Louail, T., Lenormand, M., García Cantú, O., Picornell, M., Herranz, R., Frias-Martinez, E., Ramasco, J. J., and Barthelemy, M. (2014).

From mobile phone data to the spatial structure of cities.

ArXiv e-prints.



Louf, R. and Barthelemy, M. (2013).

Modeling the polycentric transition of cities.

ArXiv e-prints.



Newman, M. (2011).

Complex systems: A survey.

arXiv preprint arXiv:1112.1440.

References VII



Pancs, R. and Vriend, N. J. (2007).

Schelling's spatial proximity model of segregation revisited.

Journal of Public Economics, 91(1):1–24.



Pumain, D. (2012).

Multi-agent system modelling for urban systems: The series of simpop models.

In *Agent-based models of geographical systems*, pages 721–738. Springer.



Raimbault, J., Banos, A., and Doursat, R. (march 2014).

Generative coupled model for urban configuration optimization.

submitted to ICCSA 2014.

References VIII



Schelling, T. C. (1969).

Models of segregation.

The American Economic Review, 59(2):488–493.



Schelling, T. C. (1971).

Dynamic models of segregation.

Journal of mathematical sociology, 1(2):143–186.



Simpson, L. (2004).

Statistics of racial segregation: measures, evidence and policy.

Urban studies, 41(3):661–681.

References IX



Tsoumanis, A. C., Siettos, C. I., Bafas, G. V., and Kevrekidis, I. G. (2010).

Equation-free multiscale computations in social networks: from agent-based modeling to coarse-grained stability and bifurcation analysis.

International Journal of Bifurcation and Chaos, 20(11):3673–3688.



Varenne, F. (2010).

Les simulations computationnelles dans les sciences sociales.
Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales, 5(2):17–49.



Wang, Y. (2013).

Beyond preference: Modelling segregation under regulation.
Computers, Environment and Urban Systems.

References X



Wiener, N. (1948).
Cybernetics.
Hermann Paris.

Questions

?