



HAL
open science

Interaction Forte et Interaction Faible dans les Simulations Multi-Agents

Fabien Michel, Abdelkader Gouaich, Jacques Ferber

► **To cite this version:**

Fabien Michel, Abdelkader Gouaich, Jacques Ferber. Interaction Forte et Interaction Faible dans les Simulations Multi-Agents. 10èmes journées de Rochebrune : Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, Jan 2003, Megève, France. pp.163-176. lirmm-00269680

HAL Id: lirmm-00269680

<https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00269680>

Submitted on 11 Dec 2019

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.

Interaction Forte et Interaction Faible dans les Simulations Multi-Agents

Fabien Michel — Abdelkader Gouaïch — Jacques Ferber

*LIRMM Université Montpellier II - CNRS
161, rue Ada - 34392 Montpellier Cedex 5 - France
{fmichel,gouaich,ferber}@lirmm.fr*

RÉSUMÉ. Un des problèmes soulevés par la simulation de systèmes multi-agents (SMA) est celui de leur implémentation sur machine. Il n'existe à l'heure actuelle pas de correspondance entre les modèles que nous décrivons et la manière dont ils doivent être programmés. Notamment, nous décrivons souvent les « interactions entre les agents » sans faire référence à leurs implémentations. Dans cet article nous proposons des éléments d'analyse qui permettent de classer les interactions selon deux catégories : les interactions faibles et les interactions fortes. Nous utilisons ici cette distinction dans le but de mieux cerner les besoins techniques nécessaires à une implémentation satisfaisante.

ABSTRACT.

MOTS-CLÉS : SMA, simulation, interaction

KEYWORDS: MAS, simulation, interaction

1. Introduction

Un des problèmes soulevés par la simulation de systèmes multi-agents (SMA) est celui de l'implémentation des interactions entre les entités. En effet, il n'existe à l'heure actuelle pas de correspondance claire entre les interactions du modèle que nous décrivons et la manière dont elles doivent être programmées.

Par ailleurs, il est clair que les résultats d'une simulation sont directement affectés par la technique utilisée pour gérer les interactions [AXT 00, MIC 01b]. Il est donc important de nous donner les moyens pratiques et méthodologiques de préciser la nature de nos modèles théoriques et ainsi mieux appréhender leurs implémentations.

Nous proposons dans cet article des éléments d'analyse qui permettent de classer les interactions en deux catégories : les *interactions faibles* et les *interactions fortes*. Comme nous le verrons, ces catégories font référence à des interactions de nature très différentes qui ne nécessitent pas les mêmes besoins technologiques pour être implémentées de façon *satisfaisante*. Nous défendons ainsi l'idée que cette distinction permet de mieux comprendre la nature de nos modèles et donc de cerner plus précisément leurs implémentations.

Nous rappelons dans un premier temps le principe d'une simulation multi-agents. Nous posons ensuite la problématique de la gestion des interactions. Nous définissons dans les sections suivantes les notions d'*interaction forte* et d'*interaction faible*. Nous montrons ensuite des exemples d'implémentation. Puis avant de conclure nous discutons de l'utilité de notre démarche.

2. Principe de la Simulation Multi-Agents

Dans le cadre de la simulation par ordinateur, l'utilisation du paradigme multi-agents est aujourd'hui une séduisante alternative aux modèles basés sur des équations mathématiques [PAR 98]. Fondée sur l'idée qu'il est possible de représenter de manière informatique les individus, leurs comportements et leurs interactions, la simulation multi-agents a pour objet l'étude, au niveau macroscopique, de systèmes complexes dont la dynamique est définie, au niveau microscopique, par l'action d'entités autonomes évoluant simultanément dans un environnement commun [RES 95].

Plus concrètement, Σ définissant l'ensemble des états possibles d'un système, toute simulation multi-agents est basée sur l'hypothèse que l'évolution du monde de l'instant t à $t+dt$ résulte de la composition des actions $A_1(t), A_2(t) \dots A_n(t)$ produites par les agents à l'instant t . Autrement dit, il s'agit de construire une fonction du temps, *Dynamique* $D : \Sigma \mapsto \Sigma$, telle que :

$$\sigma(t + dt) = D(\uplus A_i(t), \sigma(t)) \quad [1]$$

Le symbole \uplus désigne ici l'opérateur de composition des actions. Il définit de quelle manière les actions produites à un instant t doivent être composées afin de calculer leurs conséquences sur l'état du monde. Sans entrer dans le détail, il est facile de voir

que le calcul correspondant à une telle opération peut s'avérer excessivement complexe étant donné la multitude et la nature des concepts qui peuvent se cacher derrière le mot action (mouvement, prise de décision, consommation d'une ressource).

3. Le Problème de la Dynamique des Interactions

Au contraire des simulations numériques où il existe une correspondance directe entre le modèle théorique et son implémentation¹, un même modèle multi-agents peut être programmé de multiples façons.

La conséquence directe est qu'un seul modèle théorique peut donner des résultats très éloignés suivant la technologie utilisée pour l'implémenter [AXT 00, LAW 00]. C'est pourquoi tous les concepteurs de simulation multi-agents sont amenés à faire un choix personnel en la matière [MIC 01b].

Imputable en partie à l'hétérogénéité des domaines abordés, cet embarras que nous avons à implémenter ces systèmes complexes trouve aussi sa source dans le manque de formalisme permettant de décrire de façon satisfaisante des actions collectives. Plus particulièrement, nous éprouvons une difficulté à modéliser la simultanéité des actions [FER 95]. Alors que, paradoxalement, l'hypothèse selon laquelle les actions des agents sont effectuées de façon concurrente est à la base de l'approche [RES 95].

Par ailleurs, les architectures parallèles (un agent par processeur par exemple) n'apportent pas de solution évidente à ce problème. En effet, une action est généralement modélisée par la modification de variables environnementales. Ainsi, même si les agents se trouvent sur des processeurs différents, les variables environnementales ne peuvent être accédées que de manière séquentielle et les actions des agents ne sont finalement pas véritablement simultanées.

Ainsi, le problème de l'implémentation est principalement lié à l'élaboration d'un mécanisme permettant d'implémenter de façon satisfaisante les interactions. Il ne s'agit pas ici de vérifier si la simulation est représentative de la réalité mais de faire en sorte qu'elle corresponde à la réalité du modèle.

Dans les deux sections suivantes, nous présentons, à partir d'exemples de simulation, les deux types d'interaction que nous avons identifiés.

4. Interaction Forte

4.1. *La Reproduction chez les Agents*

Dans cette section nous allons étudier différentes techniques de simulation utilisées pour modéliser le comportement de reproduction chez les êtres vivants.

1. L'ordinateur est dans ce cas uniquement un outil de calcul puissant utilisé pour résoudre des équations numériques clairement définies.

Dans [EPS 96] la reproduction est modélisée par une règle comportementale qui peut être résumée ainsi : *Pour chaque voisin, si celui-ci est compatible (fertile et de sexe opposé) un nouvel agent est créé.* La simulation utilise par ailleurs un principe de simulation à *pas de temps constant* qui correspond à l'activation séquentielle de tous les agents comme le montre la figure 1. Cette technique d'implémentation pose cependant un problème. Comme le remarque d'ailleurs eux-mêmes Epstein et Axtell, les agents ainsi simulés peuvent se reproduire plusieurs fois par tour. Si trois agents se trouvent à proximité, il est possible que le premier agent produise une nouvelle entité, puis que le deuxième et le troisième en fassent autant.

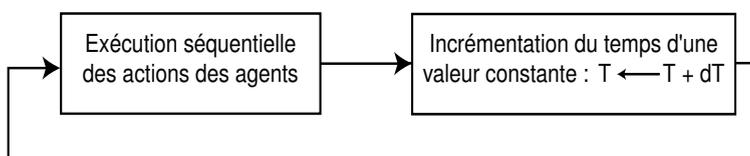


Figure 1. Principe d'une simulation à pas de temps constants.

C'est sans doute pour cette raison que dans [LAW 00], une période de gestation a été rajoutée. « *We have modified the agent reproduction rule to be more realistic, incorporating a gestation period... If a mate is found (i.e., there is at least one candidate agent), the female agent of the pair becomes pregnant. Throughout the gestation period, neither the male nor the female agent can move or attempt to reproduce* ». De plus les auteurs utilisent une simulation basée sur un principe événementiel (figure 2).

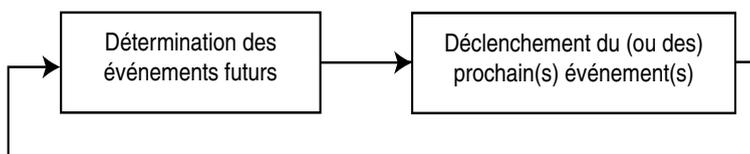


Figure 2. Principe d'une simulation par événements.

Par là, il s'agit de rendre le processus de reproduction plus **réaliste**, pour reprendre le terme de l'article. De plus, il est très intéressant de noter que les auteurs, sur la base d'une implémentation différente considèrent étudier le même modèle théorique et comparent les résultats obtenus. Leur propos est de montrer que, pour la simulation de systèmes sociaux complexes, leur technique d'implémentation est mieux adaptée.

Cependant la méthode employée reste critiquable. En effet, le partenaire choisi n'a pas le choix : le premier ayant décidé pour lui, son comportement, **ses propres buts**

ne sont pas pris en compte. Que dire d'un agent qui se déplace pour une raison vitale et qui se retrouve impliqué dans un processus de reproduction qui l'en empêchera.

Ceci est en contradiction avec le principe d'autonomie qui veut qu'un agent ne soit pas sous le contrôle d'un autre [JEN 95]. En effet lorsqu'un agent modifie, directement, en changeant l'état interne d'un autre agent (la variable *pregnant* est mise à vraie) ou, indirectement, en ordonnant à l'autre de le faire, le caractère autonome de l'agent est perdu. L'approche multi-agents voudrait que l'interaction de reproduction soit le fruit de deux comportements distincts et non le fait d'une seule entité. Sans quoi, le résultat obtenu n'est pas la composition de comportements individuels autonomes et concurrents.

On sent bien ici que l'interaction de reproduction nécessite un modèle de l'action plus évolué. Le modèle *influence/réaction* apporte une réponse en proposant de prendre en compte la simultanéité des comportements [FER 96]. Dans ce modèle un agent produit des influences sur son environnement et non des actions au sens d'une modification directe de l'état du monde. La différence est fondamentale. Une *influence* est une tentative de modifier son environnement (« *je tente de me reproduire* »). L'influence n'est pas directement validée. On prend d'abord en compte les autres influences produites au même instant pour décider, dans un deuxième temps, le résultat de leur composition, ce qui constitue la *réaction* de l'environnement à l'ensemble de ces influences².

Par exemple, si de deux agents, le premier souhaite bouger, on peut poser qu'un comportement de reproduction de la part du deuxième n'entraînera pas de naissance. On ne décide pas à la place des agents mais on décide de la dynamique du système³ [MIC 01a].

4.2. Définition de l'Interaction Forte

Une tentative de reproduction n'a de sens que lorsqu'un autre agent compatible est présent à proximité. Le résultat de cette interaction, une naissance, requière la présence d'au moins deux agents dans le système. C'est un comportement dont le but ne peut-être réalisé qu'en conjonction avec un autre agent. Un agent ne se reproduira pas et ne tentera pas de le faire s'il est seul dans l'environnement. C'est ce que nous appelons une *interaction forte*.

2. Il nous faut ici préciser que ce modèle ne correspond pas à un principe de simulation en particulier mais que son objet est de proposer un modèle de l'action qui permet de représenter des actions simultanées, et le résultat de leur composition. Dans le cadre du traitement de la simultanéité, cette procédure se distingue fortement d'une résolution de conflit où toutes les actions sont d'abord validées et où on cherche ensuite à ne pas avoir d'incohérence sur l'état du monde.

3. Dans le modèle *influence / réaction*, les règles d'évolution de l'environnement sont appelées *lois de l'univers*.

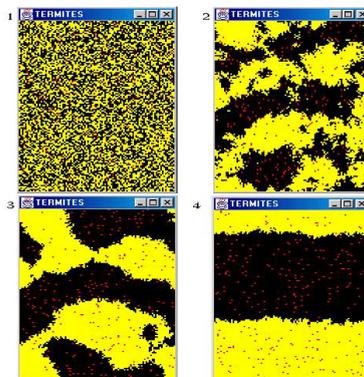


Figure 3. De l'« interaction » des termites émerge un seul tas de brindilles.

Interaction Forte : des actions agent constituent une *interaction forte* si elles ont pour but un résultat sur l'environnement dont la réalisation **nécessite** la synchronisation de plusieurs comportements.

Ainsi, une *interaction forte* est définie en fonction de la qualité du résultat obtenu sur l'environnement plutôt qu'en définissant la nature des actions qui peuvent l'engendrer⁴.

5. Interaction Faible

5.1. Le modèle Termites

Cet exemple de simulation modélise un monde composé de termites (les agents) et de brindilles réparties aléatoirement dans l'environnement. Dans ce modèle, l'ensemble des actions effectuées par les termites est réduit au mouvement et à la manipulation d'un objet. Chaque termite possède un comportement simple qui peut se résumer en deux règles comportementales :

- R1 : « Si je ne possède pas de brindille, j'en cherche une aléatoirement »
- R2 : « Si j'en porte une, je cherche une autre brindille pour la poser à côté ».

La figure 3 montre quatre étapes successives de l'exécution où l'on peut voir qu'il ne reste qu'un seul tas de brindilles après un certain nombre d'itérations. Même si les termites n'interagissent pas directement, elles interagissent à travers l'environnement en déplaçant les brindilles.

4. Comme nous l'avons dit dans la deuxième partie, beaucoup de concepts peuvent se cacher derrière le mot action et il nous semble difficile, voire impossible, de donner une définition qui englobe l'ensemble des actions que l'on peut trouver dans une simulation de SMA.

Pour tester ce modèle, nous l'avons implémenté selon les deux politiques d'exécution que nous avons présentées dans la section 4 (figure 1 et figure 2). Le résultat obtenu est toujours identique : un seul tas de brindilles est finalement constitué. De plus ce résultat est aussi observé lorsqu'une seule termite se trouve dans l'environnement. Il suffit d'attendre plus longtemps.

Par ailleurs il est intéressant de noter qu'une implémentation de ce modèle selon un principe *influence/réaction* semble difficile à réaliser. En effet, elle consisterait à récupérer l'influence produite par tous les agents à un même instant, tentative de mouvement ou de prise d'un objet, pour ensuite établir le nouvel état du monde. Mais calculer la réaction de l'environnement à de telles influences n'est pas du tout intuitif. C'est une situation qui ne paraît pas *réaliste* et pour laquelle il n'existe pas de solution évidente. En effet, imaginons que ce modèle se retrouve dans la nature *tel quel*, verrait-t-on les termites bouger simultanément sous l'effet d'une horloge virtuelle ? Au contraire le caractère aléatoire des mouvements paraît ici bien plus naturel [HUB 93]. Dans la nature les entités agissent à des instants non corrélés.

Au contraire de l'exemple précédent, les agents n'ont ici pas besoin des autres pour faire aboutir les actions qui sont motivées par leurs buts. Par ailleurs la politique d'exécution choisie n'a pas d'influence sur le résultat final. C'est pourquoi nous identifions ce type d'interaction en tant qu'*interaction faible*.

5.2. Définition de l'Interaction Faible

Le comportement d'une termite n'intègre pas la présence des autres agents. En fait, une termite ne possède pas de telle représentation. Ainsi, les agents réalisent ici des actions individuelles et non de véritables interactions au sens premier d'*action réciproque*. Autrement dit, les agents ne tentent que des actions qui ne prennent pas en compte l'existence des autres en tant qu'entités capables de réaliser une action complémentaire. C'est pourquoi les agents n'ont pas besoin de synchroniser leurs comportements pour réaliser leurs buts. C'est ce que nous appelons une situation d'*interaction faible*.

Interaction Faible : des actions agent constituent une *interaction faible* si elles ont pour but un résultat sur l'environnement dont la réalisation **ne nécessite pas** la synchronisation de plusieurs comportements.

6. Expérimentations

6.1. Interaction Forte

Nous allons ici étudier le problème de la modélisation de la reproduction dans une version minimale. Considérons deux agents, A et B, compatibles, possédant un comportement simple qui consiste à se reproduire ou à ne rien faire de façon équiprobable.

$$Pr(\text{Agent}_{repro}) = Pr(\text{Agent}_{rien}) = 0.5$$

Nous allons maintenant étudier les résultats obtenus sur un pas de temps de simulation selon trois politiques d'exécution. La première politique est celle utilisée par Epstein et Axtell [EPS 96]. La deuxième correspond à l'implémentation faite par Lawson et Park [LAW 00]. La troisième correspond à l'application du modèle *influence/réaction* telle que nous l'avons implémentée dans [MIC 01a].

comportements	A_{repro}, B_{repro}	A_{repro}, B_{rien}	A_{rien}, B_{repro}	A_{rien}, B_{rien}
naissance(s)	2	1	1	0

Tableau 1. Résultat d'une implémentation inspirée d'Epstein et Axtell

Pour ce premier cas, on obtient une probabilité de 25% d'avoir deux agents, 50% un seul et 25% qu'il n'y en est pas.

comportements	A_{repro}, B_{repro}	A_{repro}, B_{rien}	A_{rien}, B_{repro}	A_{rien}, B_{rien}
naissance(s)	1	1	1	0

Tableau 2. Résultat d'une implémentation inspirée de Lawson et Park

Dans le deuxième cas la probabilité d'une naissance est de 75%⁵.

comportements	A_{repro}, B_{repro}	A_{repro}, B_{rien}	A_{rien}, B_{repro}	A_{rien}, B_{rien}
naissance(s)	1	0	0	0

Tableau 3. Résultat d'une implémentation utilisant un mécanisme influence/réaction

Dans le dernier cas, il est nécessaire que les deux agents désirent se reproduire pour créer un nouvel agent. La probabilité d'une naissance est donc de 25%.

On voit ici à quel point la gestion des interactions peut faire diverger les résultats. Toutes ces implémentations correspondent pourtant à l'application d'un seul modèle comportemental. Par ailleurs, un calcul de probabilité simple montre que seul le dernier résultat correspond à l'implémentation correcte de cette interaction. En effet, si

5. Lorsqu'un agent est sélectionné son comportement n'est plus pris en compte. C'est pourquoi on ne retrouve pas la situation où l'on peut obtenir deux naissances pour un seul pas de temps.

on considère des agents **autonomes**, le comportement de A est indépendant de celui de B. Ainsi la probabilité de l'événement *naissance* correspond à une probabilité composée où les événements A_{repro} et B_{repro} sont indépendants :

$$\begin{aligned} Pr(naissance) &= Pr(A_{repro}) \text{ et } Pr(B_{repro}) \\ &= Pr(A_{repro}) \times Pr(B_{repro}) \\ &= 0.25 \end{aligned}$$

6.2. Interaction Faible

L'exemple choisi ici, lui aussi minimal, est celui de la consommation d'une unique ressource par deux agents. Chaque agent possède un niveau de vie qu'il lui faut maintenir au dessus d'un seuil en consommant cette ressource. Par ailleurs la ressource se régénère suivant un certain paramètre. Les résultats d'une telle simulation tiennent dans la moyenne du niveau de vie des agents et dans leur espérance de vie.

Encore une fois, nous avons implémenté ce modèle suivant les trois politiques d'exécution précédemment citées. Pour l'application du modèle *influence/réaction* nous avons considéré que si les deux agents accèdent la ressource en même temps, celle-ci est partagée de manière équitable.

Sur un grand nombre de simulations, nous avons fait varier les différents paramètres (épuiement des agents et régénération de la ressource) pour obtenir plusieurs variantes du modèle : compétition pour l'accès à la ressource ou abondance.

Pour chaque situation, nous avons constaté que les résultats obtenus sont identiques quelque soit la politique d'exécution. Il s'agit ici en effet d'une *interaction faible*. Consommer une ressource ne suppose pas de synchronisation des comportements. Cette consommation peut intervenir simultanément mais traiter ou non cette simultanéité ne modifie pas l'essence du modèle. Au contraire, une interaction forte n'a de sens que dans la simultanéité de deux comportements.

De la même manière une collision entre deux robots est une interaction faible. Pour s'en convaincre il suffit de remarquer que l'espace peut être vu comme une ressource que les agents consomment. Ainsi, que l'on gère les mouvements des deux agents de manière séquentielle ou simultanée, le problème du *réalisme* de l'exécution tient ici dans la granularité des actions considérées⁶ et pas dans la gestion de la simultanéité.

7. Discussion

En soulevant la question d'une différence forte entre deux types d'interaction, notre but est de montrer la nécessité de mieux spécifier nos modèles théoriques et leurs implémentations. La distinction *interaction faible/interaction forte* est un pas

6. Il n'est pas très judicieux de se poser le problème de la simultanéité d'une collision entre deux mouvements si l'échelle spatiale choisie est grossière.

dans cette direction. A partir des définitions que nous avons données de ces deux notions, nous proposons de les identifier dans nos modèles de la manière suivante. Pour chaque événement qui peut se produire sur le monde (mouvement, naissance, etc.), il convient de vérifier si celui-ci est engendré par l'une ou l'autre de ces deux formes d'interaction. L'implémentation des interactions correspondantes doit alors être considérée en fonction de ce résultat.

Dans un modèle contenant des interactions fortes, l'implémentation utilisée pour les programmer a une grande influence sur les résultats. De plus, elle peut être en contradiction avec le principe d'autonomie décisionnelle des agents et ainsi produire des biais dans le processus de simulation. Nous pensons qu'il s'agit d'un problème crucial qui doit être considéré par la communauté.

Certains travaux utilisent le principe *influence/réaction* pour prendre en compte la synchronisation des comportements et développer de nouveaux langages de simulation comme GLIDER[DAV 00]. D'autres tentent de donner une définition formelle de l'interaction en donnant un rôle plus central à l'environnement [GOU 02]. Cependant ces approches ne sont pas répandues et sont encore en phase de développement. C'est pourquoi il est important que les résultats d'une simulation contenant des *interactions fortes* fassent explicitement référence aux techniques utilisées pour les implémenter.

Au contraire, l'implémentation des *interactions faibles* est beaucoup plus souple dans le sens où l'implémentation *réaliste* des interactions ne repose pas sur des synchronisations de comportements. La gestion des interactions n'a alors que peu d'impact sur le *réalisme* de la simulation et elle ne modifie pas la qualité des résultats observés.

Il est aussi important de noter que ces deux catégories d'interaction ne sont pas incompatibles au sein d'une même simulation⁷. C'est d'ailleurs ce qui est fait dans [CHA 02] pour la simulation de robots autonomes. Dans ce modèle des agents sont chargés de récupérer des objets dont certains nécessitent la force de plusieurs agents. Les mouvements des agents, des *interactions faibles*, sont gérés séquentiellement tandis que le déplacement d'un objet trop lourd nécessite que deux agents poussent en même temps (*interaction forte*). C'est pourquoi cette interaction a été implémentée suivant un principe *influence/réaction* (on fait la somme des forces appliquées par les agents sur les objets pour ensuite décider s'ils se déplacent).

8. Conclusions

Dans cet article nous avons abordé le problème de la correspondance de nos modèles conceptuels avec leurs implémentations. Nous avons vu que l'implémentation est un paramètre important du processus de simulation et qu'il est fondamental de l'intégrer dans la phase d'analyse du modèle. Dans ce cadre, nous avons proposé de

7. Nous avons en général l'habitude de choisir un seul principe de gestion des interactions que nous appliquons à l'ensemble du processus de simulation.

faire une distinction explicite entre deux classes d'interaction : *interaction forte* et *interaction faible*. Nous pensons qu'une telle approche permet de mieux comprendre nos modèles et leurs implémentations.

Dans un deuxième temps, cette distinction met en évidence le fait que les interactions que nous avons appelées *interactions fortes* nécessitent l'utilisation d'un modèle de l'action qui modélise la synchronisation des comportements. Il s'agit de respecter le principe d'autonomie des agents tout en assurant que l'évolution du système résulte de l'ensemble des comportements individuels.

Même si ces notions peuvent paraître incomplètes ou insuffisantes, nous avons surtout voulu soulever la question de l'utilité d'une telle démarche. Il est en effet essentiel pour la communauté multi-agents de mieux spécifier le processus de simulation. Et ce, d'une part sur un plan conceptuel : quelle est la nature profonde du modèle ; et d'autre part d'un point de vue technique : comment implémenter le processus de simulation correspondant de manière satisfaisante.

9. Bibliographie

- [AXT 00] AXTELL R. L., « Effects of Interaction Topology and Activation Regime in Several Multi-Agent Systems », *Proceedings of the 2nd Workshop on Modelling Agent Based Systems, MABS'00*, LNAI 1979, July 2000.
- [CHA 02] CHAPPELLE J., SIMONIN O., FERBER J., « How Situated Agents can Learn to Cooperate by Monitoring their Neighbors' Satisfaction », *Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence ECAI'2002*, Lyon France, July 21-26 2002.
- [DAV 00] DAVILA J., TUCCI K., « Towards a Logic-Based, Multi-Agent Simulation Theory », 2000.
- [EPS 96] EPSTEIN J. M., AXTELL R. L., *Growing Artificial Societies*, Brookings Institution Press, Washington D.C., 1996.
- [FER 95] FERBER J., « *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective* », chapitre 2, p. 399-411, Interéditions, 1995.
- [FER 96] FERBER J., MÜLLER J.-P., « Influences and Reactions : A Model of Situated Multi-agent Systems », *Proceedings of the 2nd International Conference on Multi-Agent Systems, ICMAS' 96*, 1996, p. 72-79.
- [GOU 02] GOUAÏCH A., GUIRAUD Y., « {Movement, Interaction, Calculus}* : an algebraic environment for distributed and mobile calculus », *first international NAISO congress on autonomous intelligent systems*, Waterfront Campus, Geelong, Australia, February 2002, Deakin University.
- [HUB 93] HUBERMAN B., GLANCE N. S., « Evolutionary Games and Computer Simulations », *Proceedings of the National Academy of Science USA*, p. 7716-7718, August 1993.
- [JEN 95] JENNINGS N. R., WOOLDRIDGE M., « Intelligent agents : theory and practice », *The Knowledge Engineering Review*, vol. 10, n° 2, 1995, p. 115-152.
- [LAW 00] LAWSON B. G., PARK S., « Asynchronous Time Evolution in an Artificial Society Mode », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation, JASSS*, vol. 3, n° 1, 2000.

- [MIC 01a] MICHEL F., « Le modèle Influence / Réaction pour la Simulation Multi-Agents », CHAIB-DRAA B., ENJALBERT P., Eds., *Actes des 1^{res} Journées Francophones des Modèles Formels de l'Interaction, MFI' 01*, vol. 3, Toulouse, 21-23 Mai 2001, p. 391-406.
- [MIC 01b] MICHEL F., FERBER J., GUTKNECHT O., « Generic Simulation Tools Based on MAS Organization », *Proceedings of the 10th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi Agent World MAMA AW'2001*, Annecy, France, 2-4 May 2001.
- [PAR 98] PARUNAK H. V. D., SAVIT R., RIOLO R. L., « Agent-Based Modeling vs. Equation-Based Modeling : A Case Study and Users' Guide », *Proceedings of the 1st Workshop on Modelling Agent Based Systems, MABS'98*, Paris, France, 1998.
- [RES 95] RESNICK M., « New Paradigms for Computing, new Paradigms for Thinking », DISSA A., HOYLES C., NOSS R., Eds., *Computers and Exploratory Learning*, Springer-Verlag, 1995.