



L'émergence de classes dans un jeu de négociation multi-agents

The emergence of Classes in a Multi-Agent Bargaining Model

Robert Axtell, Joshua M. Epstein, H. Peyton Young

The Brookings Institution, Center on Social and Economic Dynamics

WP N° 9 - Février 2000

<http://www.brookings.edu/es/dynamics/papers/classes/>

Ecole Thématique CNRS d'Agay Roches Rouges 8 - 17 mars 2004

Denis Phan - version du 5 mars 2004 update :

<http://www-eco.enst-bretagne.fr/~phan/AgayComplexiteSHS/dpdocs/EmergenceDeClasse.pdf>

Systèmes
Complexes
en SHS

ministère
jeunesse
éducation
recherche
ministère délégué
recherche et nouvelles
technologies

CNRS
CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



L'émergence de classes dans un jeu multi-agents

- Les mots clefs : « émergence », « classes »
 - **Dynamique formelle** (trajectoires, attracteurs et bassins d'attraction, stabilité, perturbations, dynamiques transitoires...)
 - **Dynamique « sociale »** (régimes, crises, croyances, efficacité, équité, groupes sociaux, identificateurs sociaux...)
- Motivation : étudier les déterminants « **génératifs** » (Axtell) ou « émergents » de la **formation de groupes** ou de « classes » parmi des joueurs (au sens des « jeux de population »), ainsi que la **pérennité** de tels **groupes** dans le temps (« **équilibres ponctuels** »)
- Résultat : souligner le rôle - non trivial - des « signes » extérieurs dans le processus.



Première partie

- I - Le jeu de négociation : « **Jeu de partage** »
- II - Le processus du « **Jeu de population** »
- III - La représentation graphique de l'état des croyances des agents dans un simplexe
- IV - Hétérogénéité interactionnelle et norme sociale
- V - Deux régimes avec agents avec un type d'agents
- VI - Transition entre régimes
- VII - Intermède : retour sur la dynamique formelle; brisure d'ergodicité

Seconde partie

- VIII - Le modèle avec deux types d'agents (« *tag model* »)
- IX - Equité inter et intra groupes
- X - Formation de classes
- XI - Rappel sur l'émergence
- XII - Discussion



Le jeu de négociation : « 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) > « **Jeu de partage** »
- Combien y a-t-il d'équilibre de Nash en stratégie pure ?
- Problème : faire « émerger » un équilibre des interactions décentralisées entre agents (jeu de population de type « *random pairwise* »)

	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



Le processus du « Jeu de population »



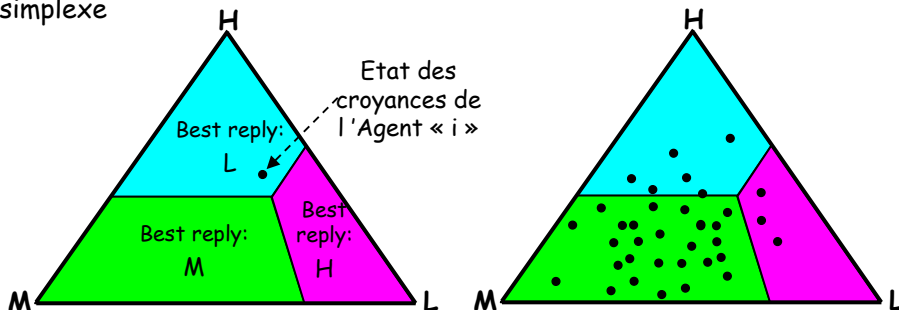
- A chaque pas de temps les agents (en nombre N) sont appariés aléatoirement « *random pairwise* ») et jouent le « *jeu de partage* »
- avec une probabilité $1 - \epsilon$
 - Les agents choisissent la stratégie qui correspond à leur meilleure réponse a leur croyance (anticipation) sur la demande.
- avec une probabilité ϵ
 - Les agents choisissent leur stratégie aléatoirement avec équi-probabilité : $(1/3)$; (erreur, expérimentation consciente, imitation...)
 - ils dévient donc de leur meilleur réponse avec une probabilité : $(2.\epsilon)/3$
- La *croyance des agents* sur la demande correspond à la moyenne des fréquences observées pour les différentes stratégies lors des m dernières confrontations (où m est la « *longueur de la mémoire* »)
- Les agents choisissent la stratégie qui maximise leurs gains (leur « *meilleure réponse* ») conditionnellement à leurs anticipations. Si plusieurs stratégies ont un gain anticipé équivalent, il choisissent aléatoirement avec équi-probabilité



Représentation graphique de l'état des croyances des agents (hétérogénéité interactionnelle) dans un simplexe



- A chaque période, l'état d'un agent i peut être assimilé à ses croyances sur les stratégies jouées dans la population. Il peut être représenté par un triplet $S^i = (p^i, q^i, 1-p^i-q^i)$ qui correspond à la fréquence moyenne des stratégies (H, M, L) observées sur la période mémorisée de taille m
- Ces croyances sont le produit de l'histoire de ses rencontres passées (hétérogénéité interactionnelle « historique »), limitée à cette période m .
- Cet état des croyances de l'agent peut être représentées sur un simplexe



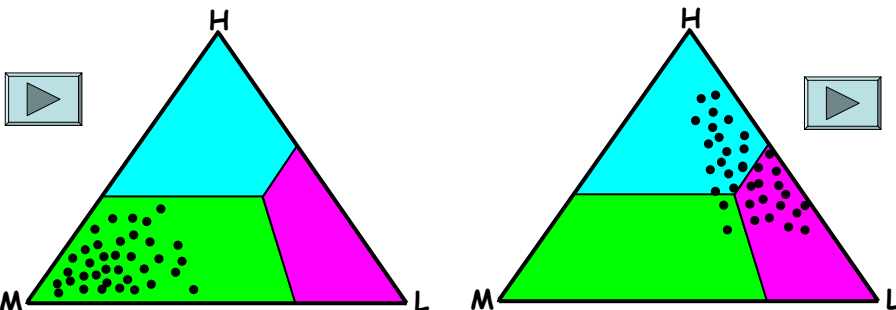


- L'hétérogénéité des agents dépend (1) de leur **état initial** et (2) de leur **expérience personnelle**, bornée par la longueur m de leur mémoire.
- Il y a **hétérogénéité interactionnelle** dans la mesure où l'**histoire des interactions diffère entre les agents**.
- Un **état social** S est une matrice $(N \times 3)$: $S = (p^s, q^s, 1-p^s-q^s)$ qui contient les croyances des agents sur le comportement de leurs opposants.
- Dans ce modèle, une **norme sociale** est un **état auto-entretenu dans lequel la mémoire des agents** (et donc leur comportement de « meilleur réponse » **resterait inchangée**, si certains agents ne déviaient pas aléatoirement (avec une probabilité $(2.8)/3$).
- Une telle « norme sociale » est un **phénomène émergent des interactions**.



Deux régimes avec agents avec un type d'agents

- « **norme équitable** » (domination des interactions « M - M »)
 - **régime avec turbulence** « *fractionous state* ». Dans ce régime, les agents peuvent changer de comportement, et migrer entre zones d'attraction, car il n'existe de signal « saillant » pour les fixer dans un comportement « passif » (L) ou « agressif » (H).
- M n'est jamais la « meilleur réponse » pour un joueur qui n'a jamais rencontré d'autres joueurs qui jouent M. Ce régime, inéquitable et inefficent, peut persister sur des périodes arbitrairement longues (AEY ont simulé la persistance d'un tel régime sur 10^9 périodes)



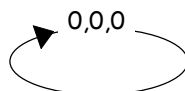
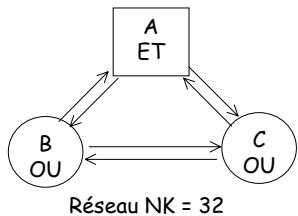


- On distingue 4 états dynamiques relativement à la « norme » ainsi définie
 - Un état stable « *équitable* » de *partage égalitaire* (M-M) et *efficient* : pas de classes. On peut montrer que dans le cas où les agents ne peuvent être distingués par des signes extérieurs c'est l'équilibre unique du jeu
 - Deux états stable *discriminatoires* mais *efficients*, (H-L) et (L-H) dont l'émergence est associée à l'existence de signaux socialement saillants, avec *émergence de classes*
 - Un état « *turbulent* » non efficient, où aucune norme ne parvient à prévaloir.
- L'état initial est aléatoire, autour du point d'indifférence entre les 3 stratégies
- En l'absence de tag et en fonction de l'état initial et des hasards des rencontres, le système peut évoluer vers l'un des deux états « *équitable* » et « *turbulent* »

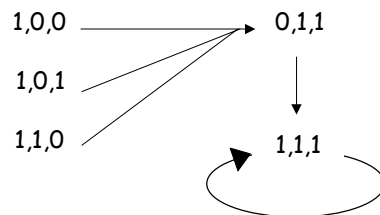
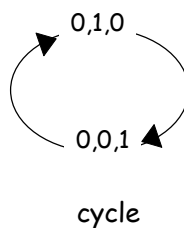


Intermède : retour sur la dynamique formelle (1)

- Attracteurs, bassin d'attraction, point fixe...
(automates booléens « NK » cf. Gérard Weisbuch)

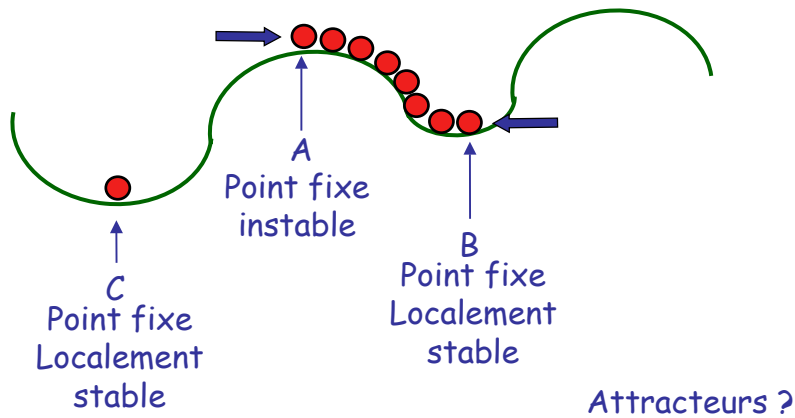


Graphe d'itération du réseau NK = 32



Intermède : retour sur la dynamique formelle (2)

- Attracteurs, bassin d'attraction, stabilité et perturbation dans un système continu *déterministe*



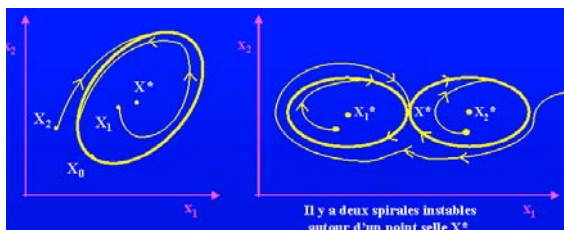
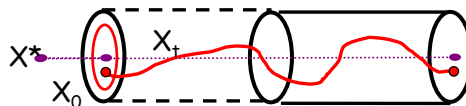
mars 2004

denis.phan@enst-bretagne.fr Ecole CNRS d'Agay Systèmes Complexes pour SHS

11

Intermède : retour sur la dynamique formelle (3)

Stabilité au sens de Lyapounov

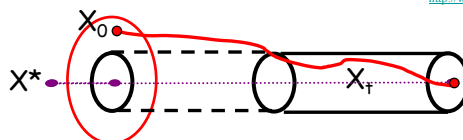


Cycles limites

Stabilité asymptotique

Attracteurs de Lorenz

<http://www-eco.enst-bretagne.fr/~phan/complexo/lorenz.htm>



mars 2004

denis.phan@enst-bretagne.fr Ecole CNRS d'Agay Systèmes Complexes pour SHS

12



Distribution asymptotique des états et probabilités ergodique (1)



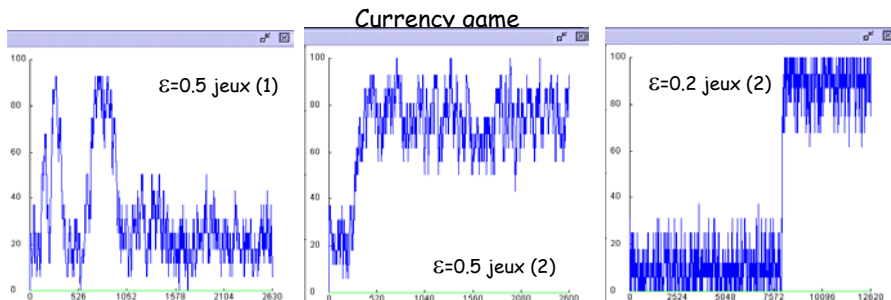
- Caractérisation intuitive de l'ergodicité : un processus est dit « **ergodique** » lorsque que son comportement asymptotique (à long terme) est indépendant de la trajectoire suivie antérieurement par ce processus, en particulier de ses conditions initiales.
- Un échantillon « suffisamment grand » des réalisations de ce processus sera une « bonne approximation » de la *distribution invariante des probabilités ergodiques* (loi des grands nombres dans les chaînes de Markov).
- Lorsqu'il n'y a pas d'ergodicité, il peut y avoir des « **états absorbants** », c'est à dire des régions dont on ne sort pas, et des trajectoires vers ces états dépendant des conditions initiales (Urne de Polya)



Distribution asymptotique des états et probabilités ergodique (2)



- Il existe des systèmes ergodiques qui possèdent des régions de l'espace des états où il peuvent rester de très longues périodes.
- Les temps de transition d'un régime à un autre peuvent alors être très longs). On dit que ces systèmes ont la propriété de *briser l'ergodicité relativement à la dimension temporelle*. C'est le cas du modèle de AEY.





transition entre régimes brisure d'ergodicité

- Dans le modèle de ARY, si m et N/m sont « suffisamment grands » et ϵ petit, la **probabilité ergodique** de se trouver dans la **région « équitable »** est significativement plus élevée que celle de se trouver dans la région avec **turbulences**.
- Fig. 4: le temps d'attente croît de manière exponentielle avec la longueur de m

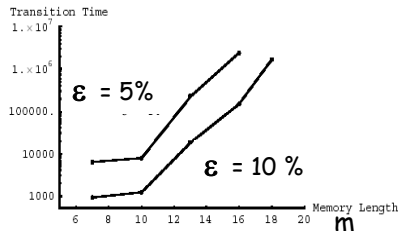


Figure 4: Transition time between regimes as a function of memory length, $N = 10$, various ϵ

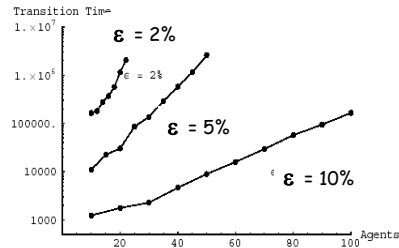


Figure 5: Transition time between regimes as a function of population size, $m = 10$, various ϵ

Temps de transition entre régimes

source : Axtell, Epstein, Young (2000)



transition entre régimes brisure d'ergodicité

- La « norme équitable » est « *stochastiquement stable* » (Foster, Young, 1990) ; si m est grand, l'*inertie* (temps d'attente pour atteindre ou pour quitter ce régime) peut être très importante, en particulier pour la transition du régime instable à la « norme équitable ».
- Il y a « brisure d'ergodicité ». En particulier, pour des valeurs de la mémoire m supérieures à 10, le temps de transition entre régime peut atteindre une durée irréaliste pour des systèmes sociaux

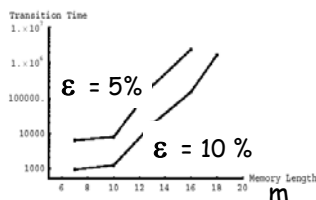


Figure 4: Transition time between regimes as a function of memory length, $N = 10$, various ϵ

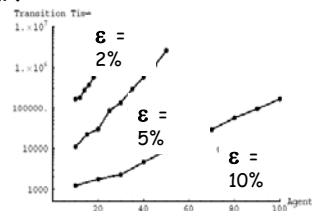


Figure 5: Transition time between regimes as a function of population size, $m = 10$, various ϵ



Résumé

- Des choix individuels qui peuvent dévier aléatoirement de la « meilleure » réponse aux croyances des agents créent du « bruit » dans le système, empêchant ainsi l'existence d'états « parfaitement » *absorbants* (dont on ne sort pas).
- Il y a deux états possibles dans ce système :
 - la *norme équitable* (efficiente et équitable)
 - le *régime avec turbulence* (non efficiente et inéquitable)
- Ces deux états sont **fortement persistants** et pour une mémoire suffisamment longue des agents, il y a « **brisure d'ergodicité** » car le temps de transition devient arbitrairement long
- On peut donc se trouver dans des situations où il est matériellement impossible à une société d'agents décentralisés d'atteindre l'équilibre efficient de la norme équitable dans un temps raisonnablement court.



Le modèle avec deux types d'agents (« *tag model* »)

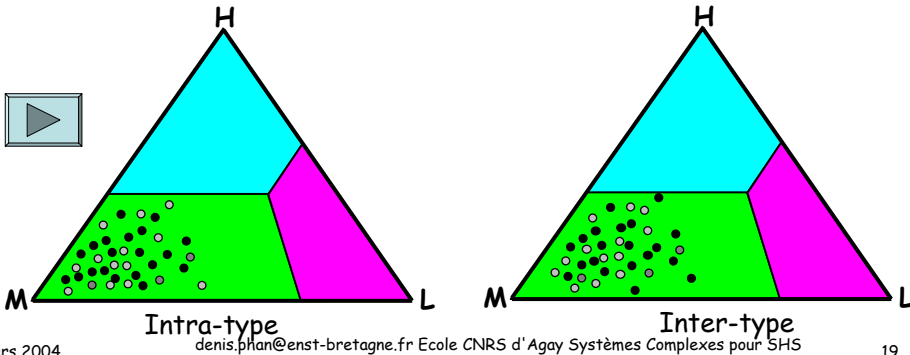
- On suppose maintenant que les agents ont une « *étiquette* » (un signe extérieur observable) qui leur permet d'être identifié (**gris-clair** et **noir** par exemple).
- AEY supposent que, bien que ce signe n'ait *aucune signification intrinsèque* (il est complètement dénué de sens : *completely meaningless*), les agents mémorisent le **signe des opposants qu'ils ont précédemment rencontré et calculent le comportement moyen correspondant à chaque étiquette**.
- Dans ce modèle à deux types, les caractéristiques précédemment observées peuvent maintenant se manifester **entre les types**, comme **à l'intérieur d'un type**
- on définit ainsi des comportements (et des équilibres) ***inter-groupes* et *intra-groupes***.



Equité (1) : inter et intra groupes

- Les figures ci-dessous représentent deux états distincts de la mémoire des agents :
 - à gauche, les croyances relatives aux confrontations *intra types* (**gris** contre **gris** ou **noir** contre **noir**)
 - à droite les croyances relatives aux confrontations *inter-types* (**gris** contre **noir**)

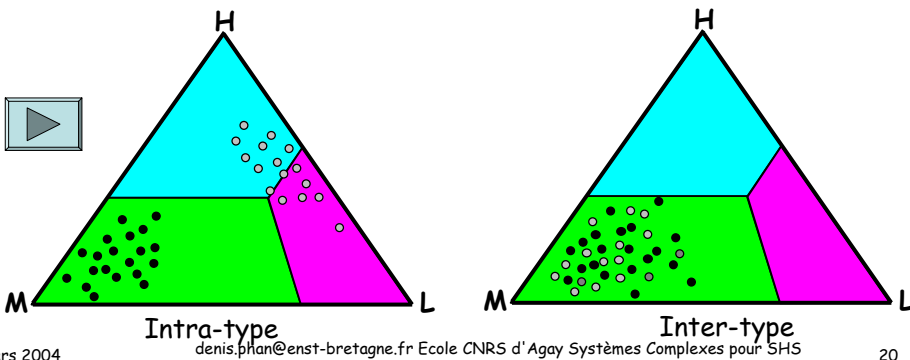
$N = 100$ agents, $m = 20$ et $\varepsilon = 20\%$ $t = 150$



Equité (2) : inter mais non intra-groupes

- Partant de conditions initiales différentes, il y a toujours équité inter-groupe, mais non équité intra -groupe (turbulence).
- Les **noirs** sont toujours équitables
- Les **gris** ne sont pas équitables entre eux, leurs croyances « intra » sont dans la zone de turbulence

$N = 100$ agents, $m = 20$ et $\varepsilon = 20\%$ $t = 150$

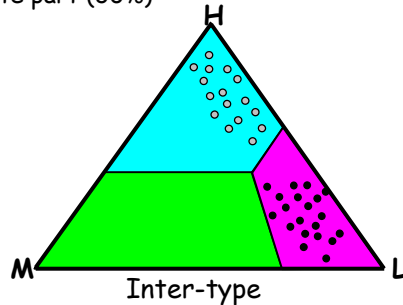
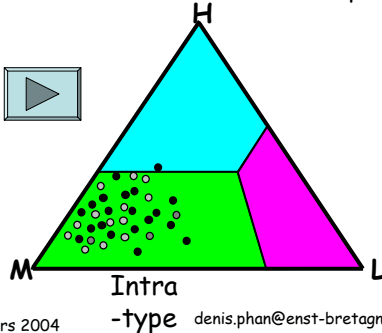




Formation de classes

- La formation de « classes » (par définition) correspond à des croyances et un comportement équitable intra-groupe, mais à un comportement 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 2004

denis.phan@enst-bretagne.fr Ecole CNRS d'Agay Systèmes Complexes pour SHS

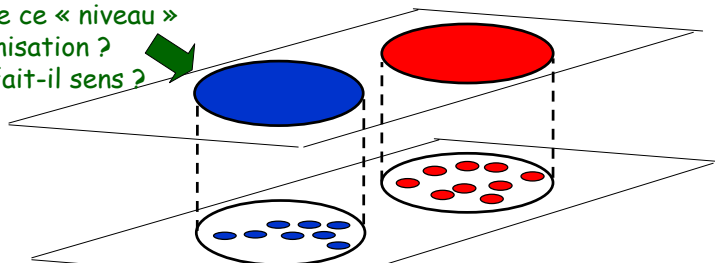
21



(rappel 1) émergence ontologique ?

- Dans un système hiérarchisé de complexité croissante, on qualifiera d'**émergent** un phénomène ou une entité qui trouve son origine au niveau antérieur.
- Exemple 1 : si je prends des entités élémentaires chlore (Cl) et le sodium (Na) et que je les fais « interagir », je peux obtenir des cristaux de sel (NaCl) qui sont des « entités » émergentes de niveau d'organisation supérieur
- Exemple 2 : dans le modèle de Axtell, Epstein, Young, la formation de « classes » est un phénomène « émergent(e) » des interactions locales entre les joueurs. Dans quelle mesure les « classes » sont-elles une « entité » sociale émergente qui fait sens ? Pour qui ? Les joueurs ? L'observateur ?

Où se trouve ce « niveau »
d'organisation ?
Pour qui fait-il sens ?



mars 2004

denis.phan@enst-bretagne.fr Ecole CNRS d'Agay Systèmes Complexes pour SHS

22



(rappel 2) Émergence : 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 (2000) 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.



Discussion

- Résultats : souligner le rôle - non trivial - des « signes » extérieurs dans le processus : apparition d'équilibre ponctués (régimes), transition entre régimes, stabilité des régimes...
- Extensions : rendre le signalement endogène
- Enjeux : émergence forte > auto-identification par les agents de la formation de « régularités » → réduction de la complexité, rétroaction sur le processus
- Problème(s) : de la « formation de groupe » à la « conscience sociale ? »