

collection science informatique et SHS dirigée par Catherine Garbay

La modélisation multi-agents permet de conceptualiser et de simuler un ensemble organisé d'agents en interaction entre eux et avec leur environnement. Dans les Sciences de l'Homme et de la Société (SHS), elle permet de formaliser des situations complexes comportant des échelles (spatiales, temporelles, organisationnelles) multiples et des agents hétérogènes engagés dans des activités sociales. Ces agents peuvent être dotés de capacités plus ou moins développées, allant des agents réactifs constitutifs de l'intelligence collective aux agents cognitifs dotés de formes de rationalité plus sophistiquées.

Modélisation et simulation multi-agents est illustré par des exemples d'utilisation et propose des ouvertures sur les développements récents dans ce domaine.

Les auteurs

Frédéric Amblard est maître de conférences en informatique à l'université de Toulouse 1 et chercheur à l'IRIT où il travaille sur l'utilisation de la simulation multi-agents en sciences sociales. Il est actuellement secrétaire de l'association européenne de simulation sociale (ESSA).

Denis Phan est administrateur des P&T et chercheur au CREM (CNRS et université de Rennes 1). Après avoir travaillé sur l'économie des télécommunications et de l'Internet, il se consacre désormais à la modélisation multi-agents des phénomènes sociaux complexes.

hermes
Science
—publications—

www.hermes-science.com

ISBN 2-7462-1310-9



9 782746 213104

Frédéric Amblard
Denis Phan

Modélisation et simulation multi-agents



collection science informatique et SHS dirigée par Catherine Garbay

Modélisation et simulation multi-agents

applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société

Frédéric Amblard
Denis Phan

hermes

Lavoisier

Table des matières

PREMIÈRE PARTIE. CONCEPTS ET OUTILS POUR LA MODÉLISATION ET LA SIMULATION MULTI-AGENTS	17
Introduction	19
Frédéric AMBLARD et Denis PHAN	
Chapitre 1. Concepts et méthodologies multi-agents	23
Jacques FERBER	
1.1. Des objets aux agents	23
1.1.1. L'agent	24
1.1.2. Les systèmes multi-agents comme microcosmes	27
1.2. La notation UML	28
1.2.1. UML	29
1.3. Les quatre aspects d'un système multi-agents	30
1.4. L'aspect individuel intérieur : les architectures d'agents	32
1.4.1. Architectures réactives	32
1.4.2. Architectures cognitives	33
1.4.3. Architectures hybrides	34
1.5. L'aspect collectif-intérieur : interactions	34
1.5.1. Communication par envois de messages	35
1.5.2. Interactions et AUML	35
1.5.3. Interactions par signaux	37
1.6. L'aspect collectif-extérieur : l'organisation	38
1.6.1. AGR	39
1.6.2. Le diagramme du « plateau à fromage »	40
1.6.3. Décrire des activités organisationnelles	41
1.7. Cassiopée	43
1.8. Gaïa	44
1.9. Les extensions d'AGR	45
1.10. Conclusion	47
1.11. Bibliographie	47

Chapitre 2. Introduction à la modélisation et à la simulation à événements discrets	49
Eric RAMAT	
2.1. Introduction	49
2.2. Définitions	52
2.2.1. Qu'est-ce qu'un système ?	52
2.2.2. Qu'est-ce qu'un système complexe ?	53
2.2.3. Qu'est-ce qu'un système dynamique et un système spatio-temporel ?	55
2.2.4. Qu'est-ce qu'un modèle ?	56
2.2.5. Qu'est-ce qu'un paradigme ?	57
2.2.6. Qu'est-ce qu'un formalisme ?	58
2.2.7. Qu'est-ce que le multiformalisme ?	58
2.3. Une classification des formalismes	59
2.4. DEVS : intégration de modèles	61
2.4.1. DEVS atomique	61
2.4.2. DEVS couplé	63
2.4.3. Des extensions de DEVS	65
2.5. Simulation à événements discrets	67
2.6. Conclusion	70
2.7. Bibliographie	71
Chapitre 3. Explorer les modèles par simulation : application aux analyses de sensibilité	75
Vincent GINOT et Hervé MONOD	
3.1. Explorer des modèles par simulation	75
3.2. Présentation des exemples	78
3.3. Sensibilité locale	80
3.3.1. Définition	80
3.3.2. Signatures individuelles	82
3.3.3. Grand nombre de paramètres, grand nombre de variables	84
3.3.4. Sensibilité locale : exploration dans le temps et notion d'identifiabilité	85
3.4. Sensibilité globale	87
3.4.1. Résumer les signatures individuelles	88
3.4.2. Explorer l'espace des paramètres – Notion de plans d'expérience	88
3.4.3. Hiérarchiser les sensibilités et estimer les interactions	90
3.5. Conclusion	98
3.6. Bibliographie	100

Chapitre 4. Evaluation et validation de modèles multi-agents	103
Frédéric AMBLARD, Juliette ROUCHIER et Pierre BOMMEL	
Annexe 4 .5 rédigée par Franck VARENNE et Denis PHAN	
4.1. Introduction	103
4.2. Qu'est-ce que modéliser, que sont les modèles ?	104
4.2.1. Le projet du modélisateur	104
4.2.2. Des modèles dans tous leurs états	106
4.2.3. Les différents usages de la modélisation agent	108
4.2.4. Les différentes pratiques de la modélisation	109
4.3. Validations interne et externe pour les simulations multi-agents	110
4.3.1. Prérequis à la validation	111
4.3.2. Validation interne	112
4.3.3. Validation externe	114
4.3.4. Comparaison de modèles	118
4.4. Conclusion : comment rendre valide un système de simulation complexe ?	119
4.5. Annexe. Epistémologie dans une coquille de noix : concevoir et expérimenter	121
4.5.1. Concevoir : la représentation et au-delà	122
4.5.2. Expérimenter	131
4.6. Bibliographie	136
Chapitre 5. Sciences sociales computationnelles : simulation sociale multi-agents	141
Nigel GILBERT	
5.1. Introduction	141
5.2. La simulation sociale	142
5.3. Sociologie et complexité	143
5.4. Les données	145
5.5. Les modèles multi-agents	146
5.6. Exemples de modèles agents	149
5.6.1. Abstrait <i>versus</i> descriptif	149
5.6.2. Artificiel <i>versus</i> réaliste	150
5.6.3. Positif <i>versus</i> normatif	151
5.6.4. Spatialisé <i>versus</i> en réseau	151
5.6.5. Agents complexes <i>versus</i> agents simples	152
5.7. Développer des modèles multi-agents	152
5.8. Conclusion	156
5.9. Bibliographie	157

Chapitre 6. La fin des débuts pour les systèmes multi-agents en sciences sociales	161
Robert AXTELL	
6.1. Les débuts de « l'ère moderne » dans les systèmes multi-agents	161
6.2. Le chemin parcouru jusqu'à présent	163
6.2.1. Liens micro-macro	163
6.2.2. Emergence d'organisation et d'institutions à une échelle intermédiaire (méso)	163
6.2.3. Modèles explicitement empiriques	164
6.2.4. Généralisation de modèles mathématiques et/ou numériques	164
6.2.5. Les modèles d'aide à la décision	164
6.3. Où en sommes-nous aujourd'hui ?	165
6.4. Conceptions concurrentes et complémentaires pour le futur	165
6.5. Conclusion : le long terme	167
6.6. Bibliographie	168
Chapitre 7. Les modèles agents en géographie urbaine	173
Lena SANDERS	
7.1. Introduction	173
7.2. Objets et objectifs de la modélisation urbaine	173
7.3. Approches individus-centrées en modélisation urbaine : microsimulation et modèles agents	177
7.3.1. Un fait stylisé, le processus de périphérisation des villes d'Amérique latine	178
7.3.2. Un modèle de microsimulation avancée	179
7.3.3. Un modèle agent de ségrégation résidentielle	180
7.4. Modèles agents pour simuler la dynamique des systèmes de villes	182
7.4.1. Le modèle SimPop : l'émergence d'un système de villes	183
7.4.2. Le modèle EUROSIM : la dynamique des villes européennes	186
7.5. Conclusion	188
7.6. Bibliographie	189
Chapitre 8. Essai d'épistémologie de la simulation multi-agents en sciences sociales	193
Pierre LIVET	
8.1. Introduction	193
8.2. Les conditions de la simulation multi-agents	194
8.3. Le carré et le cube des similarités	198
8.4. La simulation généralisée	206
8.5. Simulation et mise en suspension	208
8.6. Conclusion	216
8.7. Bibliographie	218

Chapitre 9. Modéliser avec et pour les acteurs de terrain	219
Nils FERRAND	
9.1. Introduction	219
9.2. Ne pas confondre modélisation et modèle	220
9.3. Pourquoi modéliser ? Usage et utilité	221
9.4. Modéliser avec les acteurs pour analyser et comprendre	223
9.4.1. Que modéliser ? Soi, les autres, le monde	224
9.4.2. Comment modéliser des processus sociaux avec des acteurs ?	226
9.4.3. Outils et méthodes	229
9.4.4. Questions critiques	231
9.4.5. Exemples	233
9.5. Modéliser avec les acteurs pour prévoir	233
9.6. Modéliser avec les acteurs pour aider à décider et changer	235
9.7. Expérimentation sociale fondée sur la modélisation	236
9.8. Conclusion : avec ou sans les acteurs ?	237
9.9. Bibliographie	238
Chapitre 10. Modélisation d'accompagnement	241
COLLECTIF COMMOD – Correspondant : François BOUSQUET	
10.1. Introduction	241
10.2. Principes et objectifs de la modélisation d'accompagnement	243
10.3. Méthodologie de modélisation d'accompagnement : l'utilisation combinée de simulations multi-agents et de jeux de rôles	245
10.4. Bibliographie	250
 DEUXIÈME PARTIE. MODÉLISATION ET SIMULATION MULTI-AGENTS EN ÉCONOMIE ET SCIENCES SOCIALES COMME COMPLÉMENTS DES FORMALISMES CLASSIQUES	253
Introduction	255
Denis PHAN	
Chapitre 11. Des réseaux d'automates aux modèles multi-agents : choix discrets avec dépendance sociale	263
Denis PHAN	
11.1. Introduction	263
11.2. Les réseaux d'automates : une première étape pour étudier la dynamique des « sociétés artificielles »	263
11.2.1. Typologie des réseaux d'automates utilisés pour représenter des réseaux sociaux	264
11.2.2. Propriétés dynamiques d'un réseau d'automates binaires élémentaires	273

14 Modélisation et simulation multi-agents	
11.2.3. Propriétés dynamiques d'un réseau d'automates mimétiques élémentaires : l'exemple du dilemme du prisonnier spatial	278
11.3. Choix discrets avec influence sociale	283
11.3.1. Influence sociale et dynamiques complexes en taille finie	284
11.4. Conclusion	287
11.5. Bibliographie	287
Chapitre 12. Modélisation, implémentation et exploration d'un système multi-agents : un exemple	293
Gilles DANIEL	
12.1. Introduction	293
12.2. Cadre théorique	294
12.3. Modèle conceptuel	295
12.4. Formalisation du modèle informatique	297
12.4.1. Diagramme de cas d'utilisation	297
12.4.2. Diagramme de classes	298
12.4.3. Implémentation	300
12.5. Simulations et exploration	302
12.5.1. Premières simulations	302
12.5.2. Robustesse des résultats	303
12.5.3. Exploration du champ des paramètres	304
12.6. Conclusion	307
12.7. Bibliographie	307
12.8. Logiciels, plates-formes, cadres méta-langages	308
Chapitre 13. Apprentissage dans les modèles multi-agents	309
Christophe DEISSENBERG	
13.1. Apprentissage dans les modèles standard et apprentissage dans les modèles multi-agents	309
13.2. Typologie des apprentissages	311
13.3. Systèmes de classificateurs	314
13.4. Algorithmes génétiques	317
13.4.1. Pourquoi un GA est-il efficace ?	324
13.4.2. Quelques mots sur l'utilisation de GA en sciences sociales	326
13.5. Logiciels et autres ressources sur les GA	327
13.6. Conclusion	328
13.7. Bibliographie	329
Chapitre 14. Influence sociale, jeux de population et émergence dans les modèles multi-agents	331
Denis PHAN	
14.1. Introduction	331
14.2. Le modèle d'influence sociale d'Orléan	332

14.3. Du jeu de coordination à deux joueurs au jeu de population	335
14.3.1. Jeux de population.	337
14.3.2. Un exemple simple de jeux de coordination : <i>Currency Game</i> . . .	338
14.3.3. Se coordonner pour chasser le cerf : <i>stag hunt</i>	340
14.4. Emergence	341
14.4.1. Le modèle d'émergence de classe de d'Axtell, Epstein et Young .	342
14.4.2. Introduire de l'émergence forte dans le modèle d'Axtell, Epstein et Young	347
14.5. Bibliographie	352
TROISIÈME PARTIE. INTRODUCTION À LA MODÉLISATION MULTI-AGENTS DES SYSTÈMES COMPLEXES EN GÉOGRAPHIE	357
Introduction	359
Eric DAUDE et Patrice LANGLOIS	
Chapitre 15. Approche conceptuelle de l'espace : structurations de l'espace, du temps et des objets dans un contexte de modélisation multi-agents	363
Patrice LANGLOIS	
15.1. Introduction	363
15.2. Espace, matière et objet géographiques	364
15.2.1. Espace géométrique, espace matériel	364
15.2.2. Objet et couche d'objets géographiques	365
15.2.3. Principe de différenciation	366
15.2.4. Principe de non-ambiguïté	366
15.2.5. Principe d'imperméabilité des objets.	366
15.2.6. Principe de permanence (d'immobilité)	366
15.2.7. Exemples	367
15.3. Géométrie et topologie des maillages de surface	367
15.3.1. Maillages réguliers	367
15.3.2. Maillages irréguliers	368
15.3.3. Structure de voisinage associée à un maillage	369
15.3.4. Maillages hiérarchisés, espaces multi-couches	377
15.3.5. Formes et limites de l'univers	378
15.4. Objets géographiques non maillés.	378
15.4.1. Voisinages dans un semis de points géographiques	379
15.4.2. Voisinages sur un réseau géographique	381
15.5. Maillages en élévation.	381
15.6. Le temps	382
15.6.1. Objets mobiles, objets déformables	382
15.6.2. Structures de l'espace et contraintes de déplacement	383
15.7. Conclusion	384
15.8. Bibliographie	384

Chapitre 16. A Monte Carlo approach to diffusion : une étude « historique » revisitée par la modélisation multi-agents	385
Eric DAUDE	
16.1. Introduction	385
16.2. Modèles multi-agents et modèles de diffusion	387
16.3. Une étude historique : <i>a Monte Carlo approach to diffusion</i>	389
16.4. Le modèle d'Hägerstrand revisité dans l'univers multi-agents	394
16.4.1. Un modèle formel de diffusion	394
16.4.2. Du modèle général au modèle particulier	395
16.4.3. Modèle multi-agents de la diffusion des subventions aux pâturages.	400
16.5. Conclusion	404
16.6. Bibliographie	405
16.7. Annexe.	407
Chapitre 17. Comparaison de trois implémentations du modèle de Schelling	411
Eric DAUDE et Patrice LANGLOIS	
17.1. Emergence d'une structure spatiale : le modèle de Schelling.	411
17.2. Traduction des hypothèses dans un contexte AC et SMA.	413
17.3. Conception informatique du modèle	414
17.3.1. Modélisation orientée objet UML sous forme de diagramme d'activités	414
17.4. Implémentations informatiques	418
17.4.1. Implémentation sous StarLogo	418
17.4.2. Implémentation sous Excel (programmation en VBA)	424
17.4.3. Implémentation sous SpaCelle	428
17.5. Comparaison des trois implémentations	431
17.6. Analyse du modèle.	432
17.6.1. Famille de modèles et modèle élémentaire	433
17.6.2. Mesure de la convergence	433
17.6.3. Mesure de l'agrégation	435
17.6.4. Choix du mécanisme de transition	435
17.6.5. Condition nécessaire de convergence	436
17.6.6. Etude de la convergence du modèle avec $d = 98\%$ et $S = 66\%$	437
17.6.7. Comportement du modèle dans l'espace des paramètres	438
17.7. Conclusion	441
17.8. Bibliographie	441
Index	443