



Ségrégation et cognition spatiale

Aurélien Décamps, Nathalie Gaussier, Philippe Laroque and Philippe Gaussier

Volume 5, Number 2, mai 2010

Sur le thème de la simulation

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/044083ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/044083ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Prise de parole

ISSN

1712-8307 (print)

1918-7475 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Décamps, A., Gaussier, N., Laroque, P. & Gaussier, P. (2010). Ségrégation et cognition spatiale. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 5(2), 197–226. <https://doi.org/10.7202/044083ar>

Article abstract

Considering traditional models of segregation and the analysis of the determinants of spatial segregation, the paper emphasizes and explains the role of spatial cognition in segregation emergence. We use a MAS based on cognitive agents who are able to build a cognitive map of their environment, depending on their range of vision, as they explore, discover and learn places of their environment. The agents develop spatial behaviours that create situations identified in the literature as “chosen segregation” or “involuntary segregation”. We discuss the specification of the model and the segregated configurations that emerge. These configurations underlie the importance of space on the analysis of individual and collective dynamics.

Ségrégation et cognition spatiale

AURÉLIEN DÉCAMPS

GREThA UMR 5113 Université Montesquieu Bordeaux IV C

NATHALIE GAUSSIER

GREThA UMR 5113 Université Montesquieu Bordeaux IV C

PHILIPPE LAROQUE

ETIS UMR 8051 Université Cergy Pontoise CNRS

PHILIPPE GAUSSIER

ETIS UMR 8051 Université Cergy Pontoise CNRS

La ségrégation urbaine est une tendance majeure affectant l'organisation et l'évolution des villes contemporaines. Elle est appréhendée ici comme une dynamique cumulative, qui se nourrit d'un ensemble de processus générant à la fois une disparité socio-économique croissante dans un espace et une homogénéisation plus forte de certaines des zones de cet espace, se rapprochant ainsi de la définition de Manuel Castells¹.

La ségrégation s'appréhende, en général, à travers la prise en compte de facteurs urbains (localisation résidentielle, accès à l'emploi, polarisation...) contribuant à trier ou à séparer les populations dans l'espace, mais également à travers la prise en compte des préférences individuelles des agents pour la composition de leur voisinage, conformément aux travaux fondateurs

¹ Manuel Castells, *La question urbaine*, Paris, Maspéro, 1972.

de Thomas C. Schelling² et de James M. Sakoda³. Les facteurs explicatifs de la ségrégation seraient donc à chercher à la fois dans l'organisation de l'espace urbain à travers les attributs des différentes localisations (distance au centre, types de logements, aménités) qui organisent la concurrence pour l'usage du sol, mais également dans la composition de la population de ces différentes localisations qui va guider les stratégies individuelles de localisation. La conjonction de ces deux dimensions peut donner lieu à l'apparition d'effets de quartiers, *neighborhood effects*⁴, au cœur de la dynamique ségrégative.

La modélisation de la ségrégation urbaine comme un processus *bottom-up*, c'est-à-dire issu de la dynamique des comportements individuels, a fait l'objet de nombreuses analyses depuis les travaux fondateurs de Schelling et Sakoda, notamment avec le développement de l'informatique et du potentiel des simulations multi-agents. L'objet de cet article est de compléter ce raisonnement en soulignant le rôle de la cognition spatiale dans les comportements individuels. Nous montrons l'impact de la prise en compte individuelle de l'espace sur l'émergence de configurations ségrégées. Nous mobilisons une plateforme de simulation de cartes cognitives (*Géomatique 3.6*) qui nous permet d'introduire le rôle de la perception de l'espace par les agents sur leurs comportements individuels. Notre démarche s'appuie sur la construction de cartes mentales telles qu'elles sont développées dans les travaux de géographie humaine⁵. Notre définition des cartes mentales est ici réductrice car elle limite les cartes mentales à la vision et à l'apprentissage des agents. Cette représentation

² Thomas C. Schelling, « Models of Segregation », *American Economic Review*, vol. 59, 1969, p. 488-493; Thomas C. Schelling, « Dynamic Models of Segregation », *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, 1971, p. 143-186; Thomas C. Schelling, *Micromotives and Macrobehavior*, New York, Norton, 1978.

³ James M. Sakoda, « The Checkerboard Model of Social Interaction », *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, n° 1, 1971, p. 119-132.

⁴ Steven N. Durlauf, « Neighborhood Effects », dans J. Vernon Henderson et Jacques François Thisse (dir.), *Handbook of Regional and Urban Economics*, vol. 4 *Cities and Geography*, Elsevier, 4, 2004.

⁵ Kevin Lynch, *The Image of the City*, Cambridge (MA), MIT Press, 1960.

a toutefois l'avantage de définir des agents en situation de rationalité limitée⁶ dans un univers de cognition située⁷. Cette démarche nous permet de modéliser l'émergence de configurations ségréguées à partir des seules variables liées à la vision et à l'apprentissage spatial. Si la thématique de la vision dans la ségrégation a déjà été largement développée⁸, celles de l'apprentissage spatial et de l'imitation à partir de la dimension spatiale méritent d'être plus amplement étayées. Cet article prend ainsi le parti de modéliser l'émergence de configurations ségréguées à travers des regroupements au sein de la population des agents sans que les variables d'étude de la ségrégation ne soient fixées *a priori*. La ségrégation, telle que nous l'observons ici, est le résultat d'un processus spatialisé issu de l'expérience spatiale des agents (de leurs cartes cognitives) et de leur capacité à s'imiter.

L'article se structure en trois sections : nous exposons d'abord les différentes représentations de la ségrégation et l'intérêt du recours aux cartes cognitives (section 1); nous présentons ensuite la plateforme de simulation et le modèle utilisé (section 2); enfin, nous discutons des principaux résultats de nos simulations en termes de ségrégation (section 3).

1. Représentations de la ségrégation

Les principaux déterminants entrant en jeu dans la formation d'une dynamique de ségrégation confèrent un rôle important au raisonnement spatialisé, notamment à travers les effets de quartiers. Ils ouvrent le champ à une large réflexion sur le rôle de l'apprentissage spatial.

⁶ Herbert Simon, *Models of Man*, New York, Wiley, 1957.

⁷ Frédéric Laville, « La cognition située: une nouvelle approche de la rationalité limitée », *Revue Économique*, vol. 51, n° 6, 2000, p. 1301-1331.

⁸ Alexander J. Laurie et Narendra K. Jaggi, « Role of "Vision" in Neighbourhood Racial Segregation: A Variant of the Schelling Segregation Model », *Urban Studies*, vol. 40, n° 13, 2003, p. 2687-2704.

1.1. Modèles de ségrégation

Le modèle fondateur représentant l'émergence d'une configuration urbaine ségréguée à partir de l'agrégation des comportements individuels reposant sur les préférences pour la composition du voisinage est traditionnellement attribué à T. C. Schelling. Celui-ci montre, à l'aide d'un modèle microéconomique, comment une ville intégrée peut devenir ségréguée en fonction des préférences de chacun (*tipping process*). La règle de comportement individuel proposée tient compte des préférences des individus à travers leur seuil de tolérance à la proximité d'individus d'une autre catégorie. Le résultat principal tient dans le fait que l'équilibre stable est la configuration ségréguée, y compris pour des seuils de tolérance importants. Deux critiques sont, en général, adressées à ce modèle. Les individus appartiennent à des catégories qui fixent *a priori* les variables de ségrégation étudiées (couleur, catégorie sociale, revenu...). De plus, la dynamique du modèle conduit de façon endogène à une configuration ségréguée, « *individual moves in the Schelling model typically increase the level of segregation and some increases in the level of segregation increase the size of stable segregated groups*⁹ ».

Les modélisations orientées agents ont permis de nombreux développements du modèle de Schelling en sciences sociales¹⁰ notamment à travers les travaux du Santa Fe Institute¹¹. La plupart des travaux visant à tester ou à étendre ce modèle¹² se

⁹ Steven N. Durlauf, « Neighborhood Effects », *op. cit.*, p. 2197.

¹⁰ Frédéric Amblard et Denis Phan, *Modélisation et simulation multiagent : applications pour les sciences de l'homme et de la société*, Hermes Science Publications, Lavoisier, 2006, 446 p.

¹¹ Nigel Gilbert et Jim Doran, *Simulating Societies: The Computer Simulation of Social Phenomena*, Londres, UCL Press, 1994; Nigel Gilbert et Rosaria Conte (dir.), *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Phenomena*, Londres, UCL Press, 1995; Joshua Epstein et Robert Axtell, *Growing Artificial Societies. Social Sciences from the Bottom-Up*, Washington D.C., Brookings Institution Press, 1996.

¹² William A. V. Clark, « Residential Preferences and Neighborhood Racial Segregation: A Test of the Schelling Segregation Model », *Demography*, vol. 28, 1991, p. 1-19; Paul Krugman, *The Self-Organising Economy*, Cambridge (MA), Blackwell, 1996; Romans Pans et Nicolaas J. Vriend, « Schelling's Spatial Proximity Model of Segregation Revisited », *Journal of*

concentrent sur ses conditions initiales et leur impact sur les résultats. Une attention particulière est portée à la valeur du paramètre qui définit le niveau de « tolérance » des agents ainsi qu'au partage de la population entre catégories d'agents. La plupart des études se réfèrent, de plus, à un espace neutre, posé *a priori* pour tous les agents, ce qui limite la modélisation de processus spatialisés. Les agents sont rationnels, ils ont une connaissance parfaite de l'environnement dans lequel ils évoluent et peuvent, à chaque étape, dénombrer les voisins appartenant à une autre catégorie que la leur et décider, en fonction de leur seuil de tolérance, de se déplacer ou pas. Or, nous savons, notamment depuis les travaux de l'École de Chicago¹³, que les caractéristiques hétérogènes de l'espace urbain jouent un rôle sur la formation d'une structure ségrégée. Un certain nombre d'études récentes tentent d'intégrer ce rôle de l'espace à travers la définition d'un rayon de vision qui confère aux agents une représentation partielle de leur environnement. C'est, par exemple, le cas du modèle de Alexander J. Laurie et Narendra K. Jaggi. Ces derniers montrent comment la capacité des agents à percevoir leur voisinage à une certaine distance peut influencer les résultats du modèle de Schelling et faire apparaître l'intégration comme un équilibre stable. Bien que ce résultat semble dépendant du choix de spécification du modèle¹⁴, ils montrent comment la perception de l'environnement par les agents peut interagir sur les préférences individuelles et influencer les comportements de localisation. Le rôle de l'espace comme frein dans les processus

Public Economics, vol. 91, 2007, p. 1-24; Henry Wasserman et Gary Yohe, « Segregation and the Provision of Spatially Defined Local Goods », *The American Economist*, vol. 45, 2001, p. 13-24; Peyton Young, *Individual Strategy and Social Structure: An Evolutionary Theory of Social Structure*, Princeton (NJ), Princeton University Press, 1998; Junfu Zhang, « Residential Segregation in an All-Integrationist World », *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 54, 2004, p. 533-550.

¹³ Ernest W. Burgess et Robert E. Park, *The City*, University of Chicago Press, 1925.

¹⁴ Mark Fosset et Waren Warren, « Overlooked Implications of Ethnic Preferences for Residential Segregation in Agent-Based Models », *Urban Studies*, vol. 42, n° 11, 2005, p. 1893-1917.

de bifurcation¹⁵ questionne les modèles de ségrégation.

Plusieurs études tentent, dans cette perspective, d'introduire une approche plus complexe de l'espace. Des critères comme la perception par les agents du prestige des lieux¹⁶, la prise en compte de l'environnement physique, social ou ethnique¹⁷ ainsi que les niveaux de revenu¹⁸ proposent des analyses particulièrement intéressantes pour mieux rendre compte du rôle de l'espace dans la formation d'une dynamique ségrégative. Toutefois, tous les agents ont une représentation commune de l'espace, à plus ou moins longue vue, laissant de côté la question de la cognition spatiale.

1.2. Principaux déterminants de la ségrégation

La formation d'une dynamique de la ségrégation renvoie à deux ensembles d'approches : la première s'intéresse aux mécanismes de ségrégation résidentielle contribuant à trier les populations au sein de l'espace urbain, la seconde au rôle de la répartition des populations au sein de l'espace urbain dans la formation d'une dynamique cumulative de la ségrégation à travers l'accès aux opportunités d'emploi et l'existence d'effets de voisinage.

La première catégorie d'approches va relier les déterminants de la localisation résidentielle des ménages à certains effets pervers du zonage urbain pour expliquer la formation de mécanismes de ségrégation résidentielle. Les déterminants de la localisation résidentielle des ménages ont d'abord été modélisés dans le cadre du modèle monocentrique de la Nouvelle Économie Urbaine¹⁹

¹⁵ Nils A. Baas, « Emergence, Hierarchies and Hyperstructures », *Artificial Life*, vol. 3, n° 7, 1994, p. 515-537.

¹⁶ Jean Luc Bonnefoy, « From Households to Urban Structures: Space Representations as Engine of Dynamics in Multi-Agent Simulations », *Cybergeo, Revue européenne de géographie*, <http://sites.univ-provence.fr/bonnefoy/informations/publications.html>, 2002, consulté le 15 mai 2008.

¹⁷ Itzhak Benenson, Itzhak Omeret Erhez Hatna, « Entity-Based Modelling of Urban Residential Dynamics: The Case of Yaffo », *Environnement and Planning B*, vol. 29, 2002, p. 491-512.

¹⁸ Joana Barros, « Simulating Urban Dynamics in Latin American Cities », *7th International Conference on GeoComputation*, University of Southampton (UK), 2003.

¹⁹ Masahisa Fujita, *Urban Economic Theory. Land Use and City Size*, Cambridge,

à travers la concurrence pour l'usage du sol dépendant de la distance au centre et contribuant à l'éviction des ménages les plus pauvres. Ensuite, la présence de biens publics locaux, conformément à l'analyse de Charles Tiebout²⁰, ou les aménités²¹ des différentes localisations générant l'existence d'équilibres urbains multiples ont été intégrées. Ces mécanismes sont à rapprocher de certains effets pervers du zonage urbain tels que la concentration des logements sociaux, les politiques d'aménagement des grands ensembles, générant des effets *NIMBY* (*Not In My BackYard*) et des pratiques de tri résidentiel ayant pour but de sélectionner le type de population du quartier²².

La seconde catégorie d'approches explique comment la répartition des populations au sein de l'espace urbain peut engendrer la formation d'une dynamique cumulative de la ségrégation à travers des effets de quartiers. Ce type d'effets renvoie à deux séries d'explications : l'accès à l'emploi à travers les phénomènes

Cambridge University Press, 1989.

²⁰ Charles M. Tiebout, « A Pure Theory of Local Expenditures », *Journal of Political Economy*, vol. 64, n° 5, 1956, p. 416-424.

²¹ Jan K. Brueckner, Jacques François Thisse et Yves Zenou, « Why is Central Paris Rich and Downtown Detroit Poor? An Amenity-Based Theory », *European Economic Review*, vol. 43, 1999, p. 91-107. Les aménités correspondent aux caractéristiques intrinsèques propres à certains espaces qui ne sont ni appropriables, ni quantifiables en termes monétaires. Elles sont parfois assimilées à des biens publics locaux non-produits. Brueckner, Thisse, Zénou (*op. cit.*) identifient des aménités naturelles liées à une localisation suburbaine ainsi que des aménités historiques et modernes liées à une localisation centrale pour expliquer le caractère idiosyncrasique des villes et l'existence d'équilibres urbains multiples.

²² Gilles Duranton, « L'analyse économique du zonage urbain : une brève revue de la littérature », *Revue d'économie régionale et urbaine*, vol. 2, 1997, p. 171-187; Guillaume Pouyanne, « L'ambiguïté de la relation entre étalement urbain et ségrégation socio-spatiale », dans Frédéric Gaschet et Claude Lacour (dir.), *Métropolisation et ségrégation*, Presses Universitaires de Bordeaux, 2008; Paul Thorsnes, « Internalizing Neighborhood Externalities: The Effect of Subdivision Size and Zoning on Residential Lot Prices », *Journal of Urban Economics*, vol. 48, 2000, p. 397-418.

de *Spatial Mismatch*²³ et l'existence d'effets de voisinage²⁴. Les mécanismes de ségrégation résidentielle précédemment évoqués peuvent, en effet, entrer en interaction avec le caractère localisé du marché urbain du travail pour contribuer au mauvais appariement spatial entre les opportunités d'emplois et les populations ségréguées. Dès lors, l'isolement spatial et les contraintes pesant sur leur mobilité vont augmenter la durée du chômage et donc les facteurs d'exclusion de ces populations. La concentration de certaines catégories de population va ensuite générer des effets de voisinage qui vont jouer sur l'attractivité du quartier. Ce type d'effets va transiter par la combinaison d'un certain nombre « d'externalités de voisinage²⁵ » relatives aux performances à l'éducation à travers les « effets de pairs²⁶ » favorisant la diffusion de comportements déviants²⁷, à la faiblesse ou l'absence de réseaux sociaux utiles en matière d'emploi²⁸, à l'existence de discriminations territoriales à l'embauche²⁹. On distinguera ici les externalités positives liées à la concentration de populations aisées incitant à la recherche de l'entre-soi³⁰ représentant plutôt

²³ John F. Kain, « Housing Segregation, Negro Employment and Metropolitan Decentralization », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 82, 1968, p. 175-197; John F. Kain, « The Spatial Mismatch Hypothesis: Three Decades Later », *Housing Policy Debate*, vol. 3, n° 2, 1992, p. 371-460.

²⁴ Steven N. Durlauf, « Neighbourhood Effects », *op. cit.*

²⁵ Anne Aguilera et Frédéric Gaschet, « Externalités : forme et croissance des villes », dans Claude Lacour, Evelyne Perrin et Nicole Rousier (dir.), *Les nouvelles frontières de l'économie urbaine*, Paris, Éditions de l'Aube, 2005.

²⁶ Richard Arnott et John Rowse, « Peer Group Effects and the Educational Attainment », *Journal of Public Economics*, vol. 32, n° 3, 1987, p. 287-305.; Benabou, Roland, « Workings of a City: Location, Education and Production », *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 108, 1993, p. 619-652.

²⁷ Jonathan Crane, « The Epidemic Theory of Ghettos and Neighborhood Effects on Dropping Out and Teenage Childbearing », *American Journal of Sociology*, vol. 96, n° 5, 1991, p. 1226-1259.

²⁸ Katherine M. O'Reagan et John M. Quigley, « Where Youth Live: Economic Effects of Urban Space on Employment Prospects », *Urban Studies*, vol. 35, n° 7, 1998, p. 1187-1205.

²⁹ Yves Zenou et Nicolas Boccoard, « Racial Discrimination and Redlining in Cities », *Journal of Urban Economics*, vol. 48, 2000, p. 260-285.

³⁰ Jacques Donzelot, « La ville à trois vitesses : relégation, périurbanisation, gentrification », *Esprit*, vol. 3-4, 2004, p. 14-39; Eric Maurin, *Le ghetto*

une ségrégation choisie, des externalités négatives liées à la concentration de populations en difficulté générant des phénomènes de captivité et donc plutôt représentative d'une ségrégation subie.

Cet ensemble de processus va nourrir la dynamique de la ségrégation à travers la formation d'effets de quartiers qui combinent les facteurs urbains générant de la ségrégation résidentielle, l'accès aux opportunités d'emploi et les externalités de voisinage pouvant être à l'origine « d'effets boule de neige ». L'appréhension de cette dynamique confère une place importante à l'hétérogénéité de l'espace urbain et à sa perception par les agents à travers ces effets de quartiers. Il devient alors nécessaire de tenir compte de la capacité des agents à intégrer cette dimension spatiale. Les travaux sur la cognition spatiale développés dans le cadre de la psychologie environnementale³¹ et de la géographie humaine³² apportent des clés de lecture de ces phénomènes.

2. Un modèle de ségrégation fondé sur la cognition spatiale

La cognition spatiale est une problématique traditionnelle des sciences sociales qui puise ses racines dans de nombreux travaux. Parmi les plus célèbres, on peut citer *The Image of the City* de Kevin Lynch³³, *The Hidden Dimension* de Edward T. Hall³⁴ ou Peter Gould³⁵ et les cartes mentales. Ces travaux portent de

français, Paris, La Découverte, 2004.

³¹ Christian Freksa, Christopher Habelet et Karl F. Wender (dir.), *Spatial Cognition. An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge*, Berlin, Springer, 1998.

³² Antoine Bailly, *La perception de l'espace urbain. Les concepts, les méthodes d'étude, leur utilisation dans la recherche urbanistique*, Paris, Centre de Recherche d'Urbanisme, 1977; Colette Cauvin, « Cognitive and Cartographic Representations: Towards a Comprehensive Approach », *Cybergeo*, Cartography, Images, GIS, Article 206, mis en ligne le 15 janvier 2002, modifié le 03 mars 2007, URL : <http://cybergeo.revues.org/index194.html>, consulté le 15 mai 2008.

³³ Kevin Lynch, *The Image of the City*, *op. cit.*.

³⁴ Edward Twitchell Hall, *The Hidden Dimension*, New York, Doubleday and Co., 1966.

³⁵ Peter Gould, « On Mental Maps », *Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers*, Discussion Paper 9, 1966.

fortes ambitions : s'il est établi que les cartes cognitives constituent « *a person's model of objective reality*³⁶ », on s'attend à ce qu'elles permettent une meilleure compréhension du comportement spatial des individus et à ce qu'elles remplacent à terme, l'hypothèse simplificatrice de l'*homo oeconomicus*³⁷. Toute la difficulté consiste à représenter et à simuler cette richesse des cartes mentales³⁸. Les progrès de l'informatique et le développement d'approches pluridisciplinaires au cours des années 1990 ouvrent la voie à des outils permettant de simuler des systèmes complexes et soulignent l'intérêt de représenter des processus spatiaux³⁹.

Notre modèle s'appuie sur les travaux développés dans le cadre du programme *Géomatique*, impulsé par l'ACI Société de l'information GETM du CNRS. Le terme *Géomatique* peut porter à confusion dans la mesure où il ne traite pas ici des SIG et de leurs évolutions; il permet plutôt de se focaliser sur les individus dans leur lien à l'espace pour en restituer à l'échelle des territoires la spécificité comportementale. Dans cette optique, l'espace est construit et pratiqué par les agents. Sa topologie n'est pas cartésienne *a priori*, et chaque agent a sa propre topologie de l'espace. L'ensemble des cartes cognitives des agents restitue donc toute la complexité de l'espace, différent selon la vision, la connaissance et la motivation de chacun.

Ce programme nous a permis de fonder et de développer une réflexion commune dans un cadre pluridisciplinaire associant des équipes en robotique (ETIS/ENSEA et Université Cergy Pontoise), en informatique (équipe GET/TAMCIC de l'ENST Bretagne) et en économie spatiale (GREThA Université Bordeaux

³⁶ Reginald Golledge et Robert John Stimson, *Analytical Behavioural Geography*, London, Croom Helm, 1987.

³⁷ Juval Portugali, « Geography, Environment and Cognition: An Introduction », *Geoforum*, vol. 23, n° 2, 1992, p. 107-109.

³⁸ Antoine Bailly, *La perception de l'espace urbain*, *op. cit.*; Colette Cauvin, « Cognitive and Cartographic Representations », *op. cit.*

³⁹ Christian Freksa, Christopher Habelet et Karl F. Wender (dir.), *Spatial Cognition*, *op. cit.*; Ervin Laszlo, Ignazio Masulli, Robert Artigiani et Vilmos Csányi (dir.), *The Evolution of Cognitive Maps. New Paradigms for the Twenty-First Century*, *The World Futures*, General Evolution Studies, vol. 5, 1993.

IV). Notre coopération se poursuit et a donné lieu à la mise en place d'un programme informatique *Géomatique 3.6* permettant de simuler une population d'agents munis de cartes cognitives qui, indépendamment les uns des autres, découvrent, voient et apprennent leur environnement. Ce programme prend appui sur une architecture neuronale⁴⁰ permettant à un robot de survivre dans un environnement inconnu et de développer un comportement plus « intelligent » en construisant en ligne et en utilisant la carte cognitive de son environnement. Le protocole est fondé sur une population d'animats (animaux automatisés⁴¹) reproduisant certaines propriétés spatiales du comportement animal mises à jour en neurobiologie et en éthologie. Le passage de l'animat ou d'une population d'animats à des agents économiques n'a rien d'évident ni de direct. Plutôt que de procéder par analogie, il convient de garder à l'esprit l'idée selon laquelle les propriétés neurobiologiques qui permettent d'appréhender les comportements spatiaux des animats sont, en toute logique, des propriétés que l'on peut retrouver chez les agents économiques. Cette idée est fondée sur l'hypothèse selon laquelle l'espace, et la vision, jouent un rôle fondamental dans l'étude des comportements spatiaux. On reconnaît l'importance nouvelle que les économistes accordent au rayon de vision⁴². On ne prétend pas comprendre tous les comportements économiques, mais dégager dans l'étude des comportements économiques spatiaux, des phénomènes émergents purement liés aux processus cognitifs des agents et pour lesquels l'espace est plus qu'un simple support et participe activement au processus cognitif. Du point de vue de l'analyse spatiale, ce protocole permet de rendre compte d'agents qui ont

⁴⁰ Philippe Gaussier *et al.*, « Animal and Robot Learning: Experiments and Models About Visual Navigation », 7th *European Workshop on Learning Robots (EWLR)*, Edinburgh (UK), 1999; Mathias Quoy, Philippe Laroque et Philippe Gaussier, « Learning and Motivational Couplings Promote Smarter Behaviors of an Animat in an Unknown World », *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 38, n^{os} 3-4, 2002, p. 149-156.

⁴¹ Jean-Arcadie Meyer et Stewart Wilson, « From Animals to Animats », dans *First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, Cambridge (MA), MIT Press, Bradford Books, 1991.

⁴² Alexander J. Laurie et Narendra K. Jaggi, « Role of "Vision" », *op. cit.*

leur propre perception et expérience de l'espace.

Pour étudier la dynamique de ségrégation, nous avons défini un environnement doté de trois ressources (domicile, entreprise, centre commercial) nécessaires à la satisfaction des besoins de chacun des agents. Tous les agents cherchent à se maintenir dans une zone de confort, c'est-à-dire dans un état interne défini par un degré minimum de satisfaction des trois besoins essentiels. Chaque besoin est donc associé à un type de ressource et à un niveau de satisfaction (du point de vue des trois variables essentielles) qui décroît continûment dans le temps. Dès que le niveau d'une variable essentielle descend au-dessous d'un seuil fixé, l'agent tente de se rendre à une ressource associée (s'il en connaît) afin de remonter le niveau de satisfaction de cette variable. Si l'agent ne trouve pas la ressource cherchée, on considère qu'il est insatisfait. Pour s'orienter, l'agent ne reçoit à chaque instant qu'un ensemble d'informations relatives aux points remarquables (amers, obstacles, ressources, autres agents) perceptibles de son emplacement courant et à leur azimut par rapport au Nord. Hormis les amers, un point remarquable n'est vu par l'agent que s'il est dans sa zone de vision, définie par un cercle centré sur l'agent. Les amers sont des repères visuels, des points de repère pour tous les agents, un objet plus grand que les autres, de forme ou de couleur, qui le distingue du reste de l'environnement, une tour ou un immeuble par exemple. Ils sont ainsi visibles depuis n'importe quel point de la carte (à moins d'être cachés par un obstacle) mais leur distance est inconnue. Un agent n'est capable de repérer les amers que par l'angle sous lequel il les voit. Cet angle est calculé par rapport au nord géographique de la carte.

En fonction de son état interne, l'agent peut adopter différentes stratégies définies par ordre décroissant de priorité. Si l'agent rencontre un obstacle, il déclenche une stratégie d'évitement fondée sur le principe des véhicules de Braitenberg⁴³. Si le niveau

⁴³ Valentino Braitenberg, *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*, Cambridge (MA), MIT Press, 1984. Des robots mobiles, très simples peuvent montrer des comportements complexes qu'on pourrait associer à divers types d'émotions (peur, agression...). Ici, des capteurs génèrent un

d'une des variables essentielles de l'agent tombe en deçà d'un niveau minimum, il déclenche une stratégie de retour vers une ressource correspondante et précédemment repérée. Si d'autres agents sont en vue, il peut choisir d'imiter (suivre) l'un d'eux. Enfin, la stratégie par défaut est une exploration aléatoire de l'environnement.

2.1. Agents cognitifs et création des cartes cognitives

Le déplacement des agents repose sur le paradigme des cellules de lieu⁴⁴ : les neurobiologistes ont trouvé dans le système hippocampique (structure sous corticale du cerveau) de certains animaux (rats, primates) des neurones dont l'activité dépend de la position de l'animal dans son environnement. Ces neurones, qui ont la propriété de décharger lorsque l'animal est à un endroit précis ou dans son entourage immédiat, ont été appelés « cellules de lieux ». On dit qu'une telle cellule de lieu (*Place Cell*, PC) « code » pour un lieu particulier. À mesure que l'agent s'éloigne, la distance à l'endroit codé augmente et l'activité de la cellule décroît. Lorsqu'elle passe en deçà d'un seuil minimum, l'agent sort du champ de lieu de la cellule. Si une autre cellule répond alors de façon satisfaisante (au-dessus de ce seuil minimum d'activité), l'agent entre dans le champ de lieu de cette autre cellule, sinon il considère qu'il découvre un nouveau lieu et l'apprend sur une nouvelle cellule. Il va ainsi progressivement « paver » son environnement de champs de lieu partiellement recouvrants.

En plus des informations de codage des cellules de lieu, les agents, puisqu'ils sont cognitifs, intègrent un mécanisme de construction en ligne d'une carte cognitive de l'environnement⁴⁵.

comportement sensori-moteur qui crée une propriété émergente d'évitement sans avoir été programmée.

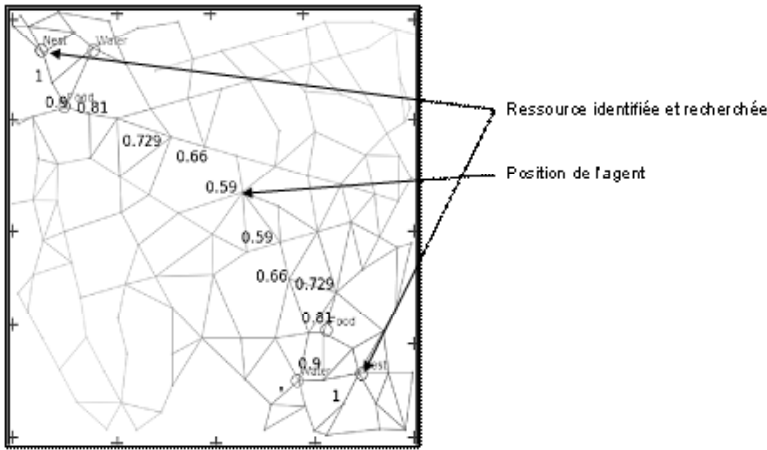
⁴⁴ John O'Keefe et Lynn Nadel, *The Hippocampus as a Cognitive Map*, Oxford, Clarendon Press, 1978.

⁴⁵ Philippe Gaussier *et al.*, « From View Cells and Place Cells to Cognitive Map Learning: Processing Stages of the Hippocampal System », *Biological Cybernetics*, vol. 86, 2002, p. 15-28; Philippe Laroque *et al.*, « Cognitive Map Plasticity and Imitation Strategies to Extend the Performance of a MAS », dans Tamio Arai *et al.* (dir.), *IAS-9, Intelligent Autonomous Systems*,

Cette carte apprend, outre les lieux, les transitions entre cellules de lieu jointes successivement. Lorsqu'un besoin apparaît, la PC codant pour la ressource est activée au maximum (à 1). Un mécanisme de diffusion va alors activer les transitions menant à cette PC, et les voisines immédiates vont être activées (à 0,95 par exemple), puis leurs propres voisines (à 0,9) etc. (schéma 1). Ainsi, l'agent cognitif va être capable, en remontant les transitions (de la transition courante à celle d'activité maximale) de rejoindre la ressource quelle que soit la complexité visuelle de l'environnement. En effet, la construction des cellules de lieux et de transition intègre les discontinuités visuelles de l'environnement.

Schéma 1

Diffusion de la motivation sur une carte cognitive



La solution mise en œuvre par l'agent cognitif n'est pas optimale du point de vue d'un observateur extérieur ou d'un aménageur, puisque l'agent va prendre le chemin le plus court dans ceux qu'il connaît pour remonter à la ressource. Cependant, puisqu'avec le temps, l'agent finit par « paver » assez complètement son environnement en champs de lieux, on peut considérer le comportement de l'agent cognitif comme « asymptotiquement optimal ». Cette représentation de l'agent cognitif permet de

rendre compte de situations spatiales de rationalité limitée. L'agent prend une décision, la plus satisfaisante à un moment donné, en fonction de l'information spatiale qu'il a apprise. Plus l'agent dispose de temps pour explorer et apprendre son environnement, plus il disposera d'une information spatiale complète pour atteindre ses objectifs et se comporter comme un *homo oeconomicus*. Les agents mettent donc en place un processus d'apprentissage basé sur le principe de la « cognition située »⁴⁶ : ils construisent leur carte cognitive (leur propre représentation de l'espace) grâce à l'exploration de l'environnement et aux échanges avec les autres agents.

2.2. Définition de signatures et ancrage spatial des agents

L'analyse des dynamiques collectives pose deux difficultés imbriquées. La mise en œuvre d'un processus de coordination spatiale nécessite de définir un mécanisme d'identification des agents. Ayant pris le parti de ne pas catégoriser les agents, aucun agent n'a la possibilité de savoir s'il suit le même agent quand il imite un agent dans son champ de vision et rencontre un groupe. De plus, les observations issues des simulations ne permettent pas de détecter si un agent a passé la plupart de son temps dans le voisinage d'un autre. À la limite, pour un petit groupe d'agents et sur des simulations en nombre réduit, on peut déterminer les cheminements et les appartenances à un groupe. Dès que le nombre d'agents devient très important, la question se pose avec acuité. Pour résoudre ces problèmes, nous avons ajouté une signature individuelle à chaque agent : elle correspond aux coordonnées du lieu de naissance d'un agent. Ainsi, la signature est définie comme un entier codant pour un vecteur à deux coordonnées (8 bits), afin de pouvoir le représenter sur un espace isomorphe à l'espace géographique.

Les agents peuvent adopter une stratégie d'imitation basée sur les signatures pour choisir l'agent à imiter : ils peuvent choisir d'imiter l'agent qui, dans leur champ de vision, est à proximité au sens où la signature est la plus proche de la leur, supposant

⁴⁶ Frédéric Laville, « La cognition située », *op. cit.*

par exemple quelqu'un venant du même quartier, ou encore passant le plus de temps dans la même zone. Cette forme d'imitation permet de reproduire les mécanismes « d'entre soi », d'imitation communautaire « des semblables » que l'on retrouve très fortement avancés dans les analyses de la ségrégation. Elle affirme ici le rôle de la ressemblance spatiale quant aux trajectoires ou aux espaces d'appartenance. Ce rôle se renforce dans le temps puisque chaque signature évolue en fonction des rencontres des agents, à la manière des expériences des *talking heads* développées par Luc Steels⁴⁷ : chaque fois qu'un agent décide d'imiter un autre agent, parce que sa signature spatiale est proche, sa signature changera légèrement pour se rapprocher de celle de l'agent imité. Les équations sont précisées chez Philippe Laroque *et al.*⁴⁸. On introduit ici un mécanisme de coordination des agents fondé sur l'émergence de nouveaux repères. Ce mécanisme permet de renforcer, avec l'usage des cartes cognitives, le rôle donné à l'espace dans les préférences des agents. Lorsque l'agent cherche à maximiser ses préférences, la variable spatiale peut interférer au-delà de sa simple maîtrise de l'espace par la carte cognitive : la signature traduit cet effet d'enfermement possible dans un groupe, enfermement qui peut mener à une issue positive si le groupe détient les clés permettant d'accéder aux ressources (ségrégation choisie), à une issue contrariante si les agents ne possèdent aucune des clés (ségrégation subie).

Les signatures jouent le rôle de marqueurs qui permettent de repérer et de localiser les agents. Du point de vue de l'analyste, elles permettent d'agréger les dynamiques spatiales individuelles pour envisager différentes formes de ségrégation, du point de vue des agents, de s'imiter sur la base d'un critère purement spatial. Il conviendra alors de discuter de l'émergence de configurations ségréguées dans le contexte de nos simulations avec des quartiers

⁴⁷ Luc Steels, *The Talking Heads Experiment, Volume 1, Words and Meanings*, Antwerpen, Laboratorium, 1999.

⁴⁸ Philippe Laroque, Nicolas Cuperlier et Philippe Gaussier, « Impact of Imitation on the Dynamics of Animat Populations in a Spatial Cognition Task », dans Frans Groen (dir.), *IAS-8, Intelligent Autonomous System*, Amsterdam, IOS Press, 2004.

ou des zones identifiées et caractérisées dans la réalité.

3. Résultats et discussion

Nous présentons deux séries de résultats. La première souligne, pour un environnement simple, le rôle de l'espace comme facteur de ségrégation. La seconde discute, à partir d'un environnement plus complexe, l'application du modèle au cas de l'agglomération bordelaise.

3.1. L'espace comme facteur de ségrégation

Les simulations présentées sont basées sur une carte de dimension 40 x 40. Nous travaillons à partir d'un environnement simple, c'est-à-dire sans obstacles. Le schéma 2 en présente les principaux éléments. Les ressources (maison, travail, commerce) sont représentées par des cercles. Deux groupes de ressources sont proposés pour créer une situation de concurrence spatiale. Le schéma 2 exhibe un agent représenté par un triangle isocèle qui pointe dans la direction de son déplacement. Le rayon de vision est symbolisé par un cercle grisé centré sur l'agent. Les amers, représentés par des croix situées ici sur les bords de la carte, sont visibles par l'agent s'ils ne sont pas cachés par des obstacles : sur le schéma, la visibilité est associée à un segment qui relie chaque amer à l'agent.

Schéma 2

Définition de l'environnement

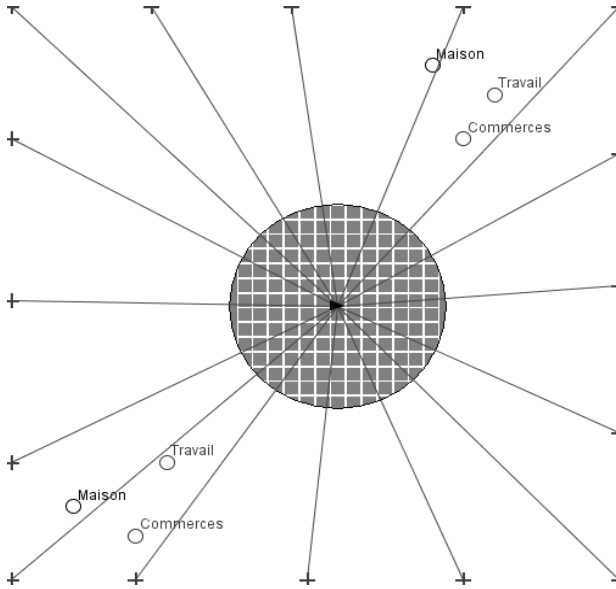
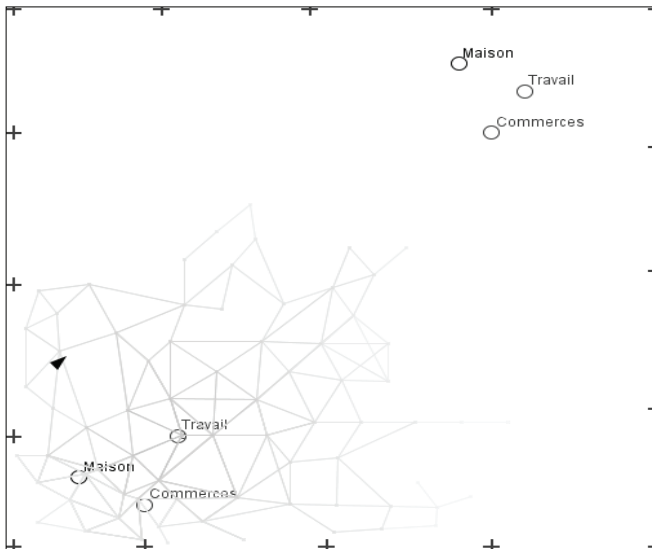


Schéma 3

Activité de la carte cognitive d'un agent (t = 10 000)



Le schéma 3 illustre l'activité des neurones de la carte cognitive d'un agent qui a exploré son environnement et qui planifie son comportement pour satisfaire un de ses besoins essentiels. La carte cognitive est issue de l'exploration et de la planification de l'agent pendant 10 000 pas de temps. Les forces de rappel vers les ressources ainsi que le grain de la carte cognitive contribuent à fixer l'agent dans une région de la carte. Il se crée ainsi des routines qui définissent un *sense of place*⁴⁹, un lieu de vie tel qu'on le retrouve dans la littérature sur les cartes mentales⁵⁰. La carte cognitive issue de l'apprentissage des lieux et des chemins pour les atteindre contraint donc fortement le comportement de l'agent. Celui-ci, par exemple, n'ira pas exploiter les ressources du quadrant nord-est de la carte puisqu'il ne les a pas découvertes. La carte cognitive est ici un puissant facteur de ségrégation. Chaque agent disposant de sa propre carte cognitive, certains arrivent à paver en partie l'environnement sur une même période de temps, retrouvant par là les travaux de Peter Orleans⁵¹ : la mobilité des agents, par leur stratégie d'exploration et de planification, joue fortement sur la définition de leurs cartes mentales. L'étude de la satisfaction globale des agents (sur leur capacité à satisfaire leurs besoins essentiels) permettra de distinguer les agents satisfaits des agents plus largement insatisfaits de leur situation (s'ils n'ont pas trouvé toutes les ressources par exemple).

Lorsque les cartes cognitives des agents se recouvrent partiellement, il se crée des zones de rencontres probables permettant le passage partiel d'un lieu de vie vers un autre si les agents, en se rencontrant, entrent en stratégie d'imitation. Lorsque l'imitation s'effectue en fonction de la proximité spatiale des lieux de naissance (la signature), le renforcement du rôle joué par l'espace est manifeste. Il se crée des « villages », c'est-à-dire des zones

⁴⁹ Kevin Lynch, *The Image of the City*, op. cit.

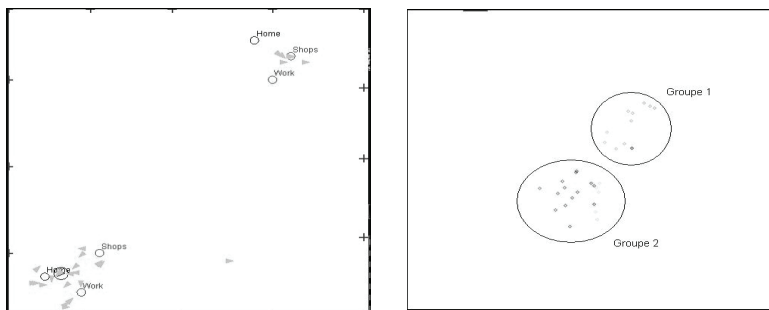
⁵⁰ Antoine Bailly, *La perception de l'espace urbain*, op. cit.

⁵¹ Peter Orleans, « Differential Cognition of Urban Residents: Effects of Social Scale on Mapping », dans Roger M. Downs et David Stea (dir.), *Image and Environment: Cognitive Mapping and Spatial Behavior*, Chicago, Aldine, 1973, p. 115-130.

dotées des trois ressources dans lesquelles les agents peuvent vivre indéfiniment. Le schéma 4 illustre cette situation pour 30 agents au bout de 10 000 pas de temps.

Schéma 4

Espace des agents (à gauche) et des signatures (à droite) pour $t = 10\ 000$



On observe une configuration spatiale stable dans laquelle, sur le graphique de gauche, on voit bien les groupes d'agents agglomérés sur les ressources en concurrence et sur le graphique de droite, les deux villages identifiés par les signatures des agents. On a là un indicateur spatial intéressant pour caractériser les configurations spatiales observées empiriquement.

3.2. Discussion : une application au cas de l'agglomération bordelaise

Nous proposons une application afin de représenter un processus ségrégatif observé sur l'agglomération de Bordeaux. La structure de l'agglomération est, en effet, fortement influencée par la présence du fleuve (La Garonne) et par le manque d'infrastructure permettant sa traversée, ce qui se traduit par un développement inégal des deux rives et un phénomène d'enclavement des quartiers de la rive droite. Cette configuration spatiale se retrouve dans la dynamique de la ségrégation observée à travers les profils de quartiers de l'agglomération avec une forte concentration de quartiers très en difficulté de ce côté du fleuve⁵². Ce phénomène

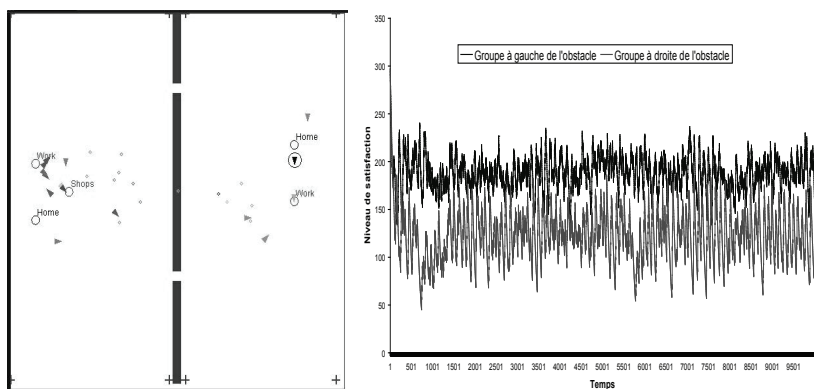
⁵² Aurélien Décamps, « Trajectoires de quartiers et processus ségrégatifs urbains : une investigation sur l'Aire Urbaine bordelaise », *XLV^e colloque de l'ASRDLF : Territoires et action publique territoriale, nouvelles ressources pour le développement régional*, Rimouski, Québec, 2008.

s'explique à la fois par le manque de ressources de ces territoires, la concentration de grands ensembles et de populations en difficulté, ainsi que par le manque d'accès physique aux fonctions métropolitaines, notamment aux opportunités d'emploi. On retrouve donc ici l'ensemble des mécanismes concourant à la formation des effets de quartier précédemment évoqués. Ce phénomène a conduit les décideurs locaux à engager des projets permettant de faciliter la traversée du fleuve afin de désenclaver la rive droite de l'agglomération avec une ligne de tramway construite sur un des ponts existants et la volonté de construire « un nouveau franchissement de la Garonne » inscrite dans le plan de déplacement urbain (P.D.U.) de la Communauté Urbaine.

L'environnement 1 (schéma 5) permet de représenter ce mécanisme. Cet environnement va être séparé par un obstacle doté simplement de deux passages pour les agents, représentant le caractère ségréatif du fleuve. Les ressources sont volontairement disposées de façon déséquilibrée entre les deux « rives » de l'obstacle afin de représenter le différentiel de profil socio-économique de ces deux parties de l'agglomération. Nous mettons en évidence ici deux résultats principaux.

Schéma 5

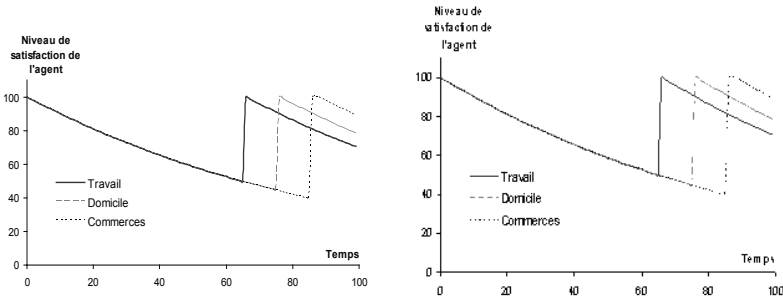
Environnement 1 avec signatures des agents, t = 9 873, l'agent 1 est entouré; et dynamique de la satisfaction globale des agents situés de chaque côté de l'obstacle



Nous retrouvons le rôle de l'espace à travers l'apparition quasi-systématique d'une configuration ségréguée en deux sous-groupes stables d'agents de chaque côté de l'obstacle. On remarque, en effet, qu'un mécanisme de « couplage des buts » se met en place dans chaque sous-groupe : la proximité des ressources permet à l'agent de « coupler » ses objectifs lorsqu'ils sont découverts. Ainsi lorsqu'un agent a découvert deux ou trois ressources, sa satisfaction pour les trois ressources diminuant continûment dans le temps, l'agent désireux d'augmenter la satisfaction de l'une des ressources découvertes va aussi visiter les ressources à proximité et augmenter son niveau global de satisfaction. La dynamique de la satisfaction d'un agent à différentes périodes de temps de la simulation illustre ce phénomène (schéma 6).

Schéma 6

Évolution de la satisfaction d'un agent (1) simulé dans l'environnement 1 et capturée à des périodes différentes de la simulation.



Le graphique de gauche présente les premiers pas de la simulation. L'agent n'ayant pas encore découvert les ressources nécessaires pour le satisfaire voit sa satisfaction décroître continûment pour les trois ressources et au même rythme dans nos simulations. Dès qu'il trouve une des ressources recherchées, son niveau de satisfaction concernant la ressource augmente. Toutes les ressources découvertes étant situées à proximité l'une de l'autre, le graphique de droite illustre comment l'agent va, peu à peu, être conduit à visiter régulièrement l'ensemble des trois ressources alors même que pour certaines son niveau de satisfaction n'est

pas minimum. Ce mécanisme accentue l'ancrage spatial des agents autour de lieux de vie pour lesquels chacun peut être globalement plus ou moins satisfait selon les ressources découvertes.

À l'échelle des populations situées de chaque côté de l'obstacle, le graphique 2 du schéma 5 montre que les agents du groupe se trouvant à gauche de l'obstacle sont satisfaits avec un accès durable aux trois ressources. Les agents appartenant au groupe de droite ont un niveau de satisfaction moindre puisqu'ils n'ont réussi à accéder qu'à deux ressources. L'imitation sur la signature nous permet de retrouver une configuration ségréguée où l'appartenance au lieu joue un rôle prépondérant puisque le fait d'être né d'un côté ou de l'autre de l'obstacle va fortement influencer la propension d'un agent à rester durablement dans l'un ou l'autre des deux groupes, même si sa satisfaction est moindre. L'effet de rappel des deux ressources l'emporte sur la satisfaction d'une troisième ressource. Il semble que les agents se satisfont d'une situation « la moins mauvaise » qui leur assure un accès durable à deux ressources sans avoir trouvé la troisième. L'amplitude du niveau de satisfaction des deux groupes d'agents souligne les mécanismes sous-jacents. Les forces de rappel dans le groupe de gauche le fixe sur un village et sont supérieures à celles du groupe de droite dont l'amplitude est plus grande signalant par là l'importance laissée par les agents à l'exploration pour la découverte de la troisième ressource. Cette dimension renvoie à une « certaine inéluctabilité dans le fait d'appartenir à un quartier très en difficulté⁵³ », et permet d'illustrer la double dimension ségrégation choisie / subie.

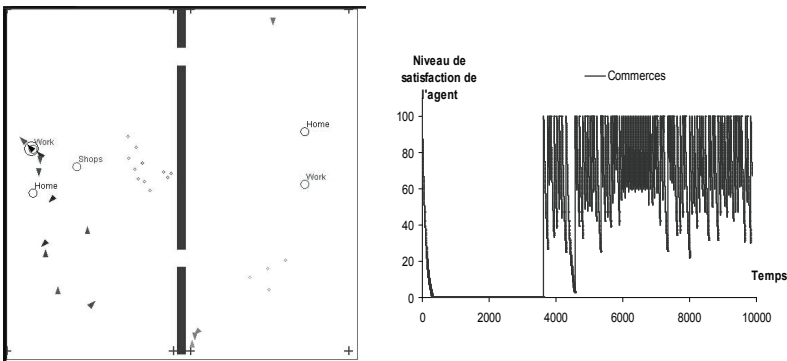
Nous testons ensuite l'intérêt de mener un projet facilitant le franchissement du fleuve tel qu'il est évoqué dans le P.D.U. Nous augmentons d'une case chacun des deux passages de l'obstacle afin de faciliter son franchissement par les agents (Environnement 2, schéma 7). Les simulations sont calibrées de façon strictement similaire au cas précédent à l'exception de ce changement. On retrouve une configuration avec deux sous-groupes stables de

⁵³ Aurélien Décamps, « Trajectoires de quartiers », *op. cit.*

chaque côté de l'obstacle, mais avec un nombre significatif d'agents qui réussissent à passer du groupe à deux ressources au groupe qui se fixe sur la zone contenant les trois ressources. La possibilité accrue de traverser l'obstacle augmente la probabilité d'entrer en contact avec d'autres agents et de mettre en place une stratégie d'imitation vers un autre groupe. On observe ainsi de façon fréquente des ruptures dans les « villages » (la composition des sous-groupes d'agents) avant leur stabilisation, simplement en augmentant légèrement les passages au sein de l'obstacle. La signature individuelle de chaque agent nous permet d'observer ce type de trajectoire de « rupture dans les villages » qui se caractérise pour l'agent concerné par une augmentation soudaine de sa satisfaction d'un niveau durablement élevé pour deux ressources et nul pour la troisième, à un niveau durablement élevé pour les trois. La rupture dans le niveau de satisfaction de l'agent qui change de groupe du point de vue de la troisième ressource est illustrée dans le schéma 7.

Schéma 7

Environnement 2, t = 9 873 et rupture dans la satisfaction d'un agent (12) qui change de groupe



Ce dernier résultat semble aller dans le sens d'un intérêt à mettre en place des projets d'aménagement facilitant la traversée du fleuve afin de désenclaver certains quartiers, de faciliter les interactions entre les agents et d'améliorer l'accès à un certain nombre de ressources (fonctions métropolitaines, opportunités

d'emploi...) localisées principalement dans certaines parties de l'espace urbain. Nous trouvons ici une application de notre modèle à la représentation d'un processus observé empiriquement.

4. Conclusion

Cet article montre que la dimension spatiale est un élément essentiel de l'analyse de la ségrégation qui vient compléter les mécanismes liés aux préférences et à la satisfaction des agents. L'espace joue, en effet, à un double niveau : il est à la fois une contrainte et l'expression d'un phénomène émergent. Les cartes cognitives permettent d'entrer dans la dimension spatiale des agents qui peut les contraindre ou les bloquer dans certaines formes de comportements et interagir ainsi sur leur niveau de satisfaction. On a pu mettre en évidence des formes de ségrégation subie et choisie qui illustrent cette dimension. La complexité et la richesse des représentations spatiales des agents produisent différentes formes de ségrégation dont l'émergence et la dynamique mériteraient d'être plus amplement débattues. L'espace est en ce sens un déterminant de la ségrégation qu'il faudrait sans doute mieux intégrer dans nos analyses. Les cartes cognitives nous permettent, en effet, de montrer comment l'appropriation de l'espace par les agents participe à l'émergence de configurations ségréguées.

La difficulté de notre démarche, inhérente à toute approche pluridisciplinaire, est de construire une réflexion commune à partir de champs disciplinaires très différents, ce qui peut donner l'impression d'un collage ou de la mise à disposition d'un outil à une discipline par l'autre. Ce n'est pas le cas ici, toute la réflexion sur les cartes cognitives prend appui sur le potentiel des individus à se construire et à utiliser une carte de leur environnement, c'est-à-dire à restituer des cartes de l'espace qui peuvent être très différentes, celles-ci s'adaptent tout à fait aux résultats

développés en géographie humaine⁵⁴. Il s'agit d'une heuristique qui s'enrichit de l'échange entre disciplines. Elle apporte, certes, des outils à l'aménagement du territoire, à l'économie ou au marketing pour la localisation commerciale, par exemple. Elle se construit plus fondamentalement par l'échange, la définition et la validation de concepts et l'enrichissement mutuel de nos disciplines partenaires.

Bibliographie

- Aguilera, Anne et Frédéric Gaschet, « Externalités: forme et croissance des villes », dans Claude Lacour, Evelyne Perrin et Nicole Rousier (dir.), *Les nouvelles frontières de l'économie urbaine*, Paris, Éditions de l'Aube, 2005.
- Amblard, Frédéric et Denis Phan, *Modélisation et simulation multiagent : applications pour les sciences de l'homme et de la société*, Hermes Science Publications, Lavoisier, 2006.
- Arnott, Richard et John Rowse, « Peer Group Effects and the Educational Attainment », *Journal of Public Economics*, vol. 32, n° 3, 1987, p. 287-305.
- Baas, Nils A., « Emergence, Hierarchies and Hyperstructures », *Artificial Life*, vol. 3, n° 7, 1994, p. 515-537.
- Bailly, Antoine, *La perception de l'espace urbain. Les concepts, les méthodes d'étude, leur utilisation dans la recherche urbanistique*, Paris, Centre de Recherche d'Urbanisme, 1977.
- Barros, Joana, « Simulating Urban Dynamics in Latin American Cities », *7th International Conference on GeoComputation*, University of Southampton (UK), 2003.
- Benabou, Roland, « Workings of a City: Location, Education and Production », *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 108, 1993, p. 619-652.

⁵⁴ Valérie Pouban-Attas, *L'espace urbain déformé : transports collectifs et cartes mentales*, Thèse de doctorat, École Nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris Val de Marne, 1998.

- Benenson, Itzhak, Itzhak Omer et Erez Hatna, « Entity-Based Modelling of Urban Residential Dynamics: The Case of Yaffo », *Environnement and Planning B*, vol. 29, 2002, p. 491-512.
- Bonnefoy, Jean Luc, « From Households to Urban Structures: Space Representations as Engine of Dynamics in Multi-Agent Simulations », *Cybergeo, Revue européenne de géographie*, <http://sites.univ-provence.fr/bonnefoy/informations/publications.html>, 2002 consulté le 15 mai 2008.
- Braitenberg, Valentino, *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*, Cambridge (MA), MIT Press, 1984.
- Brueckner, Jan K., Jacques François Thisse et Yves Zenou, « Why is Central Paris Rich and Downtown Detroit Poor? An Amenity-Based Theory », *European Economic Review*, vol. 43, 1999, p. 91-107.
- Burgess, Ernest W. et Robert E. Park, *The City*, University of Chicago Press, 1925.
- Castells, Manuel, *La question urbaine*, Paris, Maspéro, 1972.
- Cauvin, Colette, « Cognitive and Cartographic Representations: Towards a Comprehensive Approach », *Cybergeo, Cartography, Images, GIS*, Article 206, mis en ligne le 15 janvier 2002, modifié le 03 mars 2007, URL : <http://cybergeo.revues.org/index194.html>, consulté le 15 mai 2008.
- Clark, William A. V., « Residential Preferences and Neighborhood Racial Segregation: A Test of the Schelling Segregation Model », *Demography*, vol. 28, 1991, p. 1-19.
- Crane, Jonathan, « The Epidemic Theory of Ghettos and Neighborhood Effects on Dropping Out and Teenage Childbearing », *American Journal of Sociology*, vol. 96, n° 5, 1991, p. 1226-1259.
- Décamps, Aurélien, « Trajectoires de quartiers et processus ségrégatifs urbains : une investigation sur l'Aire Urbaine bordelaise », *XLV colloque de l'ASRDLF : Territoires et action publique territoriale, nouvelles ressources pour le développement régional*, Rimouski, Québec, 2008.
- Donzelot, Jacques, « La ville à trois vitesses : relégation, périurbanisation, gentrification », *Esprit*, vol. 3-4, 2004, p. 14-39.
- Duranton, Gilles, « L'analyse économique du zonage urbain : une brève revue de la littérature », *Revue d'économie régionale et urbaine*, vol. 2, 1997, p. 171-187.
- Durlauf, Steven N., « Neighborhood Effects », dans J. Vernon Henderson et Jacques François Thisse (dir.), *Handbook of Regional and Urban Economics*, vol. 4, *Cities and Geography*, Elsevier, 4, 2004.

- Epstein, Joshua et Robert Axtell, *Growing Artificial Societies. Social Sciences from the Bottom-Up*, Washington D.C., Brookings Institution Press, 1996.
- Fosset, Mark et Waren Warren, «Overlooked Implications of Ethnic Preferences for Residential Segregation in Agent-Based Models», *Urban Studies*, vol. 42, n° 11, 2005, p. 1893–1917.
- Freksa, Christian, Christopher Habel et Karl F. Wender (dir.), *Spatial Cognition. An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge*, Berlin, Springer, 1998.
- Fujita, Masahisa, *Urban Economic Theory. Land Use and City Size*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- Gaussier, Philippe, Sacha Leprêtre, Cédric Joulain, Arnaud Revel, Mathias Quoy et Jean-Paul Banquet, « Animal and Robot Learning: Experiments and Models About Visual Navigation », *7th European Workshop on Learning Robots (EWLR)*, Edinburgh (UK), 1999.
- Gaussier, Philippe, Arnaud Revel, Jean-Paul Banquet et Vincent Babeau, « From View Cells and Place Cells to Cognitive Map Learning: Processing Stages of the Hippocampal System », *Biological Cybernetics*, vol. 86, 2002, p. 15-28.
- Gilbert, Nigel et Rosaria Conte (dir.), *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Phenomena*, Londres, UCL Press, 1995.
- Gilbert, Nigel et Jim Doran, *Simulating Societies: The Computer Simulation of Social Phenomena*, Londres, UCL Press, 1994.
- Golledge, Reginald et Robert John Stimson, *Analytical Behavioural Geography*, London, Croom Helm, 1987, 345 p.
- Gould, Peter, « On Mental Maps », *Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers*, Discussion Paper 9, 1966.
- Hall, Edward Twitchell, *The Hidden Dimension*, New York, Doubleday and Co., 1966.
- Kain, John F., « Housing Segregation, Negro Employment and Metropolitan Decentralization », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 82, 1968, p. 175-197.
- Kain, John F., «The Spatial Mismatch Hypothesis: Three Decades Later», *Housing Policy Debate*, vol. 3, n° 2, 1992, p. 371-460.
- Krugman, Paul, *The Self-Organising Economy*, Cambridge (MA), Blackwell, 1996.
- Laroque, Philippe, Nicolas Cuperlier et Philippe Gaussier, « Impact of Imitation on the Dynamics of Animat Populations in a Spatial Cognition Task », dans Frans Groen (dir.), *IAS-8, Intelligent Autonomous*

- System*, Amsterdam, IOS Press, 2004.
- Laroque, Philippe, E. Fournier, P. H. Phong et Philippe Gaussier, « Cognitive Map Plasticity and Imitation Strategies to Extend the Performance of a MAS », dans Tamio Arai, Rolf Pfeifer, Tucker Balch et Hiroshi Yokoi, (dir.), *IAS-9, Intelligent Autonomous Systems*, Tokyo, IOS Press, 2006.
- Laurie, Alexander J. et Narendra K. Jaggi, « Role of “Vision” in Neighbourhood Racial Segregation: A Variant of the Schelling Segregation Model », *Urban Studies*, vol. 40, n° 13, 2003, p. 2687-2704.
- Laville, Frédéric, « La cognition située : une nouvelle approche de la rationalité limitée », *Revue Économique*, vol. 51, n° 6, 2000, p. 1301-1331.
- Laszlo, Ervin, Ignazio Masulli, Robert Artigiani et Vilmos Csányi (dir.), *The Evolution of Cognitive Maps. New Paradigms for the Twenty-First Century*, The World Futures, General Evolution Studies. vol. 5, 1993.
- Lynch, Kevin, *The Image of the City*, Cambridge (MA), MIT Press, 1960.
- Maurin, Eric, *Le ghetto français*, Paris, La Découverte, 2004.
- Meyer, Jean-Arcadie et Stewart Wilson, « From Animals to Animats », dans *First International Conference on Simulation of Adaptative Behavior*, Cambridge (MA), MIT Press, Bradford Books, 1991.
- O’Keefe, John et Lynn Nadel, *The Hippocampus as a Cognitive Map*, Oxford, Clarendon Press, 1978.
- O’Reagan, Katherine M. et John M. Quigley, « Where Youth Live: Economic Effects of Urban Space on Employment Prospects », *Urban Studies*, vol. 35, n° 7, 1998, p. 1187-1205.
- Orleans, Peter, « Differential Cognition of Urban Residents: Effects of Social Scale on Mapping », dans Roger M. Downs et David Stea (dir.), *Image and Environment: Cognitive Mapping and Spatial Behavior*, Chicago, Aldine, 1973, p. 115-130.
- Pancs, Romans et Nicolaas J. Vriend, « Schelling’s Spatial Proximity Model of Segregation Revisited », *Journal of Public Economics*, vol. 91, 2007, p. 1-24.
- Portugali, Juval, « Geography, Environment and Cognition: An Introduction », *Geoforum*, vol. 23, n° 2, 1992, p. 107-109.
- Poublan-Attas, Valérie, *L’espace urbain déformé : transports collectifs et cartes mentales*, Thèse de doctorat, École Nationale des Ponts et Chaussées, Université Paris Val de Marne, 1998.
- Pouyanne, Guillaume, «L’ambiguïté de la relation entre étalement urbain

- et ségrégation socio-spatiale», dans Frédéric Gaschet et Claude Lacour (dir.), *Métropolisation et ségrégation*, Presses Universitaires de Bordeaux, 2008.
- Quoy, Mathias, Philippe Laroque et Philippe Gaussier, « Learning and Motivational Couplings Promote Smarter Behaviors of an Agent in an Unknown World », *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 38, n°s 3-4, 2002, p. 149-156.
- Sakoda, James M., « The Checkerboard Model of Social Interaction », *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, n° 1, 1971, p. 119-132.
- Schelling, Thomas C., « Models of Segregation », *American Economic Review*, vol. 59, 1969, p. 488-493.
- Schelling, Thomas C., « Dynamic Models of Segregation », *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, 1971, p. 143-186.
- Schelling, Thomas C., *Micromotives and Macrobehavior*, New York, Norton, 1978.
- Simon, Herbert, *Models of Man*, New York, Wiley, 1957.
- Steels, Luc, *The Talking Heads Experiment, Volume 1, Words and Meanings*, Antwerpen, Laboratorium, 1999.
- Thorsnes, Paul, « Internalizing Neighborhood Externalities: The Effect of Subdivision Size and Zoning on Residential Lot Prices », *Journal of Urban Economics*, vol. 48, 2000, p. 397-418.
- Tiebout, Charles M., « A Pure Theory of Local Expenditures », *Journal of Political Economy*, vol. 64, n° 5, 1956, p. 416-424.
- Wasserman, Henry et Gary Yohe, « Segregation and the Provision of Spatially Defined Local Goods », *The American Economist*, vol. 45, 2001, p. 13-24.
- Young, Peyton, *Individual Strategy and Social Structure: An Evolutionary Theory of Social Structure*, Princeton (NJ), Princeton University Press, 1998.
- Zenou, Yves et Nicolas Boccoard, « Racial Discrimination and Redlining in Cities », *Journal of Urban Economics*, vol. 48, 2000, p. 260-285.
- Zhang, Junfu, « Residential Segregation in an All-Integrationist World », *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 54, 2004, p. 533-550.