

Modélisation informatique de systèmes à base d'interactions et détection d'organisations. Modèles du vivant

Dossier

Version provisoire

pour l'obtention de l'

Habilitation à Diriger des Recherches de l'Université du Havre
(Spécialité Informatique)

par

Damien OLIVIER

Composition du jury

Rapporteurs : Luca Maria Gambardella Professeur à l'Université de Lugano
Gérard Duchamp Professeur à l'Université Paris XIII
Cyrille Bertelle Professeur à l'Université du Havre

Examineurs : Pascal Bouvry Professeur à l'Université du Luxembourg
Stéphane Canu Professeur à l'INSA de Rouen
Frédéric Guinand Professeur à l'Université du Havre
Michel Cotsaftis Directeur de Recherche à l'ECE

Mis en page avec la classe thloria.

Remerciements

Me voici donc face à la page la plus lue et sans doute celle comportant le plus de fautes d'orthographe parce que paradoxalement c'est par elle que l'on termine et c'est donc celle que l'on relit le moins¹. Grâce à elle, on peut agacer un futur lecteur et se fâcher avec un collègue. Lorsqu'on la rédige, le travail ne vous appartient déjà plus il sera dans peu de temps entre les mains des rapporteurs puis des examinateurs pour qui les jurys se suivent avec leurs suites infinies de remerciements usés par les usages. Les remerciements se déclinent suivant un ordre inéluctable : il y a d'abord le directeur, puis les rapporteurs et les autres membres du jury et enfin les autres. Telle le veut la hiérarchie. Les membres du jury comprendront, j'en suis sûr, que je déroge à la règle, puisqu'avant moi, ils sont passés par là et je ne fais que suivre leurs voies.

Le travail de recherche que je défends est le résultat de nombreuses interactions avec mes collègues, Cyrille Bertelle et Frédéric Guinand. Chacun à leur manière sont indispensables et font un travail remarquable trop souvent ignoré de tous. Il n'est pas nécessaire d'en dire plus, je crois qu'ils savent la profonde estime que j'ai pour eux. Je n'oublie pas également Alain Cardon qui a une part essentielle dans ce travail, car il est de ceux qui donnent envie de faire de la recherche grâce à son travail et ses idées. C'est un pionnier dans ses travaux et c'est un bâtisseur, il est à l'origine de la genèse du laboratoire auquel j'appartiens et de sa dynamique, et ce n'est pas rien ! Merci de m'avoir accordé ta confiance en me permettant d'encadrer des thèses.

Une organisation au sens des sociologues est souvent vue comme une fiction, c'est toi Pierrick puriste à l'excès toujours prêt à relever mes billevesées, Guillaume le seul thésard soumettant ses papiers en intégrant les commentaires de travail, Sylvain qui a supprimé le S de GASP et Antoine dit Fourmi One, qui l'avez rendue crédible. Avec un peu de coquetterie je dirais que le système que nous formions a *{tissé ensemble}*² en grande partie le travail présenté ici. J'espère pouvoir continuer de près ou de loin avec vous. Antoine, cher collègue je compte sur toi, afin de poursuivre le travail avec Guilhem, Julien, Michel et d'autres encore. J'aurai toujours un regret, Sylvain, celui de ne pas t'avoir convaincu de continuer la route avec nous, merci de la part des enfants handicapés qui jouent avec tes jeux. Yoann tu as ta place dans ces remerciements, ton sens du collectif et ta bonne humeur te rendent indispensable pour BC&PP et grâce à nous le B à un sens sinon il aurait sans doute fallu sinon mettre CC.

Je souhaite également remercier ceux avec qui j'ai collaboré ou je collabore, Krister, Harry et leurs équipes respectives, Erika, Glenn, Shigui et le très envahissant Pierre qui tente de transformer le «bricoleur» que je suis en un scientifique rigoureux. Une mention très spéciale à mon ami Dominique, du fond du cœur merci, j'espère que nous monterons ensemble d'autres projets dans le futur.

¹Peut-être devrais-je dire : que l'on fait le moins relire!

²Complexus en latin!

Je n'oublie pas tous ceux qui accompagnent mon quotidien d'enseignant-chercheur, sans eux beaucoup de choses ne seraient pas possibles, je pense tout particulièrement à (Sainte) Véronique, Jean-Luc un maître dans le bon goût et Stéfan qui amène une touche d'exotisme et de rigueur dans les conversations que j'entends ou que je partage, j'ai des progrès à faire en bulgare.

Il y a aussi tous ceux qui sont mes amis, ils se reconnaîtront, qui font que même lorsqu'une bourse vous passe sous le nez, ou qu'un projet ANR est retoqué vous retournez le lendemain avec plaisir à l'université pour y partager un café, un repas ou même des soucis.

Une démarche scientifique n'a de valeur que si elle est évaluée. Je tiens à remercier tous ceux qui y ont participé, Moulay Aziz Alaoui et Gérard Duchamp pour leur avis concernant mon inscription en HDR, Gérard Duchamp une nouvelle fois, Maria Luca Gambardella et Cyrille Bertelle pour leur rapport Frédéric Guinand, Pascal Bouvry, Michel Cotsaftis et Stéphane Canu pour leur participation au jury.

Il y a ceux que j'ai oubliés volontairement, mais aussi tous ceux que j'ai oubliés involontairement, trop pressé d'en finir. Pardonnez-moi de vous avoir, par ma négligence, associé, vous ne le méritiez pas.

Les K^n , vous lirez peut être un jour cette page et même peut être-plus, soyez indulgentes, je vous ai volé beaucoup de temps.

Aux K_{i-2}, K_{i-1}, K_i^n .

Souvenons-nous que l'avenir n'est pas nôtre, ni absolument non nôtre, afin que nous ne l'attendions pas absolument comme à venir, et que nous n'espérions pas l'éviter comme non à venir.

Epicure

Table des matières

Partie I Contexte Scientifique	1
---------------------------------------	----------

Chapitre 1 Introduction générale	3
1.1 Introduction	4
1.2 Problématique	5
1.3 Le tas de sable et le fourmilion	7
1.3.1 Un modèle	9
1.3.2 Propriétés	13
1.3.3 Vers une utilisation de la métaphore	13
Chapitre 2 Positionnement	17
2.1 Système	18
2.1.1 Système fermé - système ouvert	19
2.1.2 Système autonome - Système dissipatif - Système vivant	20
2.2 Complexité	22
2.2.1 Systèmes complexes	22
2.2.2 Organisation, structure et forme	24
2.2.3 Auto-organisation	26
2.3 Émergence	30
2.3.1 Causalité	32
2.3.2 Phénomènes émergents synchroniques et diachroniques	33

2.3.3	Types d'émergence	34
2.3.4	Mesure de la complexité	35
2.4	Typologie de l'émergence	37
2.4.1	Émergence simple	37
2.4.2	Émergence faible	38
2.4.3	Émergence forte	40
2.5	Intelligence collective	41
2.5.1	Interactions, auto-organisation et stigmergie	43
2.6	Conclusion	44

Partie II Contributions	45
--------------------------------	-----------

Chapitre 3 Écosystèmes	47	
3.1	Introduction	48
3.2	Distribution dynamique à l'aide de mécanismes d'intelligence collective	50
3.3	Modélisation de l'écoulement et détection d'organisation	51
3.3.1	Représentation particulière	51
3.3.2	Détection des organisations	54
3.3.3	Gestion des organisations	55
3.3.4	Changement d'échelle	63
3.4	Simulation du biotope et de la biocénose	68
3.4.1	Modèle hybride holarchique compartimental	69
3.4.2	Ontologie du modèle	73
3.4.3	Mise en œuvre et résultat	77
3.4.4	Détection et gestion des organisations	84
3.4.5	Changement d'échelle	86
3.5	Conclusion	91

Chapitre 4 Détection d’organisations par des techniques de collaboration et de compétition	93
4.1 Introduction	94
4.2 Détection d’organisations par un algorithme fourni	95
4.2.1 Le graphe comme environnement et solution	96
4.2.2 Graphe dynamique coloré	98
4.2.3 Recherche d’organisations ou de communautés dans les réseaux	100
4.3 Distribution dynamique adaptative	106
4.3.1 Le modèle	109
4.3.2 Gestion de Population et démographie	112
4.3.3 Conditions initiales	114
4.3.4 Ajouts de couleurs	114
4.3.5 Gestion de conditions particulières et mécanismes supplémentaires	115
4.3.6 Architecture et implémentation	119
4.3.7 Expérimentations et résultats	123
4.4 Modification du modèle	134
4.5 Conclusion	135
Chapitre 5 Bioinformatique	137
5.1 Introduction	138
5.2 Séquençage par hybridation	138
5.2.1 Mécanisme d’hybridation	138
5.2.2 Le modèle	140
5.2.3 Recherche de la séquence d’origine	141
5.3 Modélisation du système immunitaire	142
5.3.1 Les différents modèles	149
5.3.2 Simulation d’un réseau idiotypique	153
5.3.3 Principes généraux du modèle	155
5.4 Épidémiologie et résistance aux antibiotiques	161
5.4.1 Mécanismes de résistance	161
5.4.2 Le modèle	163
5.4.3 Résultats	167
5.5 Informatique destinée à un public handicapé	174
5.5.1 Interfaces multimodales	174
5.5.2 Méthodologie	174

5.5.3	Architecture	177
5.6	Conclusion et perspectives	177

Partie III	Contexte universitaire	179
-------------------	-------------------------------	------------

Chapitre 6	Curriculum vitæ	181
6.1	Diplômes	182
6.2	Parcours professionnel	182
6.3	Situation actuelle	182
6.4	Préambule	183
6.5	Participation au développement de l'informatique et de l'UFR ST . . .	184
6.5.1	Enseignements de 2003 à 2006	185
6.6	Activités de recherche	186
6.6.1	De 1991 à 1999	186
6.6.2	De 1999 à 2006	186
6.6.3	Responsabilités au sein du LIH puis du LITIS	190
6.6.4	Collaborations et animation scientifique	191
6.6.5	Valorisation, gestion de la recherche	192
6.6.6	Encadrements de stage de DEA et Master recherche	192
6.6.7	Co-directions de thèses	193
6.7	Thématique de recherche : Interactions et systèmes complexes	194

Partie IV	Conclusion	197
------------------	-------------------	------------

Chapitre 7 En guise de conclusion	199
7.1 Et pour finir	200
7.2 Perspectives	200

Partie V Bibliographie	203
-------------------------------	------------

Chapitre 8 Bibliographie	205
8.1 Références bibliographiques	206
8.2 Publications	214
8.2.1 Revues et Ouvrages collectifs	214
8.2.2 Publications internationales avec actes et comité de lecture . . .	215
8.2.3 Conférences nationales avec actes et comité de lecture	217
8.2.4 Rapports européens IST	218
8.2.5 Rapports régionaux	218
8.2.6 Rapports internes - Séminaires	218
8.2.7 Quelques travaux encadrés	219

Table des figures

1.1	Interaction et auto-organisation au sein d'une colonie de bactéries.	5
1.2	Positionnement scientifique et informatique	6
1.3	Différents stades d'évolution d'un fourmilion	8
1.4	Pièges de la larve de fourmilion	9
1.5	Modèle du tas de sable	10
1.6	Tas de sable	10
1.7	Auto-organisation d'un tas de sable	11
1.8	Mécanisme de chute	12
1.9	Exemple d'évolution de l'automate cellulaire	12
1.10	Criticalité auto-organisée	13
2.1	Vue schématique d'un système	18
2.2	Système ouvert - système fermé	19
2.3	Allée de Von Karman	21
2.4	Complexité organisationnelle et phénoménologique	24
2.5	Choux romaneco montrant une forme et une organisation fractale	26
2.6	Régulation de la fonction de reproduction chez l'homme	29
2.7	Dynamique de l'auto-organisation	31
2.8	Causalité circulaire	33
2.9	Émergence simple avec pro-action.	38
2.10	Émergence faible.	39
2.11	Vol d'étourneaux sansonnets	39
2.12	Émergence faible multiple	40
3.1	Modèle organisationnel émergent et implémentation associée	48
3.2	Projet de recherche global	49
3.3	Simulation de l'écoulement avec détection de structure.	52
3.4	Formation de tourbillons dans un écoulement turbulent.	54
3.5	Détection des structures tourbillonnaires dans un écoulement turbulent	55
3.6	Transducteur codant un comportement d'éco-résolution	57
3.7	Différents cas de perception de gène	58
3.8	Fuite d'un tourbillon	59
3.9	Agrégation de particules à une structure	60
3.10	Collision entre deux tourbillons	60
3.11	Triangulation de Delaunay sur deux structures en collision	61

3.12	Différents cas de perception de gène	61
3.13	Obstacles	62
3.14	Division du plan sous la forme d'un 4-Tree de l'ensemble de particules . . .	64
3.15	4-Tree de l'ensemble de particules	64
3.16	Exemple de N-Tree	65
3.17	Voisinage à l'aide d'un N-Tree	66
3.18	Détection de structure dense à l'aide d'un N-Tree	67
3.19	Les producteurs-consommateurs-décomposeurs et les relations les unissant	70
3.20	Les divers compartiments de l'estuaire de la Seine	71
3.21	Écosystème holarchique composé de trois compartiments	72
3.22	Classe holon	73
3.23	Rapport d'un modèle de comportement avec les autres concepts de l'ontologie	75
3.24	Placement des modèles d'espace dans notre ontologie	75
3.25	La classe éléments temporels et ses classes filles.	76
3.26	Tracé classique d'un modèle proie-prédateur de type lotka-volterra montrant la phase entre effectif de proies et de prédateurs.	79
3.27	Modèle proies-prédateurs spatialisé avec une contrainte environnementale. .	80
3.28	Producteurs-consommateurs	81
3.29	Les trois compartiments et leur évolution	83
3.30	Régime alimentaire du gobie tacheté <i>Pomatoschistus microps</i> dans l'estuaire de la Seine et de l'Ythan ainsi que de celui du bouquetin palaemon longirostris dans l'estuaire de la Seine et de la Loire	85
3.31	Évolution de la chaîne trophique d'une simulation impliquant trois populations pour un compartiment donné	87
3.32	Simulation avec deux espèces avec (courbe Super-Individu) et sans (courbe Individu) changement de représentation	89
4.1	Exemple d'un graphe coloré avec détection des organisations	96
4.2	Graphe dynamique utilisé en tant qu'environnement pour les fourmis, et les diverses informations qu'il contient.	97
4.3	Exemple d'un graphe dynamique coloré à cinq stades de son évolution et détection d'organisation	99
4.4	Organisations au sein du club de karaté étudié par Zachary	103
4.5	Exploration récursive de profondeur maximale 12 des bases de données d'Amazon.com à partir de "The Art of Computer Programming".	104
4.6	Exploration récursive de profondeur maximale 12 des bases de données d'Amazon.com à partir de "The Ruby Way".	105
4.7	Exemple d'application répartie nécessitant une distribution dynamique adaptative.	107
4.8	Positionnement de l'approche.	109
4.9	Problèmes auxquels est confronté l'algorithme de base.	116
4.10	Photos d'une expérience réelle.	117
4.11	Architecture dans laquelle s'insère <i>AntCO</i> ²	119
4.12	Différentes méthodes pour distribuer <i>AntCO</i> ²	120

4.13	Diagramme de séquence d' <i>AntCO</i> ² et une application fonctionnant en parallèle.	122
4.14	Graphe invariant d'échelle de 391 sommets et 591 arcs.	125
4.15	Organisation interagissant avec une plus grande structure	126
4.16	Ajout d'une colonie toutes les 1000 étapes dans une grille 30 × 30.	127
4.17	Évolution du graphe «data»	128
4.18	Début de la simulation lorsque les organisations n'ont pas émergé.	131
4.19	Des organisations ont émergé.	132
4.20	Comparaison sur le critère r_1 entre les stratégies «aléatoire», «maillage» et « <i>AntCO</i> ² » avec 200 boids.	133
4.21	Comparaison sur le critère r_2 entre les stratégies «maillage» et « <i>AntCO</i> ² » avec 200 boids.	133
4.22	Architecture globale pour la gestion de trafic routier.	134
5.1	Séquençage par hybridation.	139
5.2	Hybridation de la sonde CGCGTA avec une partie de séquence.	139
5.3	Spectre associé à la séquence AATTCGGGTA obtenu par hybridation des sondes de longueur 4 d'une puce à ADN.	140
5.4	k – <i>graphe</i> du spectre ATCC, TCCG, CCAA.	141
5.5	<i>SBH</i> – <i>graphe</i> du spectre ATCC, TCCG, CCAA.	142
5.6	DiMAnts	143
5.7	Protéines membranaires intervenant dans les communications intercellulaires.	145
5.8	Réponse du système immunitaire.	147
5.9	Lymphocyte T attaquant une tumeur.	149
5.10	Anticorps	152
5.11	Espace de forme à deux dimensions	154
5.12	Conditions extrêmes de développement du réseau idiotypique.	157
5.13	Configuration stable mais oscillante du réseau idiotypique.	157
5.14	Développement d'un réseau idiotypique avec auto-organisation.	158
5.15	Criticalité auto-organisée d'un réseau idiotypique.	158
5.16	Évolution du nombre de lymphocytes pour chacun des plans durant le développement	159
5.17	Morphologies très voisines avec les mêmes bornes.	160
5.18	Carte de comportement $b_{min}, b_{max} \in [0, 1]$	160
5.19	Diagramme de contact pour un HCW et 4 patients durant un quart.	165
5.20	Diagrammes de flux pour les HCW et les patients.	166
5.21	Période d'infection en fonction de la classe du patient.	168
5.22	Simulation numérique du modèle IBM et du modèle déterministe sur 1 an.	170
5.23	Modèle IBM sur 1 an quand $A_V = 85min$	171
5.24	Modèle déterministe sur 1 an quand $A_V = 95min$	171
5.25	Évolution de R_0^N et R_0^R en fonction de la durée et de la date de début de traitement.	172
5.26	Évolution de R_0^N et R_0^R en fonction du temps moyen de visite A_V la durée moyenne de contamination A_C	173
5.27	Gabriel entrain de jouer.	175

Table des figures

5.28 Terminal braille.	175
5.29 Tablette tactile et son utilisation.	176
5.30 Méthodologie.	176
5.31 Mécanisme du quorum sensing.	178

Liste des Algorithmes

4.1	Comportement d'une fourmi.	101
4.2	Fonctionnement de l'environnement dans <i>AntCO</i> ²	111
4.3	Comportement d'une fourmi de couleur <i>c</i> dans <i>AntCO</i> ²	113
4.4	Instance d' <i>AntCO</i> ²	121
4.5	Instance de l'application	121
5.1	Principe du développement	156
5.2	Mécanisme de recrutement : recrutementLymphocyte()	156

