



HAL
open science

Vers une simulation de l'évolution des structures urbaines à partir d'agents

Frederic Rousseaux

► **To cite this version:**

Frederic Rousseaux. Vers une simulation de l'évolution des structures urbaines à partir d'agents. SIMTOOLS 2013 - Des outils libres pour la conception et l'analyse de simulations spatialisées à base d'agents, Mar 2013, Saint Mandé, France. halshs-00819830

HAL Id: halshs-00819830

<https://shs.hal.science/halshs-00819830v1>

Submitted on 2 May 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vers une simulation de l'évolution des structures urbaines à partir d'agents

Frédéric Rousseaux

UMR Littoral, Environnement, Sociétés, CNRS/Université de La Rochelle. Institut du littoral, 2 rue Olympe de Gouge, 17042 La Rochelle
Frederic.rousseau@univ-lr.fr

1 Introduction

Comprendre la manière dont les villes se fabriquent et évoluent est un thème de recherche très actif depuis quelques années. Plusieurs domaines scientifiques étudient notamment pourquoi et comment la ville s'étale ou se densifie. Dans un cadre plus appliqué, les documents de prospective de type SCOT (schéma de cohérence territoriale) proposent des scénarios d'évolution en fonction de critères économiques, sociaux et de plus en plus, environnementaux. « *La demande de construction devrait continuer à croître fortement, en raison d'abord de la structure des ménages et du vieillissement de la population* » [1]. Deux modèles de développement urbain ressortent actuellement : le modèle de la ville dense et celui de la ville éclatée. On retrouve une illustration de ces deux types en se référant au modèle d'Amsterdam, modèle de la ville dense où les avantages de la concentration sont maximisés, et au modèle de Johannesburg qui représente le modèle de la ville étalée. Le phénomène d'étalement, comme le phénomène de densification se matérialise par la modification des structures de la ville. Par structure est définie ici une unité morphologique homogène : lorsque la ville s'étale, de nouvelles structures urbaines viennent s'agglomérer autour d'un noyau, généralement central, existant. Lorsque la ville se densifie, des structures urbaines existantes sont alors modifiées. Le travail présenté dans cet article présente un modèle d'évolution des structures urbaines. Ces structures sont identifiées puis décrites à l'aide d'une base de données vectorielle. C'est à partir de ces structures que le modèle est élaboré. La classification en structure urbaine de l'espace étudié, ici Nantes Métropole, correspond à l'état zéro de la simulation. Il représente un état simplifié de la zone d'étude. À partir de cette représentation de l'espace, la simulation est ensuite basée sur l'évolution des classes de structures urbaines vers d'autres classes de structures, à l'aide d'une matrice de transition. C'est ce qui permet de simuler l'étalement : une structure non bâtie devient une structure bâtie. C'est aussi ce qui permet de simuler la densification : une structure représentant du bâti peu dense peut devenir une structure représentant du bâti dense. Le passage d'un état à un autre état est lié au niveau de la demande de ces espaces par les habitants. Cette demande correspond à de nombreux critères qui sont développés dans la deuxième partie de l'article.

Techniquement, une simulation spatiale décrit deux éléments : le phénomène et l'espace dans lequel le phénomène se déroule et qui influence (et peut être modifié par) son comportement. La modélisation du phénomène en tant que tel nécessite généralement des logiciels spécifiques. La représentation de l'espace, à l'aide de données spatialisées, requiert elle des outils avec des capacités de gestion, d'affichage

adfa, p. 1, 2011.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

et d'analyse spatiale (type SIG). Il existe de plus en plus de passerelles entre ces deux types de logiciels. En ce qui concerne la simulation agent ici utilisée, les logiciels qui permettent d'utiliser des fonctions spatiales (lecture, géotraitement, écriture, affichage) sont de plus en plus nombreux : REPAST S [2], basé sur la bibliothèque libre GEOTOOLS, REPAST PY [2], qui propose une interface de travail avec le système d'information géographique ARCGIS à l'aide du langage Python et de la Toolbox d'ArcMAP, GAMA [3], ou le basique NETLOGO [4] et son extension SIG. Le modèle qui est présenté ici est développé en tant que module dans un système d'information géographique libre : ORBISGIS [5]. Ce SIG est caractérisé par ses capacités importantes en termes de traitement, de représentation de données et de temps de calcul, ce qui est un point important car le modèle contient un grand nombre d'agent (environ 300000). OrbisGIS stocke les données géographiques dans un format de base de données nommé GDMS. Les analyses sont effectuées à l'aide d'un langage propre à ce format.

2 Un modèle d'évolution des structures urbaines

Le modèle de simulation décrit l'évolution urbaine d'une ville de type européen. Les villes occidentales présentent généralement une structure auréolaire partant d'un centre ville dense qui concentre les principales activités de commerces et de services, puis d'un péri-centre composé également de bâtiments assez hauts (3-5 étages) de style haussmannien et enfin d'une ou plusieurs couronnes périphériques englobant des immeubles collectifs (type barres ou tours) et l'habitat individuel résidentiel (maison de lotissement, pavillon). Se retrouvent également rejetés dans les espaces périphériques des villes, les grands centres commerciaux et industriels. À partir de ce constat, trois indicateurs apparaissent pertinents pour définir les structures urbaines qui composent la ville : la morphologie des bâtiments, l'occupation des sols et la répartition spatiale des bâtiments. Selon Long [6], la morphologie des bâtiments peut être définie par la hauteur des bâtiments pondérée par leur surface au sol, leur volume, leur périmètre, leur compacité d'une part, et l'occupation des sols, par la surface construite, goudronnée (routes), de végétation et d'eau, d'autre part. Pour donner une indication sur la répartition spatiale des bâtiments, deux indicateurs sont proposés: le nombre de bâtiments par unité de référence et l'espacement moyen entre les bâtiments. Ces indicateurs permettent de définir les types de quartiers / de structures urbaines homogènes qui composent la ville pour différentes applications [7], [8], [9]. Concernant Nantes, la ville est décrite à l'aide de 6 structures décrites dans le tableau 1 : 5 structures évolutives et une structure caractérisée mais exclue de la modélisation : les zones d'activités. Ces dernières sont ignorées dans le modèle car elles fonctionnent avec des règles d'évolutions spécifiques qui n'ont pas encore été explorées.

Tableau 1. Caractéristiques métriques des cinq structures urbaines (source : Frédéric Rousseaux)

Structures urbaines	Densité bâtie	Densité de végétation	Hauteur moyenne (m)	Espacement moyen (m)
Bâtiment isolé	0,01	0,23	2,56	-
Résidentiel peu dense	0,13	0,18	6,09	41,5
Résidentiel dense	0,24	0,16	8,91	38,7
Péricentre	0,34	0,12	12,49	30,09
Centre-ville	0,50	0,05	17,78	23,38

Le résultat de la classification est ensuite rapporté par interpolation sur un découpage de l'espace en îlots (qui est le résultat de l'agrégation de parcelles cadastrales). Ces îlots sont des agents *Parcelle*. Ils constituent les objets de base de la simulation et sont décrits dans la suite de l'article. La figure 1 présente les 5 structures retenues.



Fig. 1. Présentation des 5 structures urbaines utilisées dans le modèle (source : Frédéric Rousseaux)

3 Description du modèle

Le modèle est très simple et est uniquement basé sur deux classes qui décrivent pour la première, l'espace (l'agent *Parcelle*) et pour la seconde les habitants à partir desquelles le phénomène d'évolution urbaine s'anime (l'agent *Ménage*). Chaque classe est définie dans la figure 2. En termes de simulation, la méthode multi-agents est utilisée. Un système multi-agents (SMA) est défini par Jacques Ferber comme « constitué d'un ensemble d'agents autonomes et indépendants en interaction, qui coordonnent leurs actions dans un environnement et forment une organisation artificielle » [10]. Un agent est défini par des attributs (qui peuvent évoluer) et des actions qu'il peut effectuer. La classe d'agents *Parcelle* et la classe d'agents *Ménage* sont associées de la façon suivante : un ménage est installé dans zéro ou une parcelle ; une parcelle peut contenir zéro ou plusieurs ménages. Un ménage peut ne pas être installé dans une parcelle si aucune des parcelles proposées ne lui convient.

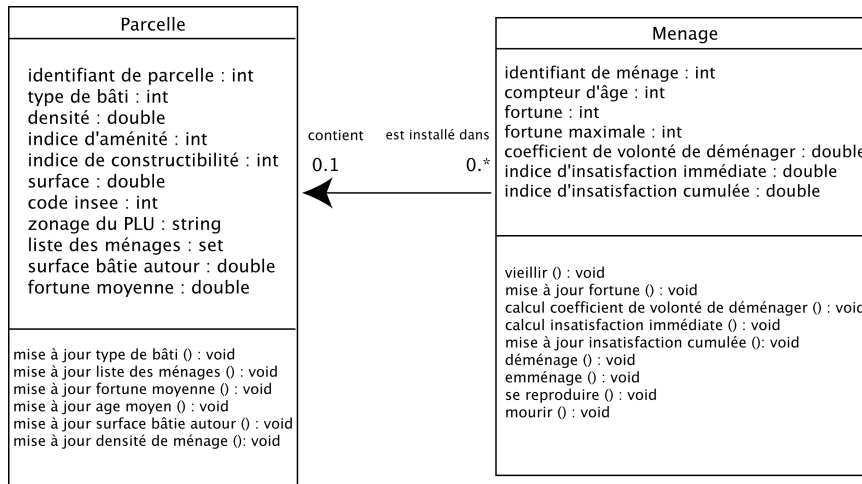


Fig. 2. Présentation du diagramme UML de classe du modèle (source : Frédéric Rousseaux)

Afin de représenter le cycle de vie d'un ménage, il est nécessaire de prendre en compte ses aspirations, ses besoins, notamment en termes d'espace, sa structure familiale et ses revenus. Ce sont quelques-uns des paramètres qui évoluent tout au long de la vie d'un ménage et qui vont servir à créer la dynamique du modèle.

3.1 Description de l'agent parcelle

La classe d'agents *Parcelle* est décrite à l'aide de plusieurs attributs, dont des constantes, qui restent fixes durant toute la simulation. Pour ces dernières, il s'agit de la surface de la parcelle, du zonage du PLU, d'un indice d'aménités, d'un indice de constructibilité et d'une densité maximale de ménages supportée.

L'indice d'aménité. Il est calculé et cartographié sur l'ensemble de la zone de Nantes Métropole, et représente la qualité de vie et l'attraction que la parcelle présente pour les ménages, en fonction des équipements qui l'entourent (aménités positives ou négatives selon le type d'équipement). La notion d'aménité évoque les aspects agréables et désagréables de l'environnement ou de l'entourage social, qui ne sont ni appropriables, ni quantifiables en termes de valeur monétaire. Tout nouveau ménage qui désire s'installer dans une ville regarde à proximité de quels services il se situe. Par exemple une école, un hôpital, une crèche ou un espace vert attirera davantage qu'une déchetterie, une voie ferrée, un aéroport ou une friche industrielle qui seront considérés comme étant source de nuisances potentielles. Les aménités sont difficilement évaluables de façon monétaire. La carte d'aménités, présentée en figure 3 a été réalisée par analyse multicritères à partir de la BD TOPO de l'Institut Géographique National.

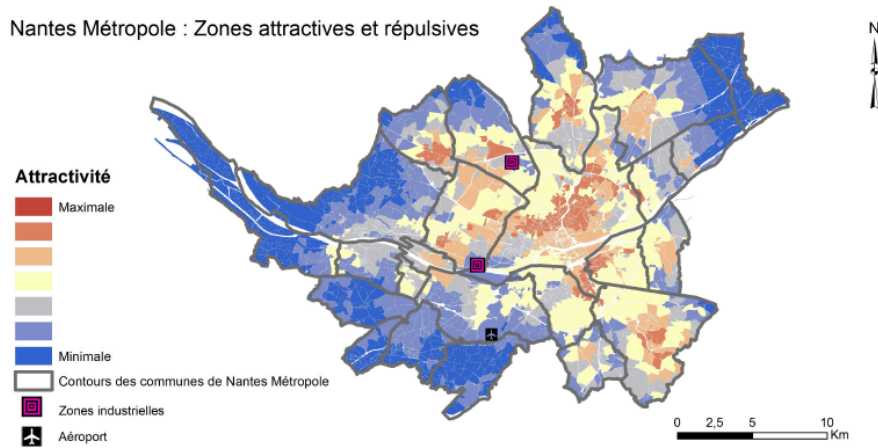


Fig. 3. Cartographie des zones d'aménités sur Nantes Métropole (source : Frédéric Rousseaux)

L'indice de constructibilité. Il représente le degré de constructibilité de la parcelle vis-à-vis des documents d'urbanisme. Plus l'indice de constructibilité est élevé, plus les parcelles ont une forte probabilité de recevoir de nouveaux ménages venant construire et s'installer dans la parcelle. Cet indice de constructibilité, présenté en figure 4 est déterminé pour chaque zonage du PLU de l'ensemble des 24 communes. C'est aussi le résultat d'une analyse multicritères.

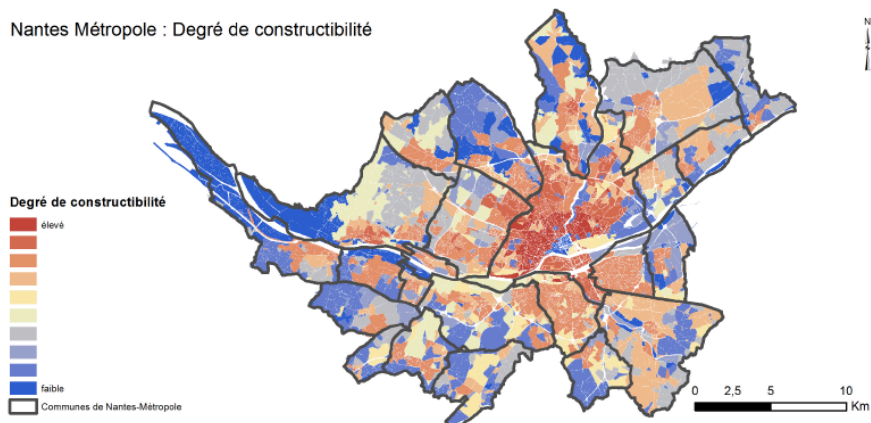


Fig. 4. Cartographie des degrés de constructibilité sur Nantes Métropole (source : Frédéric Rousseaux)

3.2 Description de l'agent ménage

La classe d'agent *Ménage* correspond à un foyer type, composé d'une ou plusieurs personnes. À l'initialisation du modèle, chaque agent ménage est réparti (installé) dans un agent parcelle. La distribution initiale du nombre d'agents ménage est

effectuée en corrélation avec la densité de bâti (superficie pondérée par la hauteur) présente dans la parcelle. À chaque tour de la simulation, de nouveaux agents *Ménage*, certains extérieurs (immigration), viennent s'installer dans les parcelles qui correspondent au mieux à leurs demandes. D'autres agents *Ménage*, déjà existants choisissent de déménager en fonction de différents critères, décrits dans [11]. Il s'agit d'informations recueillies par l'enquête d'opinion effectuée par l'Agence d'urbanisme de l'Agglomération Nantaise et qui aide à caractériser les désirs et comportement des ménages. Chaque agent *Ménage* est caractérisé par un âge et dispose d'un revenu moyen par ménage fiscal renseigné par l'INSEE. Le ménage apparaît donc à 20 ans avec une fortune correspondant à $F_{max}/3$, F_{max} étant la fortune maximale qu'il a héritée de l'agent ménage père. Elle reste donc identique pour la même dynastie de ménages. Cette fortune augmente ensuite de façon linéaire au cours du cycle de vie, selon la formule ci-dessous, pour atteindre sa fortune maximale (F_{max}) à 60 ans.

$$Fortune(\text{âge}) = (F_{max}/60) * \text{Âge}$$

À partir de 60 ans, la fortune de l'agent correspond à la fortune maximale qu'il ne pourra jamais dépasser au cours de son cycle de vie. L'agent disparaît ensuite autour de 80 ans. Durant son cycle de vie, l'agent *Ménage* est dynamique et cherche la parcelle qui satisfera au mieux ses attentes. Pour représenter cette volonté, deux indices d'insatisfaction ont été définis: un indice d'insatisfaction immédiat et un indice d'insatisfaction cumulée. L'indice d'insatisfaction immédiat permet de connaître, à chaque tour, le degré d'insatisfaction d'un ménage. Il est calculé à partir d'éléments fixes, tels que les indices d'aménités, les indices de qualité de vie de l'agent *Parcelle* concerné par le ménage, ainsi que d'éléments variables comme le coefficient de volonté de déménager calculé à chaque tour et qui varie avec l'âge du ménage. Cet indice prend en compte le logement idéal visé par les agents ménages, variable en fonction de leur âge et de leur revenu. Les actions d'emménager ou de déménager sont essentielles à la classe d'agents *Ménage*, car elles traduisent la dynamique du modèle et illustrent ainsi la densification ou l'étalement de certaines zones de l'agglomération. À chaque tour du modèle, un nombre d'agents *Ménage* encore non sédentaires doit emménager, il ne peut pas y avoir d'agent *Ménage* qui restent sans logement. Ce processus est présenté en figure 5.

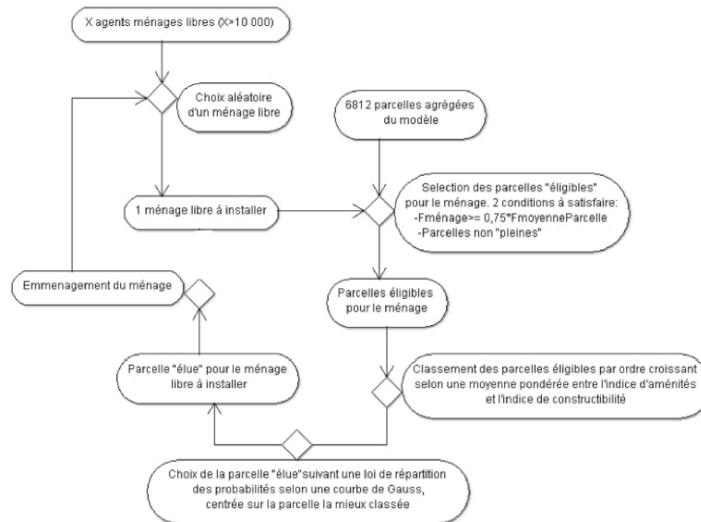


Fig. 5. Diagramme d'activité pour les emménagements/déménagements (source : Frédéric Rousseaux)

4 Implémentation du modèle en tant que module dans OrbisGIS

Le module USM (Urban model Simulation) est développé dans la plateforme OrbisGIS. Cette plateforme est un outil de type SIG opensource développé en Java à l'IRSTV (Institut de Recherche Sciences et Techniques de la Ville) de Nantes, France depuis 2007. L'intérêt d'OrbisGIS est lié à sa bibliothèque GDMS (Generic DataSource Management System) qui permet d'utiliser un langage SQL spécifique à la gestion de bases de données géographiques importantes. GDMS implémente la norme SFS (Simple Feature SQL standard) et permet de manipuler les principaux opérateurs spatiaux (ST_Buffer, ST_Intersects, etc.). Toutes les analyses spatiales sont effectuées en SQL, comme dans une base de données type PostGIS. GDMS offre aussi une interface de programmation. OrbisGIS propose une interface graphique qui permet de créer ses propres processus de géotraitements. Le module USM utilise GDMS pour stocker, lire, écrire, analyser les données de la simulation et ce module utilise aussi la bibliothèque JAVA SWING pour l'interface graphique du modèle. Pendant la simulation, de nombreux paramètres sont disponibles pour suivre le déroulement de l'évolution urbaine. Des graphiques dynamiques montrent par exemple le nombre de ménages total, arrivant ou déménageant. Chaque tour de la simulation est stocké dans un fichier GDMS séparé. Les résultats peuvent être ensuite cartographiés. Pour chaque tour, l'utilisateur a accès à l'ensemble des données géographiques qui composent la simulation.

5 Premiers résultats et perspectives

Les résultats proposés ici en sont encore à un stade peu avancé. En ce qui concerne le cas d'étude sur Nantes-Métropole, nous avons testé deux scénarios. Chacun de ces scénarios propose une simulation qui tourne sur 20 ans entre les années 2010 et 2030. Bien que les deux scénarios arrivent à des résultats assez proches sur un plan cartographique, les paramètres définis en entrée sont eux assez différents. Le premier scénario simule une volonté de favoriser la densification et limiter l'étalement urbain, en définissant des critères d'application aux règlements d'urbanisme forts. Au contraire, le second scénario laisse « la ville vivre » et ne contraint pas l'urbanisation par des règles trop strictes. Par ailleurs, les aménités présentent dans ce scénario un poids important. La similarité des deux résultats s'explique en partie par le nombre d'agent du scénario 1, beaucoup plus important que sur la seconde simulation : la densification est donc difficile à maîtriser et l'étalement inévitable. De nombreux autres tests et surtout une exploration sérieuse du domaine des paramètres reste toutefois à effectuer. Ce qui est présenté dans la figure 6 restant donc de l'ordre de la simple illustration.

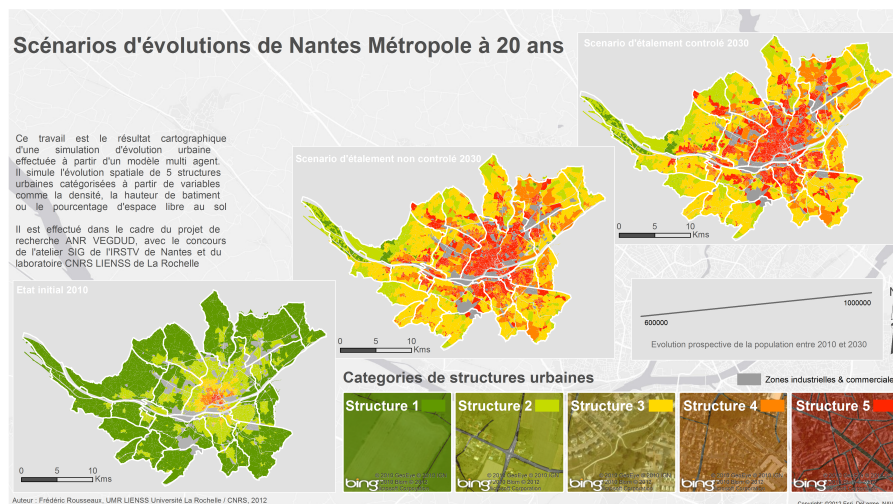


Fig. 6. Cartographie des résultats de deux scénarios sur Nantes-Métropole (source : Frédéric Rousseaux)

En sciences sociales, la simulation recouvre plusieurs objectifs décrits dans [12] dont, entre autres, la prédiction (quel sera l'état de mes valeurs d'entrée dans un temps $t+n$), l'éducation (que se passe-t-il dans le modèle si des valeurs sont virtuellement modifiées ?) et la découverte (approche exploratoire, des variables sont-elles corrélées à d'autres variables ?). Si, sur un plan scientifique, l'approche initiale du modèle d'évolution urbaine se rapproche plutôt de la prédiction, l'usage et l'élaboration opérationnelle avec les partenaires institutionnels a plutôt tendance à le faire entrer dans la catégorie « éducation » : auprès des décideurs ou du grand public, le modèle spatial représente souvent une sorte de « simulation informatique de la vie ».

L'analogie avec de célèbres jeux vidéo est régulièrement mise en avant. Elle a

d'ailleurs souvent été citée en exemple par de nombreux chercheurs [13]. La mise en avant de résultats est difficile, car la sensibilité de ces résultats par rapport aux valeurs des paramètres n'a pas encore été mesurée. C'est finalement l'élaboration même du modèle qui permet une meilleure compréhension des phénomènes qui fabriquent et font évoluer la ville. À ce sujet, le Géographe français Roger Brunet parlait de la modélisation comme d'un processus de recherche [14]. C'est dans ce processus que s'inscrit ce modèle.

6 Bibliographie

- 1 Cuniberti, E., Frandon, C., Giraud, E. Bases (Les) de données géographiques d'occupation du sol : volet tache urbaine. CETE de Lyon 2005 ed CERTU
- 2 North, J., and Macal, C. M. Managing Business Complexity. Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation. 2007.
- 3 Taillandier, P., Drogoul, A., Vo, D.A. and Amouroux, E. GAMA: a simulation platform that integrates geographical information data, agent-based modeling and multi-scale control. Proceedings of The 13th International Conference on Principles and Practices in Multi-Agent Systems, (India, 2012), Volume 7057/2012, pp. 242-258.
- 4 Wilensky, U. 1999. NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, USA. Retrieved August 28, 2012 from <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- 5 Bocher, E., Petit, G. "OrbisGIS : Geographical Information System designed by and for research", in Innovative Software Development in GIS, ISTE & Wiley, "Geographical Information System" series, Bucher B. & Le Ber F. (Editors), (p25-66), 331p. (2012).
- 6 Long N., P. Mestayer et C. Kergomard, 2003, « Urban data base analysis for mapping morphology and aerodynamic parameters: the case of St Jerome sub-urban area, in Marseille during ESCOMPTE », 5th International Conference on Urban Climate, Lodz, Pologne, Proceeding Vol 2, 389-392.
- 7 Longley P. et V. Mesev, 2002, « Measurement of density gradients and space-filling in urban systems », Regional Science, vol. 81, 1 -28.
- 8 Cianco, R.M. et R. Ellefsen, 1998, « High resolution urban morphology data for urban wind flow modelling », Atmospheric Environment, vol. 32, 1998, 7-17.
- 9 Theurer, W., 1999, « Typical building arrangements for urban air pollution modelling » Atmospheric Environment, vol. 33, 4057-4066.
- 10 Ferber J. Introduction aux concepts et méthodologies de conception multi-agents in :Amblard F. Phan D. eds.(2006) Modélisation et simulation multi-agents pour les Sciences de l'Homme et de la Société : une introduction, Londres, Hermes-Sciences, 414 p. ISBN : 2-7462-1310-9. chapitre 1, p.11-36, 2006.
- 11 AURAN, 2005, (Agence d'URbanisme de l'Agglomération Nantaise), « Aire urbaine de Nantes. Dynamisme démographique de 1999 à 2005 et projection de la population à l'horizon 2020 ».
- 12 Rennard, J.-Ph., co-eds., 2006, Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economics and Management (2 volumes). Hershey: IGR.
- 13 Gilbert, N. et K. Troitzsch, 2005, Simulation for the Social Scientist, Maidenhead, England ; New York, NY : Open University Press.
- 14 Brunet, R., 2000, Des modèles en Géographie ? Sens d'une recherche. Bulletin de la Société de Géographie de Liège, 2000, n°2, 21-30