

Systemes Complexes en SES

Modélisations et simulations multi-agents pour les Sciences économiques et Sociales

Denis PHAN
Université de Rennes 1 - CREM - UMR CNRS 6211

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 1

Systemes Complexes en SES

Qu'est-ce qu'un agent et un système multi-agents ?

- Un « agent » est une entité logicielle relativement autonome pouvant percevoir de l'information sur son environnement, communiquer et agir.
- Les « actions » d'un agent peuvent être motivées par des objectifs, conditionnées par des ressources, des compétences et l'information disponible.
- Un agent « cognitif » peut être doté de capacités de représentation, d'apprentissage et de décision plus ou moins sophistiquées
- Un système multi-agents comprend un environnement, un ensemble d'objets dont les agents, un ensemble de relations entre objets et/ou agents et un ensemble d'opérateurs associés à ces entités.

* Hiérarchies cognitives
Agents réactifs
Agents hédoniques
Agents épistémiques
profondeur stratégique
catégorisation
Source : Bourguine (1992),
Walliser (1998)
Phan (2004, 2005),
Ferber, Phan (2005)

Source : Ferber (1995)

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 2

Systemes Complexes en SES

Pourquoi simuler ? Modélisation et simulation dans les SMA

- Pour Axelrod (2005) la simulation est une "troisième voie" pour la science → un rôle majeur au *contexte de découverte*
 - comme *aide à l'intuition*
 - comme un moyen de faire de l'*expérimentation*
- Modélisation multi-agents et simulation : *deux démarches distinctes* (deux moments) qui peuvent être couplées
 - il existe une démarche de *modélisation spécifique SMA*
Production d'abstractions : ontologies*, composants, architectures
(*modèles de conception et d'organisation de la connaissance)
 - La simulation est une démarche spécifique* qui possède déjà des logiques et des règles (ingéniering, réalité virtuelle...)
- Pour Axtell (2000) il y a *trois usages distincts* des SMA en sciences économiques et sociales :
 - un autre moyen de réaliser des *simulations "classiques"*
 - comme *complément* de la modélisation mathématique
 - comme *substitut* de la modélisation mathématique

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 3

Systemes Complexes en SES

Modèles multi-agents fondés sur des modèles analytiques pour l'économie cognitive

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 4

Systemes Complexes en SES

Agent-Based Computational Economics Pourquoi ?

- CL allows us to *study complex systems with multiple interacting agents* by means of *controlled and replicable experiments* (Tesfatsion, 2002, 2004).
 - (i) Learning and the embodied mind
 - (ii) evolution of behavioural norms
 - (iii) bottom-up modelling of market processes
 - (iv) formation of economic networks
 - (v) modelling of organisations
 - (vi) design of computational agents for automated markets (pricebots, shopbots, auctions)
 - (vi) parallel & complementary experiments with real and computational agents
 - (vii) building ACE computational laboratories

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 5

Systemes Complexes en SES

Agent-Based Computational Economics & cognitive economics : comment ?

Epistemic perspective		Evolutionary perspective	
Experimental Economics	Market & Organisation	Computational Economics	Complex Adaptive Systems
Decision / Game Theory	Theories	ACE	Networks co-evolutionary Populations dynamics
Social representations	Individual Learning	Moduleco (computational laboratory)	Collective Learning
Belief Revision			

- *Aspects « ontologiques » de la modélisation objet ; Abstraction*
- *Complémentarité eco. expérimentale - éco computationnelle*
- *Complémentarité formalisation classique - ACE*
- *Outil de présentation et d'investigation*
 - Bernard Ruffieu : « avant de modéliser il faut explorer »
 - André Orléan : « modéliser, c'est l'ultime manière de convaincre l'autre »

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 6

Des systèmes sociaux caractérisés par des dynamiques complexes et des apprentissages individuels et collectifs

- Les concepts de la modélisation dynamique des systèmes complexes : *attracteurs, frontière du chaos, système (critique) auto-organisé.*
- Les concepts plus spécifiques aux systèmes multi-agents : *organisation, émergence, contraintes sociales, structures de communication et d'interaction.*
- il s'agit d'abstraire des systèmes des propriétés générales, en particulier de voir l'émergence d'ordre (d'organisation) comme un produit de la dynamique des interactions entre les agents (un attracteur du système).

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 7

The three dimensions of cognitive agent (perception - thinking / decision - action)

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 8

Exemple 1 :
Modèles de choix discrets
avec influence sociale
(SMA ≡ réseau d'automates à états discrets)

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 9

choix et influence sociale

- On considère un ensemble de N agents $I = \{1, 2, \dots, N\}$ qui ont le choix entre deux comportements possibles Ensemble des choix (stratégies) $\Omega = \{0, 1\}$ (acheter - ne pas acheter, participer ou pas...)
- Le choix de l'agent $i \in I$ sera alors désigné par : $\omega_i \in \Omega$; i.e. $\omega_i = 1$ pour « acheter » et $\omega_i = 0$ pour « ne pas acheter »
- Chaque agent maximise un surplus linéaire :

$$W_i \equiv \omega_i \left(H_i + \sum_{k \in \mathcal{N}_i} j_{ik} \tilde{\omega}_k - P \right)$$
 si

$$H_i = H + \theta_i \sum_{k \in \mathcal{N}_i} j_{ik} \tilde{\omega}_k$$
 où $N_{\mathcal{N}_i} = \|\mathcal{N}_i\|$ (nombre de voisins de i), j_{ik} (poids attribué par i aux choix (anticipé) de ses « voisins »), et $\tilde{\omega}_k$ (Choix (anticipé) du voisin $\omega_k = 0$ ou 1)

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 10

Dans un système de taille finie, chaque agent peut être vu comme un automate à seuil jouant à un « jeu de population »

- Considérons le cas d'un voisinage homogène et régulier : $\|\mathcal{N}_i\| = \|\mathcal{N}_k\|$ et $j_{ik} = j$ pour tout $i, k \in I^2$
- On peut voir ce problème de décision comme celui d'un joueur qui doit choisir une stratégie pure contre une stratégie mixte $\eta_{\mathcal{N}}$ représentative de la répartition des stratégies dans son voisinage \mathcal{N}

$$\omega_i(t) = \mathcal{F} \left[J \cdot \sum_{v \in \mathcal{N}} \omega_v(t-1) - \Theta_i \right]$$

$$\Theta_i = (P - H_i)$$

	Etat interne ω_i / Input i : 0	Etat interne ω_i / Input i : 1
Etat interne ω_i / Output i : 0	$\pi_i(0,0) = 0$	$\pi_i(0,1) = 0$
Etat interne ω_i / Output i : 1	$\pi_i(1,0) = H_i - P$	$\pi_i(1,1) = H_i + J - P$

	$S_0 \omega_i = 0$	$S_1 \omega_i = 1$
$S_0 \omega_i = 0$	$P - H_i$	0
$S_1 \omega_i = 1$	0	$H_i + J - P$

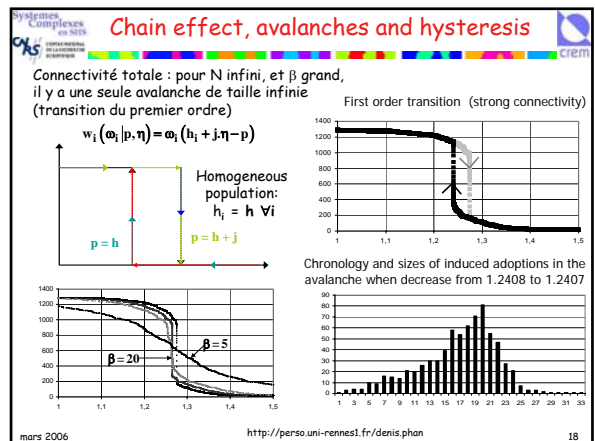
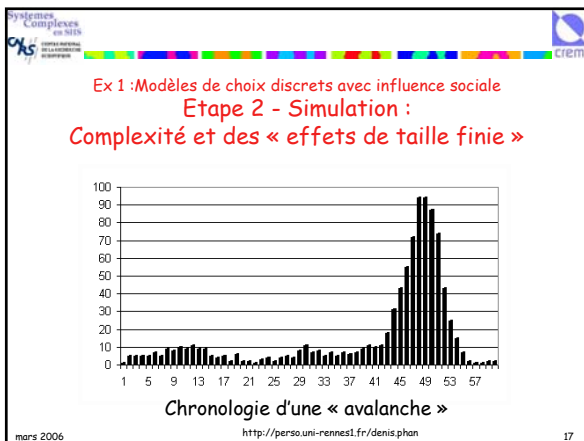
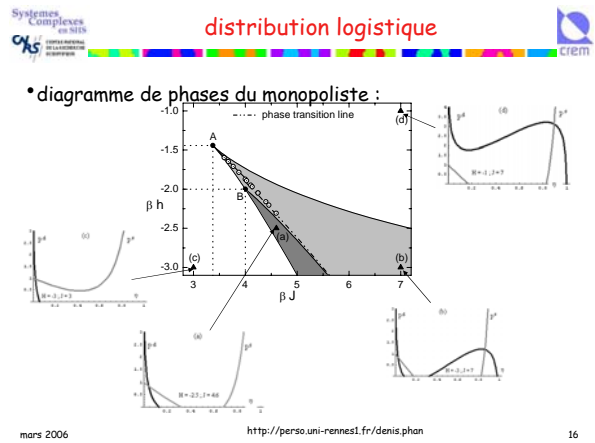
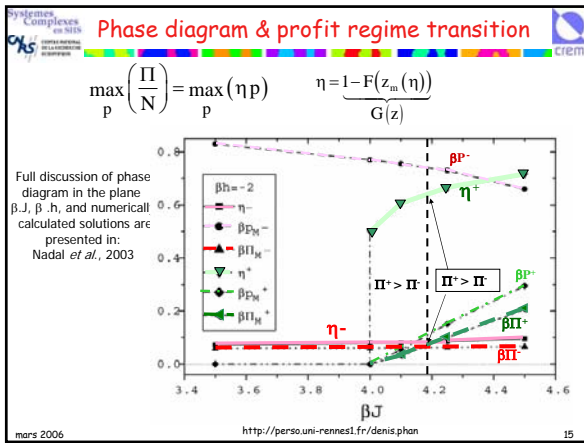
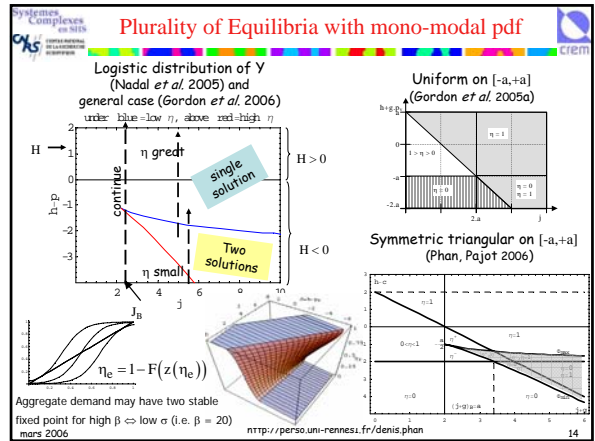
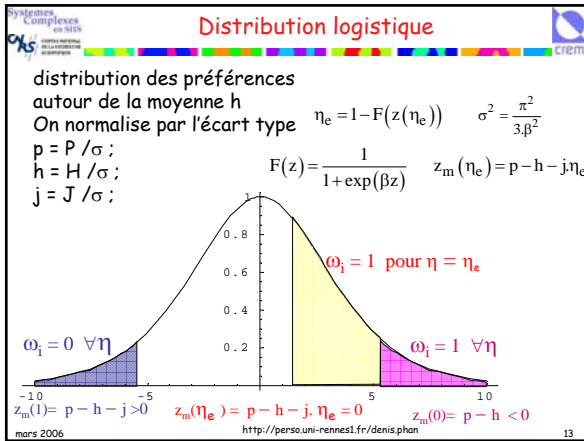
Jeu potentiel (Monderer Shapley, 1996)

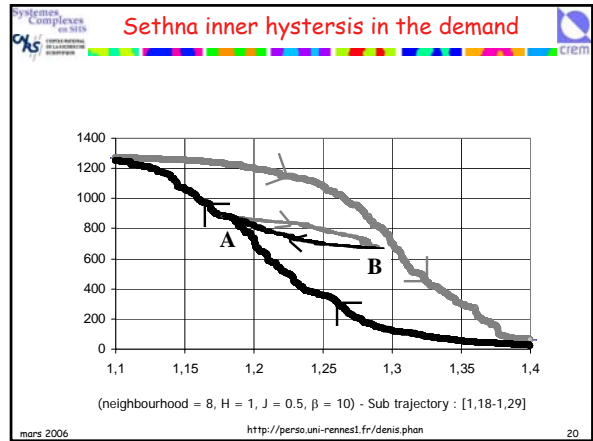
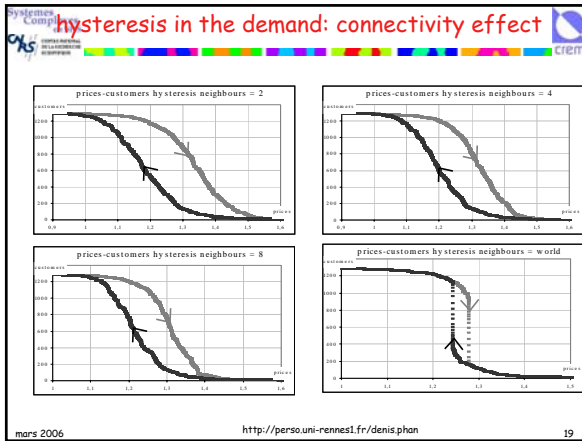
mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 11

Coordination dans un jeu de population : 4 types

- Ceux avec : $H_i > P$ adopteront toujours, quelque soit $\eta_{\mathcal{N}}$.
 - S_1 est une stratégie strictement dominante pour tout $\eta_{\mathcal{N}}$.
 - S_1 est donc la meilleure réponse contre toute combinaison convexe de S_0 et S_1
- Ceux avec : $P > H_i > P - J/2$
 - la stratégie Pareto dominante est aussi *risque dominante*
 - adopterons pour tout $\eta_{\mathcal{N}} > (P - H_i) / J > 0$
- Ceux avec : $P - J/2 > H_i > P - J$
 - la stratégie Pareto dominante est *risque dominée*
 - n'adopterons que si : $\eta_{\mathcal{N}} > (P - H_i) / J > 1/2$
- Ceux avec : $H_i < P - J$ n'adopteront jamais, quelque soit le taux d'adoption dans le voisinage.
 - S_1 est une stratégie strictement dominée pour tout $\eta_{\mathcal{N}}$.
 - S_0 est donc la meilleure réponse contre toute combinaison convexe de S_0 et S_1 (pour tous les taux d'adoption dans le voisinage :).

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 12





Avec quoi simuler ? Plate-formes (Computational Laboratory) : une Vision et manipulation intuitive des structures de réseau

CL provides "a clear and easily manipulated graphical user interface that can permit researchers to engage in serious computational research even if they have only modest programming skills" (Tefatsion, 2002)

Scheduler Display StatManager Help

World:	Neighbour:	World
WorldCompetition	NeighbourVonNeuman	
	NeighbourMooreAndSelf	
	NeighbourMoore	
	NeighbourVonNeuman	
	Neighbour4	
	Neighbour2	
	NeuronalNetwork	
	RandomIndividual	
	Empty	

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 21

Exemple 2 :

Emergence dans les modèles multi-agents
- le modèle de ségrégation de Schelling (1973, 1978)
- le modèle d'émergence de classes d'Axtell Epstein et Young (2003)

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 22

émergence dans les systèmes multi-agents I - un SMA « à la main » : Le modèle de Schelling

- Objectif : des structures résidentielles ségrégationnistes peuvent apparaître même si les préférences des habitants sont compatibles avec une structure intégrée des populations
- Les agents, positionnés sur un « damier » n'interagissent que localement, avec leurs 8 voisins immédiats (voisinage de "Moore"). Ils ne sont pas concernés par la configuration générale de l'habitat.
- Chaque agent accepte un voisinage majoritairement différent pour peu qu'il y ait au moins 37,5% des voisins semblables.
- Les interactions locales suffisent pour faire apparaître des configurations globales fortement homogènes - la «ségrégation» (sous forme de clusters) est une *propriété émergente du modèle*

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 23

II - L'émergence de classes dans un jeu de négociation multi-agents : le modèle d'Axtell, Epstein, Young (2000)

Motivation (des auteurs) > il s'agit d'étudier :

- les déterminants « *génératifs* » (Epstein) ou « *émergents* » de la *formation de groupes* ou de « *classes* » parmi des joueurs au sens des « *jeux de population* » (Blume, 1997)
- La *pérennité* (relative) de tels groupes dans le temps (« *équilibres ponctuels* »)

Cadre théorique > jeu de population de type « *random pairwise* » :

- Tous les agents appariés aléatoirement à chaque pas de temps jouent un jeu « *one-shot* » avec leur partenaire du moment.
- Ils se construisent une *représentation du monde* basée sur une mémoire bornée des rencontres passées et choisissent à chaque étape la « *meilleure réponse* » à leur représentation du monde, avec une probabilité positive de déviation (*tembling hand*).

Résultat : souligner le rôle - non trivial - des « *signes* » extérieurs (tags) dans le processus d'*émergence d'états sociaux stables*.

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 24

Systèmes Complexes en SIIS
L'émergence de classes dans le modèle d'Axtell, Epstein, Young (2000)
La négociation : un « Jeu de partage »

- La négociation (« one-shot » entre paires d'agents) porte sur la répartition (en %) d'un gâteau de « taille » 100.
- Seules les propositions dont la somme $S \leq 100$ sont acceptées (jeu de demande de Nash à une étape : ultimatum)
- « Jeu de partage »
- Il y a trois équilibres de Nash en stratégie pure
- Problème : les interactions décentralisées entre agents permettent elles de « sélectionner » un équilibre global (en stratégie pure) en l'absence de « common knowledge » (Young, 1993)

	H = 70	M = 50	L = 30
H = 70	0,0	0,0	70,30
M = 50	0,0	50,50	50,30
L = 30	30,70	30,50	30,30

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 25

Systèmes Complexes en SIIS
L'émergence de classes dans le modèle d'Axtell, Epstein, Young (2000)
Le processus du « Jeu de population »

- A chaque pas de temps, les agents ($i \in I / \text{card} I = N$) sont appariés aléatoirement jouent le « jeu de partage » :
- avec une probabilité $1 - \epsilon$
 - Les agents choisissent la stratégie qui maximise leurs gains (leur « meilleure réponse ») conditionnellement à leurs croyances
 - Si plusieurs stratégies ont un gain anticipé équivalent, il choisissent aléatoirement avec équi-probabilité.
- avec une probabilité ϵ
 - Les agents choisissent leur stratégie aléatoirement avec équi-probabilité : (1/3) ; (erreur, expérimentation consciente, imitation...)
 - ils dévient donc de leur meilleure réponse avec une probabilité : $(2\epsilon)/3$
- La croyance d'un agent i sur le comportements moyen dans la population : $C_i, G(H,M,L) \equiv C_i, \sigma$ est estimé par la *moyenne des fréquences observées* par i pour les différentes stratégies $\sigma = (p, q, 1-p-q)$ lors des m dernières confrontations (où m est la « longueur de la mémoire »)
- Ces croyances sont le produit de l'histoire de ses rencontres passées (hétérogénéité interactionnelle « historique »), limitée à cette période m .

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 26

Systèmes Complexes en SIIS
Représentation dans un simplexe de l'état des croyances des agents (hétérogénéité interactionnelle des croyances)

- A chaque période, l'état des croyances d'un agent i sur les stratégies jouées dans la population : C_i, σ peut être représenté par un triplet : $\sigma^i = (p, q, 1-p-q)$ qui correspond à la *fréquence moyenne de ces stratégies observées* par cet agent sur la période de taille m .
- Cet état peut être projeté sur un simplexe

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 27

Systèmes Complexes en SIIS
Tag model : formation de classes

- Les agents ont une « étiquette » qui leur permet d'être identifié (gris et noir). AEY supposent que, ce signe n'a aucune signification intrinsèque mais les agents mémorisent le signe des opposants qu'ils ont rencontré et calculent le comportement moyen correspondant à chaque étiquette.
- La formation de « classes » : des croyances distinctes selon le groupe et un comportement équitable intra-groupe, mais inégalitaire inter-groupes
 - Les noirs et les gris sont équitables entre eux (intra-groupe)
 - Entre groupes, les noirs ont la croyance que les gris adoptent un comportement « soumis » face auquel leur meilleure réponse consiste à revendiquer une grosse part (70%), inversement, les gris ont la croyance que les noirs ont un comportement « dominant » face auquel leur meilleure réponse consiste à adopter une attitude « soumise » en acceptant une petite part (30%)

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 28

Systèmes Complexes en SIIS
Le modèle de Schelling : une émergence ontologique ?

- Dans un système hiérarchisé de complexité croissante, on qualifie d'*émergent* un phénomène ou une entité qui trouve son origine au niveau antérieur.
- Dans les modèle de Schelling, la formation de clusters ou « amas » d'habitants de même type est un *phénomène* (une entité ?) «*émergent(e)*» des interactions locales entre les agents (habitants)

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 29

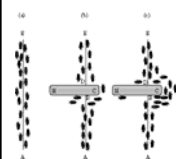
Systèmes Complexes en SIIS
le rôle central de l'observateur

- Nous allons définir l'*émergence* comme un *phénomène observé dans un système à plusieurs niveaux* :
 - Il s'agit de l'*identification par un observateur* de nouvelles régularités associées à un processus qui ne peuvent être déduites à partir de la connaissance de seules propriétés des éléments (agents) constitutifs du système (définition système complexe)
- Pour définir l'émergence dans les SMA, Müller (2002) souligne la *nécessité* d'un *couplage du processus avec le niveau d'observation du processus*. Un phénomène est émergent si :
 - Il y a un système constitué par ensemble d'agents interagissant entre eux et avec leur environnement dont la *description en tant que processus* est exprimée dans un langage D
 - La dynamique de cet ensemble produit un *phénomène structurel global observable* dans des « trace d'exécution ».
 - Le *phénomène global est observé* (1) par un observateur extérieur (*émergence faible*) ou (2) par les agents eux-mêmes (*émergence forte*) et décrit dans un langage *distinct* de D .

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 30

émergence forte et faible

• L'apport principal: la distinction entre *deux catégories d'émergence selon la position du niveau d'observation par rapport au processus.*



- Dans *l'émergence faible*, l'observateur est extérieur au processus et il n'y a pas nécessairement couplage.
- Dans *l'émergence forte*, les agents sont partie prenante du processus tout en observant ce dernier, ce qui entraîne *de facto* une *rétroaction du niveau d'observation sur le niveau du processus. L'émergence est immanente au système.*

Référence complémentaire : détection et émergence comme réduction de complexité (Dessalles, Phan, 2006 ; Bonabeau, Dessalles (1997)

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 31

Références

- Amblard F., Phan D. eds. (2006) *Modélisation et simulation multi-agents pour les Sciences de l'Homme et de la Société : une introduction*, forthcoming Hermes-Sciences, 416 p.
- Axtell R. Epstein J.M., Young H.P. (2001) *The Emergence of Classes in a Multi-agent Bargaining Model*, in Durlauf, Young, eds. *Social dynamics*, The MIT Press, Cambridge Ma .
- Bonabeau E., Dessalles J.-L. (1997) « Detection and Emergence » *Intellectica*, 25 p.89-94.
- Bourguine P., Nadal J.P. eds. (2004) *Cognitive Economics*, Springer Verlag
 - Gordon M. B. (2004) *An introduction to statistical mechanics* p. 131-155
 - Phan D., Gordon M.B, Nadal J.P., (2004) *Social Interactions in Economic Theory: an Insight from Statistical Mechanics* p. 225-358.
 - Phan D. (2004) "From Agent-Based Computational Economics towards Cognitive Economics" p. 371-398
- Dessalles J.L., Phan D. (2005) *Emergence in multi-agent systems: cognitive hierarchy, detection, and complexity reduction part I: methodological issues*, in Mathieu, Beaufils, Brandyou (eds.), *Agent-Based Methods in Finance, Game Theory and their Applications*, Series: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 564 Springer
- Gordon M.B., Nadal J.P., Phan D., Vannimenus J. (2004) "Seller's dilemma due to social interactions between customers", *Physica A*, N°356, Issues 2-4 p.628-640
- Gordon M.B, Nadal J.P., Phan D Semeshenko V. (2006)
- Nadal J.P., Phan D., Gordon M.B., Vannimenus J. (2005) *Multiple equilibria in a monopoly market with heterogeneous agents and externalities*, *Quantitative Finance*, Vol 5, N°6 December p.1-12.
- Phan D., Pajot S. (2006) *Complex Behaviours in binary choice models with social influence*,
- Schelling T.S. (1978) *Micromotives and Macrobehavior* W.W. Norton and Co, N.Y. Trad fr: *La tyrannie des petites décisions* PUF 1989


mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 32

Annexe : Avec quoi simuler ?

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 33

Avec quoi simuler ? Un premier débat : plates-formes versus modèles ad-hoc

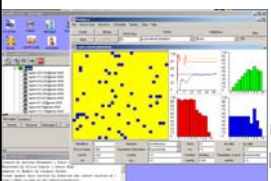
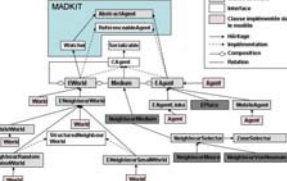
- Certains (plus particulièrement chez les informaticiens) préfèrent réécrire un code spécifique à chaque modèle « *from scratch* », en utilisant éventuellement des bibliothèques de services déjà existants (requête classique)
- D'autres (plus particulièrement chez les « utilisateurs ») aimeraient disposer de moyens intuitifs pour programmer des modèles (langages simples proche du langage naturel, interfaces graphiques intuitives..)
- Entre ces deux extrêmes, de nombreuses solutions sont disponibles autour de notions telles que composants réutilisables, *framework*, plates-formes, meta-langage...



mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 34

Avec quoi simuler ? Différents types de logiciels multi-agents et d'utilisation du multi-agents

- Un *cadriciel* ou *framework* (i.e. *Moduleco*) est une collection d'éléments de conceptions (patterns) et d'implémentations (composants logiciels) en coopération et réutilisables qui permettent de créer des applications.
- *MadKit* fournit un *environnement entièrement orienté agent* basé sur le modèle "AGR", c'est-à-dire des *Agents* jouant des *Rôles* dans des *Groupe*s.
- *Mimosa* est une *méta plate-forme, fondée sur un méta-langage de représentation et de simulation de systèmes complexes* basée sur les notions de *composant* (les éléments), de *composé* (les ensembles d'éléments), et de *relation* (entre composants ou composés)

mars 2006 <http://perso.uni-rennes1.fr/denis.phan> 35