

## Article

---

« La simulation à base d'agents en sciences sociales : une "béquille pour l'esprit humain"? »

Arnaud Banos

*Nouvelles perspectives en sciences sociales*, vol. 5, n° 2, 2010, p. 91-100.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/044078ar>

DOI: 10.7202/044078ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

---

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

---

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : [info@erudit.org](mailto:info@erudit.org)

## La simulation à base d'agents en sciences sociales : une « béquille pour l'esprit humain<sup>1</sup> »?

**ARNAUD BANOS**  
Géographie-Cités, CNRS

**L**ors de l'édition 2009 du congrès annuel des géographes américains, à Las Vegas, l'une des intervenantes des sessions spéciales dédiées aux systèmes complexes eut recours à un modèle à base d'agents afin d'illustrer son propos.

Imaginons un espace fermé, nous proposa-t-elle, au sein duquel circule librement et au hasard un nombre  $n$  d'agents. Chaque agent  $i$  est caractérisé par un niveau de richesse initial ( $r_i \in \mathbb{N}$ ), supposé constant. Imaginons encore qu'à chaque itération, chacun des  $n$  agents ne peut réaliser que deux actions simples : avancer au hasard (selon une vitesse constante et un angle choisi au hasard) s'il est seul, ou réaliser une transaction marchande s'il est en présence d'un ou de plusieurs agents. Dans ce dernier cas, chaque agent  $i$  solvable paye une unité à l'un des autres agents  $i$  en présence, ce dernier étant choisi au hasard parmi les agents présents :

---

<sup>1</sup> Pour reprendre l'expression de Peter Gould, « Épidémiologie et maladie », dans *Encyclopédie de géographie*, Paris, Economica, 1995, p. 947-967.

$$r_i^{t+1} \rightarrow r_i^t - 1, \forall r_i^t > 0$$

$$rand(r_j^{t+1}) \rightarrow r_j^t + 1$$

Puisque le système est clos par construction, un principe de conservation de la richesse s'applique :

$$\sum_i^n r_i = R$$

À l'issue de cette rapide présentation du modèle, l'intervenante mit alors au défi la salle de prédire l'évolution de la distribution de la richesse au sein de la population d'agents, si une simulation était réalisée. Pour autant que je m'en souviens, nul dans l'assemblée ne releva le défi. Pourtant, le mouvement qui anima la salle à l'énoncé du résultat fut peu ambigu : « Contrairement à ce que nombre de personnes croient », nous dit elle en substance, « la distribution de la richesse va rapidement s'écarter de la valeur initiale  $r_i$  et tendre non pas vers une distribution normale centrée

sur une valeur moyenne  $\bar{r}_i$ , mais au contraire vers une distribution très asymétrique, inégalitaire. Certains agents vont s'enrichir au détriment des autres, alors même que tous possèdent le même revenu de départ, les mêmes capacités (probabilités uniformes) et jouent le même jeu, selon les mêmes règles ». Et notre conférencière de conclure triplement : d'une part, nul n'est besoin de faire appel à des mécanismes compliqués pour expliquer l'apparition d'inégalités; d'autre part, il est impossible de prédire l'évolution d'un système – même aussi simple – sans recourir à un processus de simulation informatique; enfin, le rôle de la simulation informatique est précisément de nous permettre d'identifier puis d'explorer (et donc de comprendre) des phénomènes surprenants, voire contre-intuitifs.

Si le premier point ne me sembla sur le moment guère faire débat (si l'on s'en tient strictement à cette formulation en tout cas), je me souviens que les deux suivants me titillèrent au point que je réintérais rapidement ma chambre d'hôtel afin de déve-

lopper ce petit modèle sur NetLogo<sup>2</sup> et me faire ma propre idée. Après tout, pouvait-on réellement qualifier ce résultat de « surprenant »? Il me semblait que l'habillage anthropomorphique du modèle (des agents économiques effectuant des transactions et s'enrichissant éventuellement au détriment d'autres agents s'appauvrissant) contribuait à brouiller les pistes. Une fois dépouillé de cet artifice, le modèle gagnait en simplicité ce qu'il semblait perdre en force : des particules en mouvement au sein d'un système clos, et interagissant localement entre elles par le biais de transferts d'énergie. Il devenait, en effet, plus évident de faire le lien avec un résultat important de la mécanique statistique : dans un tel système et en toute généralité, la probabilité  $P(r_i)$  qu'une particule  $i$  soit dans un état  $r_i$  dépend exponentiellement de sa valeur  $r_i$  :  $P(r_i) = Ce^{-\beta r_i}$  où  $C$  est une constante de proportionnalité indépendante de  $r_i$  et  $e^{-\beta r_i}$  est appelé le « facteur de Boltzmann<sup>3</sup> ».

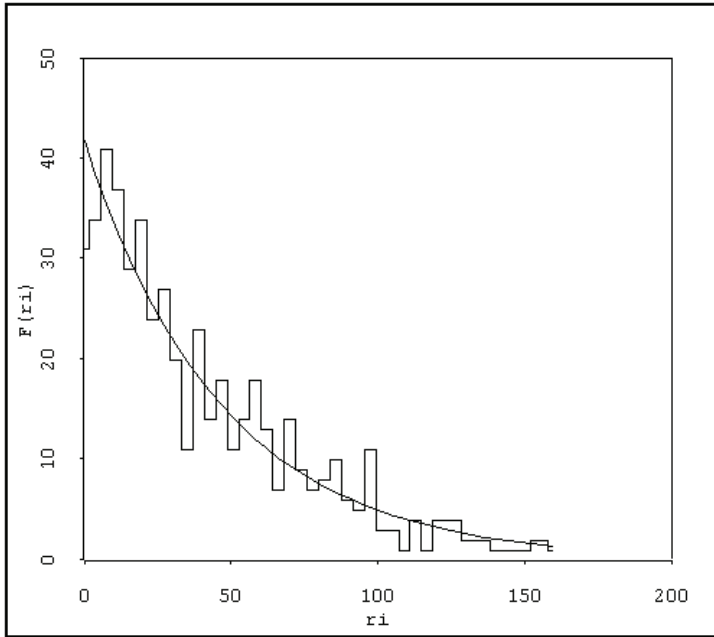
Et, en effet, chaque application itérée (simulation) du modèle précédent me conduisait inévitablement à la distribution suivante (figure 1), relativement stable, pour laquelle le meilleur ajustement statistique s'avérait être un modèle exponentiel<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> NetLogo : <http://ccl.northwestern.edu/netlogo> (consulté le 15 mars 2010).

<sup>3</sup> Frederick Reif, *Cours de physique de Berkeley. Vol. 5 : Physique statistique*, 2<sup>e</sup> édition, Paris, Dunod, 1994.

<sup>4</sup> Je découvrais naturellement, par la suite, que ce petit modèle fait partie des classiques de ce que l'on appelle aujourd'hui « l'éconophysique ». Voir Adrian Dragulescu et Victor M. Yakovenko, « Statistical Mechanics of Money », *European Physical Journal B*, vol. 17, n° 4, 2000, p. 723-729, pour une présentation très détaillée de ce modèle, et Adrian Dragulescu et Victor M. Yakovenko, « Exponential and Power-Law Probability Distributions of Wealth and Income in the United Kingdom and the United States », *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2001, vol. 299, nos 1-2, p. 213-221, pour une application à des données réelles.

Figure 1



**Distribution (histogramme) de la richesse  $r_i$  après 4 000 itérations ( $n = 500$ ;  $R = 20\ 000$ ) et ajustement par un modèle exponentiel ( $C = 3\ 073$ ;  $\beta = 0,02$ ;  $R = 0,88$ ).**

On aura sans doute noté le changement radical de point de vue : le phénomène surprenant précédemment évoqué s'avère, en fait, être le plus probable, parmi l'ensemble des possibles! Ceci étant précisé, la question de l'intérêt d'un tel modèle reste posée. Tel quel, il s'agirait de voir un système économique territorialisé comme un système clos, fondé sur des processus stochastiques au niveau macroscopique et produisant des régularités macroscopiques. C'est à la fois peu et beaucoup. Car force est de constater que les distributions réelles des richesses ne sont pas si éloignées de cette signature physique<sup>5</sup>. Il serait par conséquent dommage et relativement injuste – à mon avis – de rejeter trop rapidement ce petit modèle et de voir dans ce flou (volontairement renforcé ici, on l'aura compris) une manifestation des limites de la simulation informatique en sciences sociales.

<sup>5</sup> Adrian Dragulescu et Victor M. Yakovenko, *op. cit.*

De mon point de vue, cette petite anecdote illustre, au contraire, à la fois la difficulté et l'intérêt qu'il y a à adopter une stratégie exploratoire, la simulation jouant un rôle de béquille pour l'esprit. On conviendra tout d'abord que pratiquer la simulation dans un domaine thématique donné présente un double risque : la probabilité de dire ou d'écrire une bêtise croît, en effet, avec l'adjonction des domaines, et ceux qui se lancent dans cette aventure se trouvent souvent confrontés à la fois à un accroissement significatif de leur charge de travail et de stress. Dans cette perspective, la notion de « surprise » – absolument centrale dans le processus d'abduction<sup>6</sup> – doit être évaluée avec circonspection (surprise pour qui?) et s'ancrer dans une culture élargie (mais toujours incomplète) de la modélisation aussi bien que du domaine thématique. Par ailleurs, une difficulté/richeesse supplémentaire des sciences sociales provient de l'habitude que nous y avons de manipuler analogies et métaphores. Celles-ci contribuent en effet largement à embrouiller et à enrichir les modèles que nous construisons, nous amenant parfois à établir des rapprochements scabreux et féconds entre des domaines à première vue disjoints. On l'aura compris, pour moi, ce qui fait notre faiblesse fait également notre force : en ce sens, la quête d'une formalisation de plus en plus abstraite de nos différents domaines risquerait d'aboutir à leur appauvrissement, au même titre que le rejet systématique de cet effort nécessaire. Comme souvent, il se pourrait bien que la frontière se trouve dans une zone très étroite, entre le tout formalisé et le discursif le plus redondant et le moins généralisable : « *Life at the edge of chaos*<sup>7</sup> » en quelque sorte.

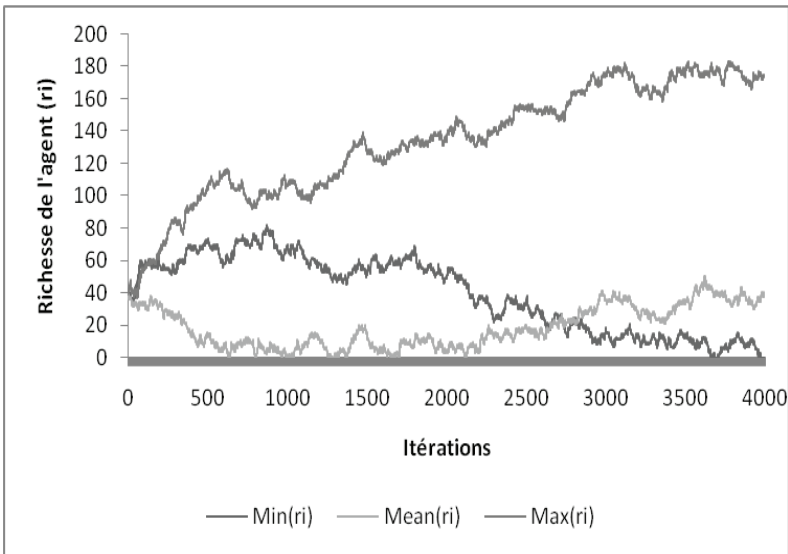
De plus, au-delà de ces principes très généraux, et à mon sens très importants, un modèle très simple peut jouer un rôle heuristique considérable, dont nous aurions tort de nous passer. Et la simulation occupe un rôle central dans un tel dispositif,

<sup>6</sup> Arnaud Banos, « La voie de l'étonnement : favoriser l'abduction dans les Systèmes d'Information Géographique », dans Jean-Marie Fotsing (dir.), *Apport des SIG à la recherche*, Orléans, Presses Universitaires d'Orléans, 2005, p. 237-254.

<sup>7</sup> Expression due à l'informaticien Christopher Langton.

notamment par la souplesse et la finesse des investigations qu'elle permet. Il faut bien l'avouer, le modélisateur est bien le seul maître à bord lors d'une simulation. S'il s'en donne les moyens, chaque événement, chaque processus lui est – en principe – accessible. À charge pour lui de jongler avec la complexité qu'il génère! Pour revenir à notre petit exemple, rien ne nous empêche d'adopter un regard plus local et de suivre par exemple la trajectoire, au cours de la simulation, d'agents particuliers (figure 2).

Figure 2



Traces individuelles pour trois agents sélectionnés au hasard à la fin de la simulation et dont le revenu  $r_i$  est égal au revenu minimum, moyen et maximum

Ces points de vue croisés, à différents niveaux d'observation, constituent l'une des richesses des modèles à base d'agents. En élargissant notre espace des possibles, ils nous offrent des possibilités inégalées de questionnement du monde dans lequel nous vivons. La seule contrainte – mais non la moindre – est alors de faire en sorte que le modèle progressivement complexifié reste maîtrisable. La parcimonie est un idéal difficile et exigeant, dont la quête peut s'avérer aussi gratifiante que frustrante.

Essayons d'illustrer ce dernier point à partir du modèle précédent : en dépit/grâce à sa simplicité, que peut-il nous apprendre sur de possibles stratégies de régulation? On pourrait ainsi imaginer une stratégie de redistribution de type « impôt négatif », associant un prélèvement à taux fixe et une redistribution fixe :

$$r_i^{t+1} = r_i^t - \alpha r_i^t + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha r_i^t$$

Ou encore un droit d'entrée dans la transaction (fixé à une unité dans le modèle de base) qui serait proportionnel au revenu  $r_i$  de l'agent, cette manne étant ventilée au hasard aux autres agents participants à la transaction :

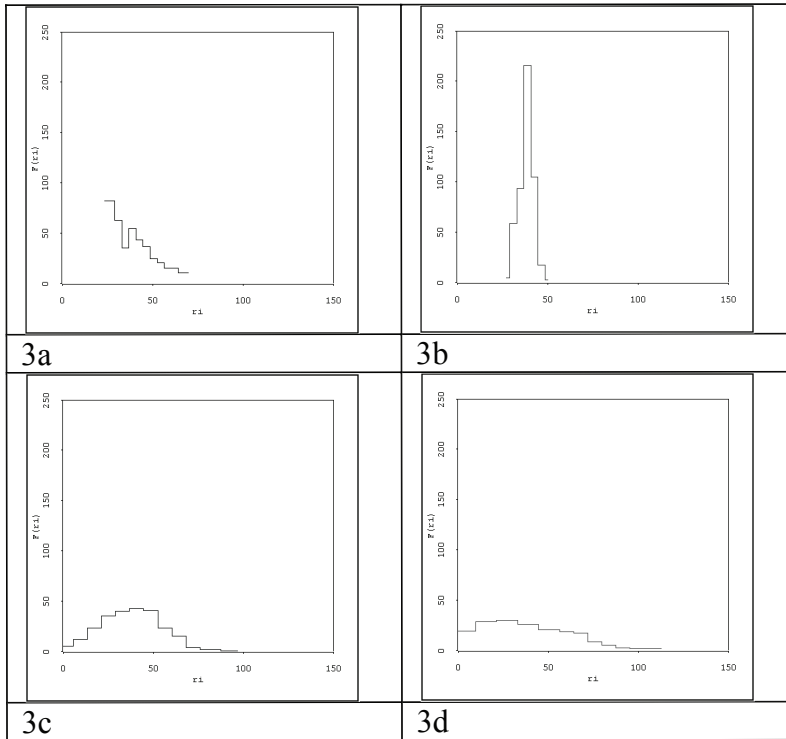
$$r_i^{t+1} \rightarrow r_i^t - \lambda r_i^t, \forall r_i^t > 0$$

Que peut-on dire des conséquences globales (figure 1) et locales (figure 2) d'ajouts aussi simples? Permettez-moi pour finir de mettre à l'épreuve votre sagacité : sauriez-vous attribuer chacun des quatre modèles suivants aux graphiques des figures 3 et 4?

- Modèle 1 :  $r_i^{t+1} = r_i^t - \alpha r_i^t + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha r_i^t$ ,  $\alpha = 10\%$
- Modèle 2 :  $r_i^{t+1} = r_i^t - \alpha r_i^t + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha r_i^t$ ,  $\alpha = 25\%$
- Modèle 3 :  $r_i^{t+1} \rightarrow r_i^t - \lambda r_i^t, \forall r_i^t > 0$ ,  $\lambda = 2\%$
- Modèle 4 :  $r_i^{t+1} \rightarrow r_i^t - \lambda r_i^t, \forall r_i^t > 0$ ,  $\lambda = 10\%$

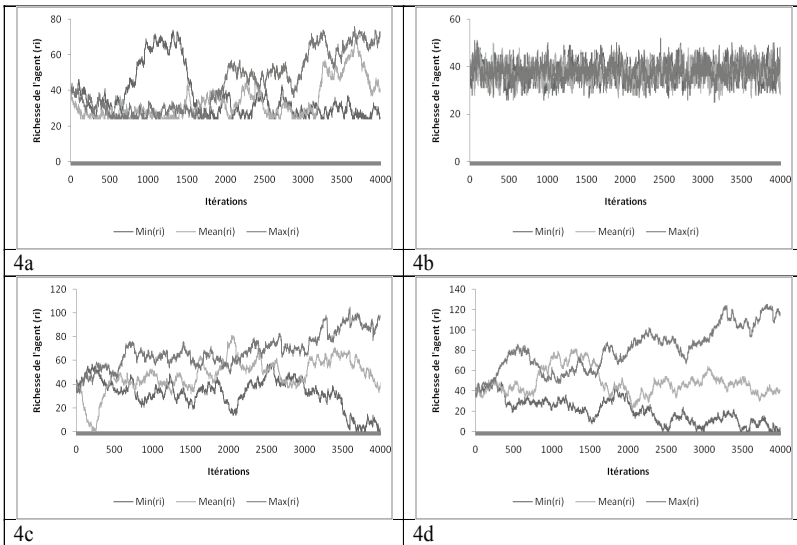


Figure 3



**Distribution de la richesse (histogramme) obtenues pour chacun des quatre modèles au bout de 4 000 itérations ( $n = 500$ ;  $R = 20\,000$ ). [Chaque histogramme est couplé avec l'un des graphiques de la figure 4 : 3a/4a, 3b/4b, 3c/4c, 3d/4d]**

Figure 4



Traces individuelles obtenues pour chacun des quatre modèles au bout de 4 000 itérations ( $n = 500$ ;  $R = 20\ 000$ ; même principe de construction que la figure 2). [Chaque histogramme est couplé avec l'un des graphiques de la figure 3 : 3a/4a, 3b/4b, 3c/4c, 3d/4d]

La solution<sup>8</sup> vous surprend-elle? À votre avis, que se passerait-il si nous ajoutions quelques-unes de ces caractéristiques essentielles des êtres humains socialisés : hétérogénéité des attributs, des capacités et des stratégies, intentionnalité, réflexivité, hiérarchies en tout genre, relations préférentielles (réseaux sociaux), etc.? C'est ici que la simulation informatique prend tout son sens, dans cette possibilité nouvelle de plonger au cœur de la complexité des sociétés humaines en compagnie de modèles simples, maniables et robustes. Notre créativité a tout à y gagner, si nous nous y prenons bien...

<sup>8</sup> Solution : a = modèle 3; b = modèle 4; c = modèle 2; d = modèle 1.

## Bibliographie

- Banos, Arnaud, « La voie de l'étonnement : favoriser l'abduction dans les Systèmes d'Information Géographique », dans Jean-Marie Fotsing (dir.), *Apport des SIG à la recherche*, Orléans, Presses Universitaires d'Orléans, 2005, p. 237-254.
- Dragulescu, Adrian et Victor M. Yakovenko, « Statistical Mechanics of Money », *European Physical Journal B*, vol. 17, n° 4, 2000, p. 723-729.
- Dragulescu, Adrian et Victor M. Yakovenko, « Exponential and Power-Law Probability Distributions of Wealth and Income in the United Kingdom and the United States », *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2001, vol. 299, n°s 1-2, p. 213-221.
- Gould, Peter, « Épidémiologie et maladie », dans *Encyclopédie de géographie*, Paris, Economica, 1995, p. 947-967.
- Reif, Frederick, *Cours de physique de Berkeley. Vol. 5 : Physique statistique*, 2<sup>e</sup> édition, Paris, Dunod, 1994.