

XXIIèmes Journées du Développement de l'Association Tiers -Monde
URGENCE, SOLIDARITE,
GOVERNANCE ET DEVELOPPEMENT

ARRAS, 22-24 mai 2006

MODELES D'AGENTS POUR LA SIMULATION
URBAINE : Méthodologie, architecture et formalisme

Igor AGBOSSOU

Université de Franche-Comté

Laboratoire ThéMA UMR 6049

Equipe : Ville, Mobilité, Territoire

32 rue Mégevand 25000 Besançon

Courriel : igor.agbossou@univ-fcomte.fr ou igor.agbossou@laposte.net

Résumé

Les systèmes multi agents (SMA) offrent un ensemble d'abstractions qui, du fait de leur degré élevé d'anthropomorphisme, sont plus facilement compréhensibles et abordables par les concepteurs et les utilisateurs des systèmes construits. Ainsi, de nombreuses communautés scientifiques font désormais appel au paradigme agent pour contribuer à résoudre les problèmes auxquels elles sont confrontées. Ces références au SMA sont de plus en plus explicites dans le spectre de domaines scientifiques en constante évolution. En effet, dans les domaines où les aspects relevant des sciences humaines et sociales interviennent, l'un des atouts des SMA réside dans leur pertinence à représenter, en particulier, les systèmes à forte dynamique des organisations et/ou des comportements de leurs composants.

Nous appuyant sur une méthodologie orientée agents pour la modélisation des systèmes géographiques que nous avons validé par ailleurs, nous proposons dans cette communication une architecture conceptuelle des agents cognitifs et réactifs ainsi qu'un formalisme de représentation des actions et interactions entre agents à différentes échelles urbaines. En guise de concrétisation, une application à la mobilité résidentielle est illustrée en dernier point.

Mots-clés : Architecture BDI, autonomie et dépendance sociales, interaction, décision

Abstract

Multi agents systems (MAS) offer a whole of abstractions which, because of their high degree of anthropomorphism, are more easily comprehensible and accessible by the designers and users of the built systems. Thus, many scientific communities refer to agent paradigm in order to solve problems which they are confronted. These references to the MAS are strongly explicit in the spectrum of scientific fields. Indeed, in related social sciences fields, one of the assets of the MAS is their capability to represent complex systems and the behaviours of their components and organizations.

According to an oriented agents methodology for geographical systems modelling that we had validated elsewhere, we propose in this paper a conceptual design of the cognitive and reactive agents as well as a formalism of representation of the actions and interactions between agents within urban hierarchical levels. At last point, an application on household's migration is given.

Key words : BDI design, social autonomy and dependency, interaction, decision

1. Introduction

Pour comprendre les changements affectant l'espace géographique et ses différentes composantes, il existe une diversité de modèles définis autour de la notion de système complexe. En effet, la répartition des activités, de l'habitat et des catégories sociales dépend de facteurs déterminants de diverses natures. Cette répartition est caractérisée par des interdépendances spatiales et temporelles, par une hétérogénéité d'agents en interaction et par une structure hiérarchique des relations entre les agents et leur environnement (ce qui implique qu'un agent influence et est influencé par des processus à plusieurs échelles spatio-temporelles). En effet, la ville et les interactions [FRA 95 ; PUM 01] qui s'y observent constituent un système éminemment complexe.

L'étude des systèmes complexes a fait de grands progrès au cours des deux dernières décennies, tant du point de vue des méthodes que de la formalisation et des outils de modélisation. Le champ des applications de la théorie des systèmes complexes est extrêmement vaste et les outils développés essentiellement par des mathématiciens, des physiciens théoriciens et des informaticiens ont vocation d'être utilisés par toutes les disciplines travaillant sur des systèmes complexes. Cependant, il est important de souligner que ces outils ne sauraient être appliqués de manière uniforme à tous les systèmes complexes ; car, au fur et à mesure que l'on s'élève dans l'échelle de la complexité, les composantes élémentaires d'un système complexe deviennent elles-mêmes de plus en plus complexes. A fortiori, dans les sciences humaines et sociales en l'occurrence en géographie humaine, ces éléments sont hautement complexes et différenciés, puisqu'il s'agit " d'agents cognitifs ", munis de représentations, de capacités mémorielles et d'intentions, capables de développer des stratégies individuelles. Plus généralement, la notion de " niveau d'échelle " est essentielle dans ce domaine : les constituants d'un niveau s'agrègent pour donner naissance aux constituants du niveau supérieur (emboîtement d'échelles).

Dans la suite de cet article nous insistons dans un premier temps, sur la définition des concepts fondateurs des systèmes multi agents nous permettant d'asseoir le formalisme nécessaire à la mise au point d'une méthodologie orientée agents en géographie. L'architecture BDI des différents agents (cognitifs et réactifs) sera ensuite décrite. Enfin une esquisse du formalisme des différentes interactions sera présentée au travers d'une application.

2. Des agents aux systèmes multi agents en géographie

Il est primordial de faire remarquer que la notion d'agent est un concept fondamentalement abstrait et revêt d'une sémantique polymorphe relative à l'échelle organisationnelle considérée et aussi à la discipline dans laquelle elle est mise en œuvre. En informatique, discipline dont l'importance pour les géographes n'est plus à démontrer notamment quant à la concrétisation des modèles de simulation, un agent est principalement un *programme autonome et personnalisable et, pour les plus aboutis, présentant des caractéristiques d'auto-apprentissage et de communication avec ses alter-ego pour une action coopérative*. Ainsi en Sciences Humaines et Sociales, en l'occurrence en géographie, le concept d'agent peut s'appliquer à l'échelle spatiale en tant qu'entité changeant d'états. Il peut également s'appliquer au fonctionnement de la dynamique sociale au niveau individuel et/ou collectif. Cependant il existe un certain nombre de propriétés qui permettent de caractériser un agent.

2.1. Définition d'un agent

Un agent est une entité :

- **autonome** : il agit sans une intervention extérieure, contrôle ses actions en fonction de son état interne et de son environnement¹ et dispose d'une existence propre ;
- **proactive** : l'agent a en effet sa propre activité et son propre but. Contrairement aux objets², l'agent n'agit pas simplement en réponse aux messages reçus des autres agents, mais son activité est dirigée par ses objectifs ;
- **adaptative** : l'agent est capable de réguler ses aptitudes (communicationnelles, comportementales, etc.) en fonction de l'agent avec lequel il interagit et/ou de l'environnement dans lequel il évolue. En d'autres termes, un agent adaptatif a la capacité de modifier son plan d'action originel en vue de satisfaire des demandes internes (émanant de lui-même) ou externes.

S'accordant aux préceptes de la géographie, on peut, par renchérissement de la définition classique de J. Ferber, aboutir à une définition plus précise : **un agent est une entité physique ou virtuelle, autonome, située dans un environnement, capable de le percevoir, d'y agir, de communiquer avec d'autres agents, de se reproduire éventuellement**. De plus, un agent possède un objectif individuel (fonction de satisfaction) et/ou collectif, des ressources, une représentation partielle de son environnement et des compétences. Son comportement est fonction de ses observations, connaissances, compétences et de ses interactions. L'ensemble de tous les agents en relation avec leur environnement constitue le système multi agents.

2.2. Définition d'un système multi agents

Un SMA est un ensemble d'agents interagissant. La figure 1 proposée par J. Ferber [FER 95 op. cit.], illustre les principaux concepts et composants d'un SMA ainsi que leur relation.

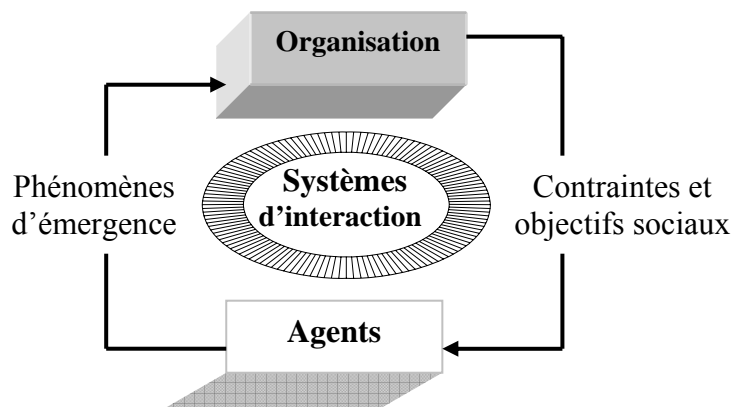


Figure 1 : La relation micro-macro dans les SMA (adapté de J. Ferber)

Un tel système repose sur l'existence concomitante

- d'un modèle d'agents,
- d'un modèle d'interactions et
- d'un modèle organisationnel (représentant les propriétés globales de la société d'agents) bien spécifique à la discipline (la géographie en l'occurrence) et à une thématique bien précise.

¹ Cette propriété fondamentale pour la définition d'un agent est "graduelle", au sens où il ne suffit pas de fournir une caractéristique unique d'autonomie, mais différents degrés d'autonomie.

² Les objets ont en commun avec les agents des similarités évidentes mais aussi des différences fondamentales. Un agent décide de son comportement en fonction de son état, de ses croyances, de ses connaissances et de ses perceptions de l'environnement. Les objets ne possèdent pas cette autonomie de contrôle.

2.3. Les interactions entre échelles microscopique et macroscopique

S'il est d'ores et déjà établi que le comportement global du système émerge d'un ensemble d'interactions locales entre agents et/ou entre les agents et un ensemble de structures organisationnelles, il est primordial de comprendre comment cette émergence repose sur la dynamique du système. En effet, elle est indissociable du niveau macroscopique et nécessite l'étude du rapport entre l'échelle microscopique et l'échelle macroscopique, c'est-à-dire entre les agents eux-mêmes et entre les agents et leur environnement organisationnel. Pour une meilleure compréhension du processus d'émergence, nous proposons une illustration prenant comme support la figure 2.

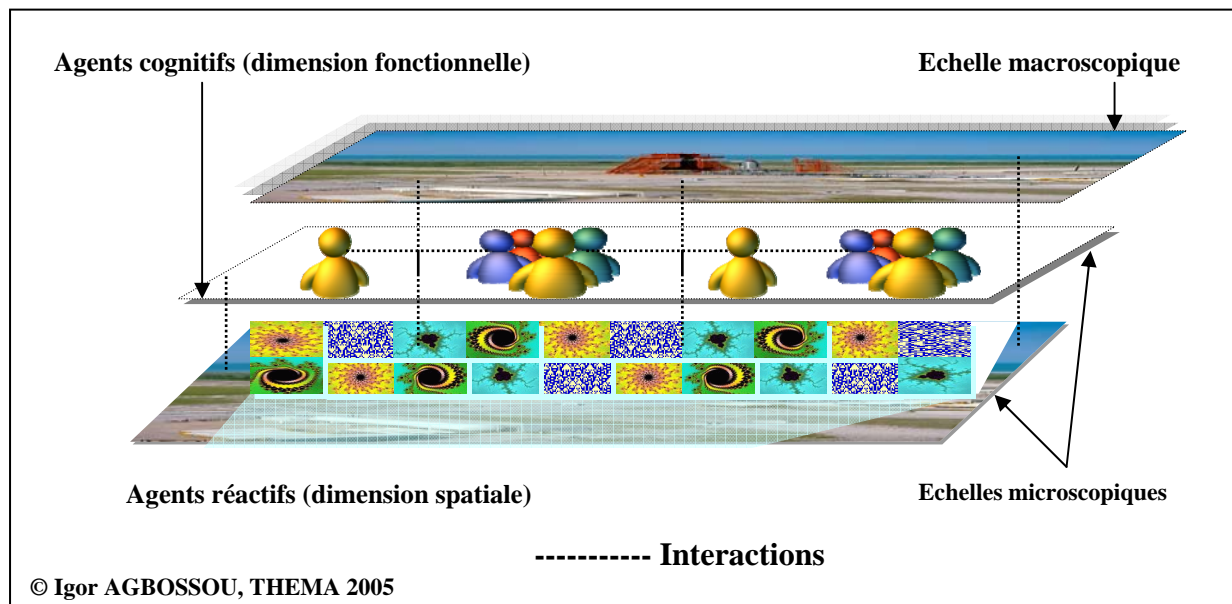


Figure 2 : *Illustration du processus d'émergence*

Le niveau macroscopique correspond au système composé de son environnement physique et d'agents cognitifs organisés en société. Il définit l'organisation de la structure d'agents composant le système, et son rôle global. Deux types d'interactions sont donc identifiés :

- i)** les interactions entre agents du même niveau ;
- ii)** interactions entre les deux niveaux. Les phénomènes d'émergences sont ainsi le résultat de ces interactions.

La section suivante est consacrée à une vue synthétique de la méthodologie de modélisation conceptuelle d'un SMA en géographie.

3. Méthodologie orientée agents en géographie

Il s'agit d'exposer une démarche de modélisation conceptuelle des thématiques géographiques dans une perspective de simulation (figure 3). Elle est articulée en quatre phases principales :

- i)** analyse structurelle et dimensionnelle ;
- ii)** identification et spécification des agents ;
- iii)** conception architecturale ;
- iv)** implémentation. Seules les trois premières phases retiendront notre attention, la dernière étant plus technique et nécessitant des outils de génie logiciel et de programmation informatique.

La concrétisation de cette méthodologie se déroule selon un processus unifié et itératif³ [KRU 00 ; LAR 03]. En effet, ce processus fournit un cadre générique définissant un ensemble d'activités inhérentes à la modélisation du système. Cet ensemble d'activités s'organise en un certain nombre d'itérations dont l'objectif est de maîtriser la complexité.

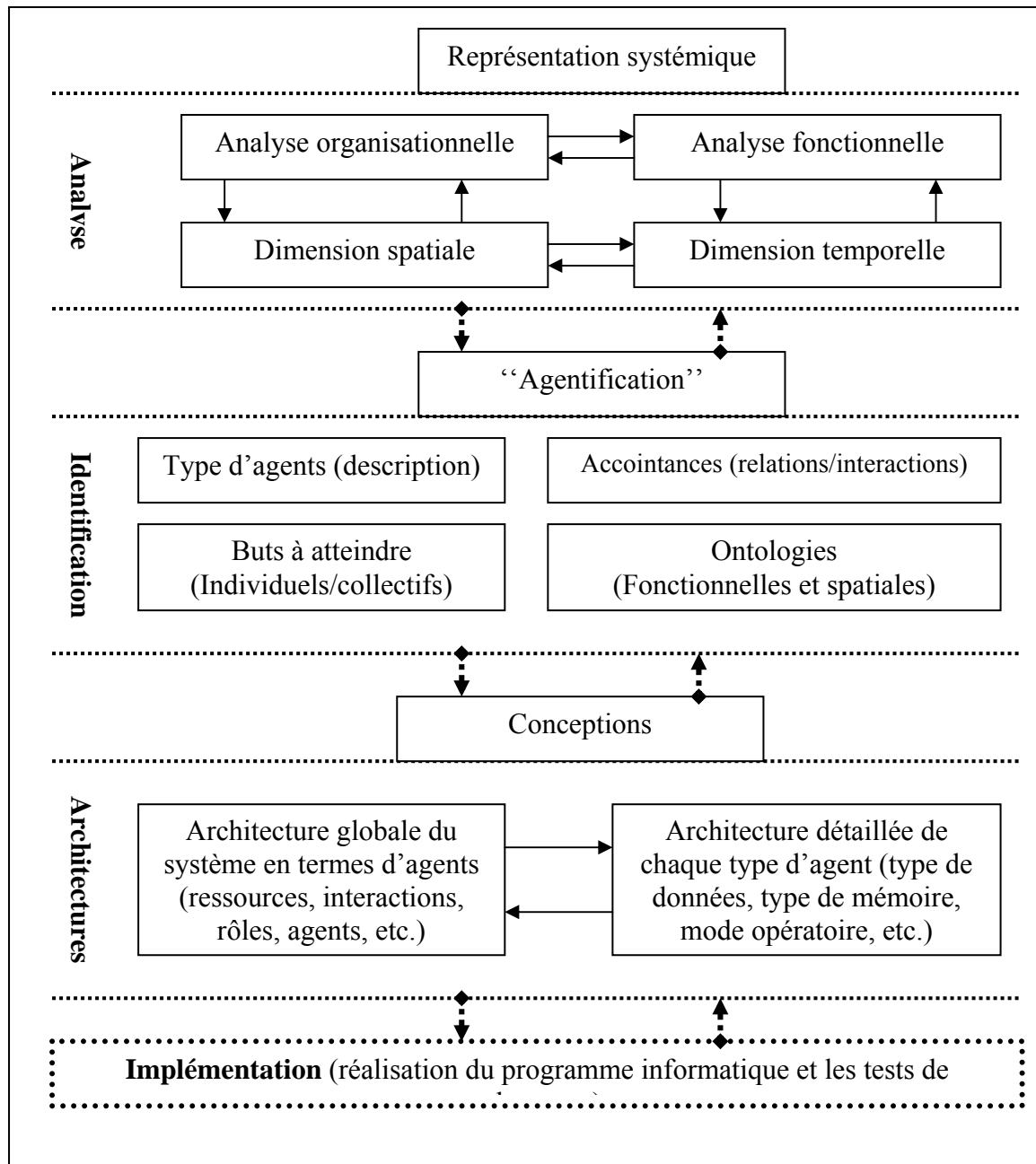


Figure 3 : Les différentes phases de modélisation multi agents d'un système géographique

La conception architecturale a un double objectif : fournir un aperçu global du système, puis présenter l'architecture détaillée de chaque type d'agent. En l'occurrence il s'agit d'une architecture de type BDI (Believe, Desire, Intention) et d'une architecture de type réactif.

³ Contrairement à la méthode en cascade, le processus unifié et itératif prône l'agilité lors de la modélisation des systèmes complexes c'est-à-dire qu'il est possible de remettre en cause ce qui est considéré comme acquis dans une phase antérieure pour une raison quelconque, et de se donner les moyens d'y revenir. En l'occurrence, alors qu'on est en train de concevoir l'architecture détaillée des agents, on peut se rendre compte d'une erreur d'interprétation au niveau de la représentation systémique et donc d'y revenir sans affecter gravement les autres phases de la modélisation.

4. Architectures d'agents applicables à la mobilité résidentielle.

L'architecture globale du système est obtenue à partir d'un ensemble de spécifications. Le diagramme réalisé à la section précédente est l'un des artefacts les plus importants pour la compréhension du fonctionnement du système multi agents [PAD 02]. Ce diagramme met en évidence les différents types d'agents, leur perception et actions, les messages qu'ils sont susceptibles de s'envoyer ainsi que les types de données requises. C'est en réalité, une collection d'informations diverses et variées sur le système multi agents et, présentée sous une forme visuelle et facilement compréhensible. Quant à la conception de l'architecture détaillée, elle consiste à :

- préciser la structure interne de chaque agent en termes de buts, actions (ou plans), d'évènements, et de données en se fondant sur la description de la phase d'identification ; cette structure est représentée par un diagramme d'agent. ;
- décrire et concevoir le modèle d'interaction entre agents. Ce modèle est obtenu à partir des liens de dépendance et des relations intra et inter échelles (spatiale et fonctionnelle) entre agents tout en respectant les contraintes temporelles.

Nous présentons successivement dans cette section, ces deux architectures et leur application à la modélisation de la mobilité résidentielle. Cette application permettra de mettre en évidence les niveaux d'articulations et les interactions urbaines à partir d'un formalisme qui s'appuie sur l'utilisation des types de données spatio-temporelles inhérentes à la mobilité résidentielle.

4.1. Architecture d'agent BDI

L'architecture BDI est un modèle abstrait qui considère qu'un agent cognitif, c'est-à-dire doté de facultés mentales, prend ses décisions en fonction de son état de connaissances sur le monde réel, ses désirs et ses intentions. Ces connaissances peuvent être incomplètes ou erronées. Les désirs d'un agent ne pouvant pas tous être satisfaits, les intentions constituent les désirs potentiellement satisfaisables. Les intentions constituent donc un sous-ensemble dynamique des désirs. Conceptuellement, ces trois structures de données forment l'ossature d'un agent cognitif. Mais ce dernier ne "vit" pas en autarcie. Il évolue dans un environnement peuplé par ses pairs au sein du système. L'agent cognitif peut se trouver en situation de dépendance sociale vis-à-vis d'un ou d'autres agents du système. A ce titre, il répond à des événements en provenance du système ou du monde extérieur ; ce qui lui permet d'enrichir ou de mettre à jour son état de connaissances et par la même occasion, ajuste ses désirs et filtre ses intentions en fonction de ses objectifs. L'ensemble de ce processus est schématisé à la figure 4.

4.2. Architecture d'agent réactif

Lorsqu'un agent est dépourvu de toute faculté mentale, il est représenté conceptuellement par un modèle abstrait de stimulus-réponse. C'est-à-dire que le comportement de l'agent est régi par un ensemble de règles prédéfinies. Ces règles peuvent s'exécuter en parallèle ou séquentiellement. Ce type d'agent possède donc des capteurs lui permettant de raisonner sur son environnement immédiat ou lointain selon le cas. Le comportement d'un tel agent est résumé à la figure 5.

4.3. Application à la mobilité résidentielle.

La modélisation du système résidentiel fait appel à trois grandes entités, l'espace, le temps et les hommes [AGB 05a]. Le temps permet de prendre en compte les différentes interactions afin de maintenir la dynamique du système. L'espace est appréhendé au travers d'agents réactifs du type automate cellulaire. Les hommes (en l'occurrence les ménages) sont modélisés par les

agents cognitifs de type BDI. En nous appuyant sur les spécifications du système résidentiel (figure 6), nous proposons les modèles agent BDI (représentant le ménages) et agent réactif (représentant les cellules spatiales) en prenant soin d'indiquer les données à utiliser.

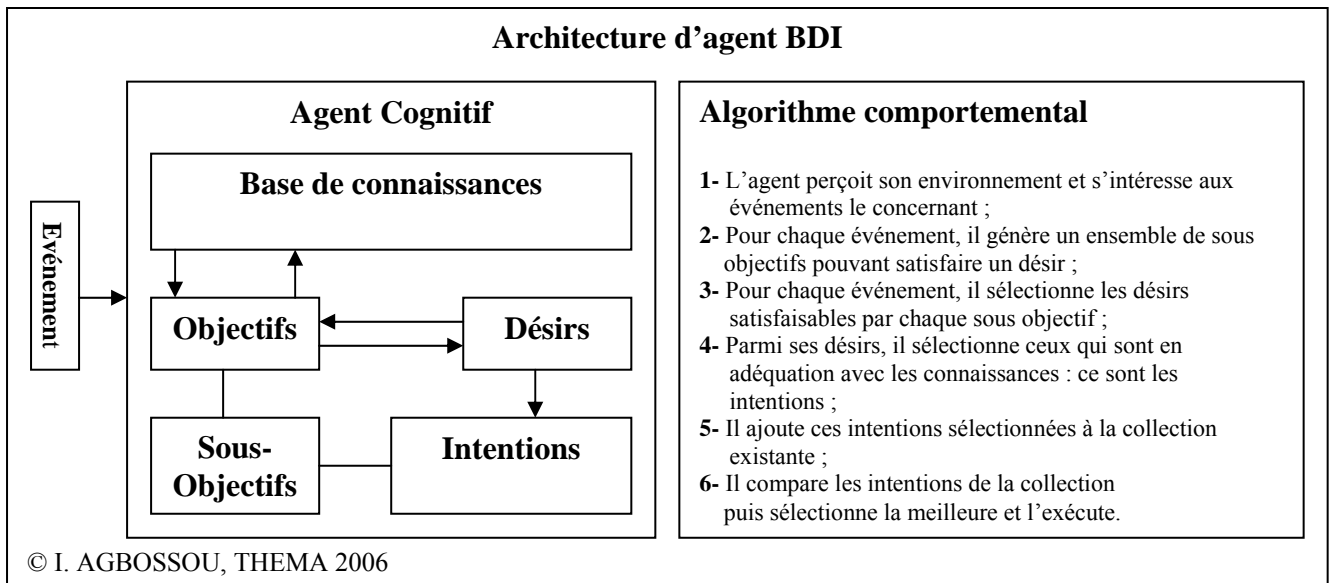


Figure 4 : Architecture d'agent BDI

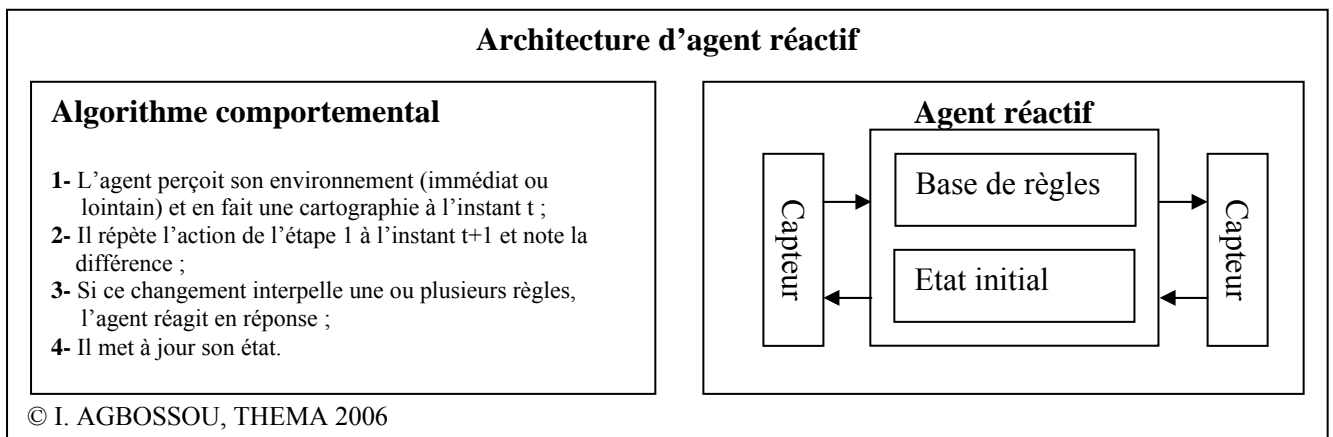


Figure 5 : Architecture d'agent réactif

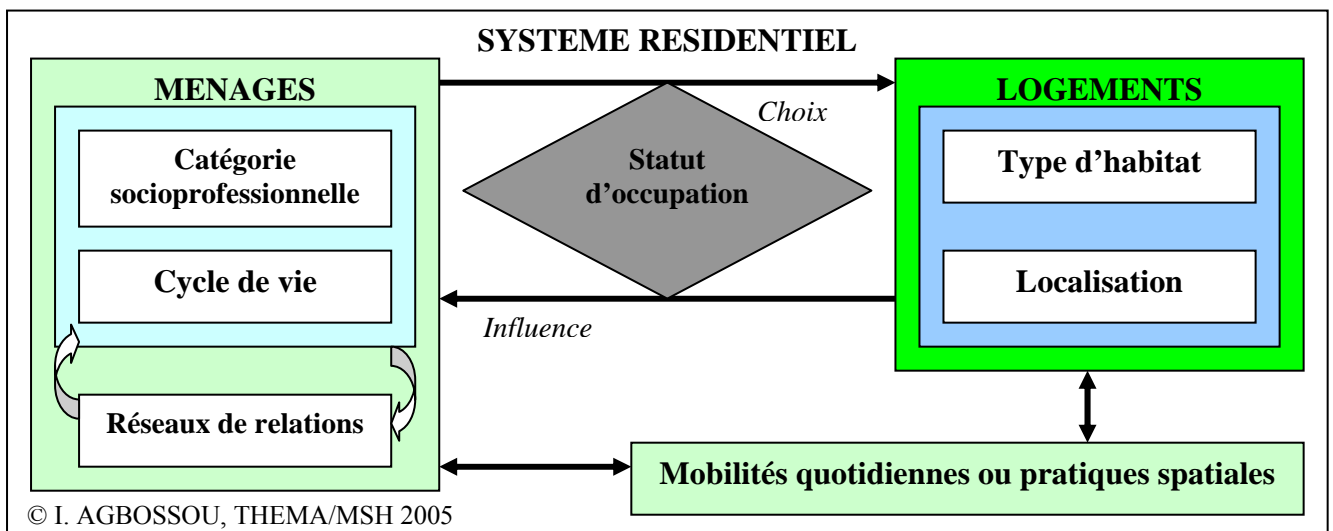


Figure 6 : Système résidentiel, interaction ménages-logements

a) Types de données et variables descriptives de l'agent ménage

❖ Base de connaissances du ménage

- Le revenu
- Niveau d'étude
- Age
- Composition du ménage
- Conditions d'accessibilité aux services
- Prix du loyer ou prix foncier
- Taux d'équipement de la zone de migration

❖ Objectif du ménage : se loger ou se reloger

❖ Sous objectifs du ménage

- Trouver un appartement ou une maison
- Faire des choix d'appartements ou de maisons

❖ Désirs du ménage

- Acheter un appartement
- Acheter une maison
- Louer un appartement
- Louer une maison

❖ Intentions du ménage

Les intentions sont le résultat de l'évaluation des différents choix de localisation effectués par le ménage.

b) Types de données et variables descriptives de l'agent spatial

❖ Etats de transition

- Appartement loué
- Appartement acheté
- Maison louée
- Maison achetée

❖ Etats statiques

- Eau
- Commerces
- Equipements
- Réseaux de transport
- Espaces verts

❖ Résolution spatiale : maillage fin

❖ Type de voisinage : Voisinage de Moore

❖ Potentiel d'attraction d'un agent spatial : le principe d'interaction spatiale

$$P_{C_{ij}} = \left(\sum_{v=1}^{n=8} \frac{m_v}{d_{ij}} \right) * \alpha_{ij} \quad (1)$$

$P_{C_{ij}}$ = potentiel d'attraction d'une cellule C_{ij} ;

n = nombre de cellules, ayant le même état que C_{ij} , présentes dans le voisinage considéré ;

m_v = masse de chaque cellule du voisinage v ;
 d_{ij} = distance entre les cellules C_{ij} et le service ou l'équipement le plus proche du voisinage ;
 α_{ij} = facteur d'accélération ou de freinage en fonction de la localisation (environnement résidentiel) de la cellule C_{ij} .

4.4. Equation maîtresse du système : formalisme de l'interaction ménages-logements

En notant M_k un type de ménage donné et $C_{ij}(e)$ une cellule donnée dans un état e (on prend un double indice ij car il s'agit d'un maillage planaire), on peut représenter l'état du système résidentiel à un instant t de la façon suivante :

$$\begin{cases} M_k^{t+1}(l) = f\left(M_k^t(l), P_{M_k}(l), \bigcup_{i=1; j=1}^{n;m} C_{ij}^t(e)\right) \\ C_{ij}^{t+1}(e) = g\left(C_{ij}^t(e), C_v^t(e), P_{C_{ij}}, M_k^{t+1}(l)\right) \end{cases} \quad (2)$$

k = une catégorie de ménage. ;

t = temps précédent ;

$t+1$ = temps actuel ;

f = une fonction de décision de migrer d'un type de ménage ;

g = fonction de transition d'une cellule d'un état à un autre ;

$M_k^{t+1}(l)$ = changement effectif de logement par un type de ménage à la date $t+1$;

$P_{M_k}(l)$ = potentiel ou propension (conditionnelle) d'un ménage k à migrer ou à rester dans un logement l ;

$\bigcup_{i=1; j=1}^{n;m} C_{ij}^t(e)$ = offre de logement disponible ou disponibilité spatiale pour ce type de logement ;

$C_{ij}^{t+1}(e)$ = changement d'état d'une cellule à la date $t+1$;

$C_v^t(e)$ = l'état des cellules du voisinage au temps t ;

$P_{C_{ij}}$ = potentiel de la cellule C_{ij} .

Dans l'équation (2), M_k reproduit en réalité le comportement moyen de l'ensemble des ménages du système appartenant au groupe k . Dès lors, il aurait fallu préciser la fonction qui permet de passer de l'individu au groupe c'est-à-dire articulation entre échelles (micro-macro).

Conclusion

Dans ce papier, nous avons décrit une méthodologie de modélisation systémique des systèmes géographiques, en l'occurrence les systèmes urbains, selon une approche multi agents. Une application à la mobilité résidentielle nous a permis de concrétiser cette démarche en utilisant l'architecture BDI et les automates cellulaires. Mais le formalisme utilisé pour modéliser l'interaction ménages-logements c'est-à-dire l'équation (2), suppose l'existence de modèles de fonctions annexes qui ne font pas l'objet de cet article. Il s'agit notamment du potentiel de migration d'un agent donné. Dans le cadre de nos travaux, ce potentiel est modélisé par les chaînes markoviennes. L'offre foncière quant à elle, est modélisée selon une approche hédoniste.

Références bibliographiques

- [AGB 05a] AGBOSSOU I., “Eléments de réflexion en vue de mieux comprendre l’agir urbain” ; Rapport de travail ; Observatoire de l’agir urbain, mai 2005
- [AGB 05b] AGBOSSOU I., GRANDJEAN S., FRANKHAUSER P., “Méthodologie orientée agents pour la modélisation des systèmes géographiques : concepts et formalisme”, Laboratoire ThéMA, 2005 (à paraître).
- [ANT 03] ANTONI JP., “Modélisation de la dynamique de l’étalement urbain” ; Thèse de doctorat de l’Université Louis Pasteur de Strabourg, 2003.
- [ARI 98] ARIDOR Y., LANGE D., “Agent design patterns : Elements of agent application design”. *In Proceeding of the 2nd International Conference on Autonomous Agents*, p.108-115, ASM Press, New York, 1998.
- [BEN 98] BENENSON I., “Multi-Agents Simulations of residential dynamics in the City”, *Compt., Environ. And Urban Systems*, Vol. 22, N°1, 1998.
- [DRO 04] DROGOUL A., FERRAND N., MULLER J., “Emergence : l’articulation du local au global”, in *Systèmes Multi-Agents, Edition TEC&DOC 2004*.
- [DUP 92] DUPUY J.P., “Introduction aux sciences sociales : logiques des phénomènes collectifs”, Ellipses, Paris, 1992.
- [FER 95] FERBER J., “Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective” ; Inter-édition 1995.
- [FER 97] FERBER J., “La moélisation multi-agents : un outil d’aide à l’analyse de phénomènes complexes.” *In Tendances nouvelles en modélisation pour l’environnement ; 1997*.
- [FER 99] FERBER J., “Multi-agent Systems : An introduction to distributed artificial intelligence. Edition Addison-Wesley, 1999.
- [FER 00] FERBER J., GUTKNECHT O., “Pour une sémantique opérationnelle des systèmes multi-agents”, dans *Systèmes multi-agents. Méthodologie, technologie et expériences, Hermès, Paris 2000*.
- [GIL 05] GILBERT N., TROITZSCH K., “Simulation for the Social Scientist”, 2nd edition, Open University Press, 2005.
- [GUE 05] GUERMOND Y., “Où en est l’analyse des systèmes en géographie ?” dans *Approches systémiques du territoire : démarches et outils. Actes des rencontres en didactique de la géographie, 28 et 29 janvier 2005. Bulletin de la société géographique de Liège, Vol 45. 2005*.
- [LAN 94] LANGTON C., “Artificial Life”, Editions Addison-Wesley, 1988, 1990, 1994.
- [LAN 97] LANGLOIS A., PHIPPS M., “Automates cellulaires, application à la simulation urbaine”, Editions Hermès 1997, 197 p
- [LAR 98] LARDON S., BARON C., BOMMEL P., BOUSQUET F., LE PAGE C., LIFRAN R., MONESTIEZ P., “Modéliser les configurations et les stratégies spatiales dans un système multi-agents pour la maîtrise de dynamiques d’embroussaillement” dans *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l’environnement et des territoires, actes du colloque Smaget, éditions Cemagref, 1998*.
- [LAR 03] LARMAN C., “Agile and Iterative development: A Managers Guide”, Editions Addison-Wesley, 2003.
- [LON 02] LONGLEY A., et al “Geographic Information Systems and Science”, Edition John Wiley & Sons, Ltd, October 2002.
- [MAT 02] MATHIEU P., MÜLLER J-P., “Systèmes multi-agents et systèmes complexes” dans ingénierie, résolution de problèmes et simulation, Hermès, Lavoisier 2002, 264 p.
- [PAD 02] PADGHAM L., WINIKOFF M., “Prometheus: Amethodology for developing intelligent agents”, in *Proceedings of the third International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering (AAMAS’02)*.
- [PAV 05] PAVON J., GOMEZ-SANZ J., FUENTES R., “The INGENIAS methodology and tools”, in *Agent-oriented methodologies, Edition Idea Group Publishing, 2005*.
- [PUM 01] PUMAIN D., SAINT-JULIEN T., “Les interactions spatiales”, Vol. 2 : Interactions, A. Colin, Collection Cursus, Paris, 2001.
- [SAN 99] SANDERS L., “Modelling within a self-organizing or a microsimulation framework: opposite or complementary approach?” *Cybergeo 90*; 1999.
- [SCH 97] SCHWEITZER F., “Active Brownian Particles : artificial agents in physics. Stochastics dynamics”, LNPI 484, 1997.
- [SHO 93] SHOAM Y., “Agents-Oriented programming. Artificial Intelligence”, Elsevier Science Publishers, 1993.
- [WEB 99] WEBER C., “Modélisation dynamique des interactions entre Forme de mobilité et recomposition territoriale”, Rapport du PSIG ; 1999.
- [ZAM 05] ZAMBONELLI F., JENNING N., WOOLDRIDGE M., “Multi-Agents Systems as Computational Organizations: The Gaia Methodology”, in *Agent-oriented methodologies, Edition Idea Group Publishing, 2005*.