



## *Validations de simulations individus-centrées*

Ecole Thématique CNRS de Porquerolles :  
Modélisations et simulations multi-agents de systèmes complexes  
pour les Sciences de l'Homme et de la Société :  
principes et méthodes de conception et d'usage

<http://perso.univ-rennes1.fr/denis.phan/PorquerollesXAgents/>

Amblard Frédéric

IRIT-UT1

[frederic.amblard@univ-tlse1.fr](mailto:frederic.amblard@univ-tlse1.fr)



## Plan de l'école

- Penser le monde en agents ...
- Formalisation de modèles (DEVS)
  - ... implémentation
- Explorer par simulation
- ... Validation du modèle

# Une définition de la notion de modèle

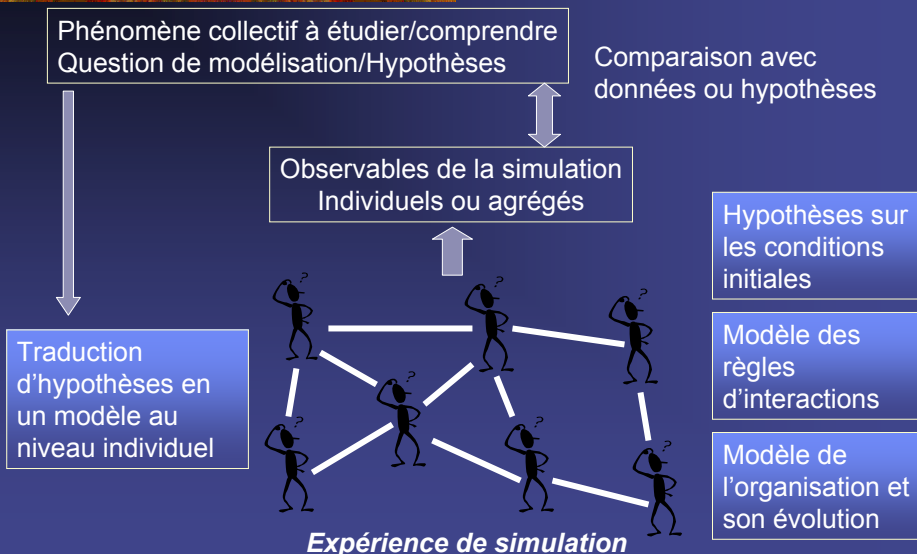
- « *To an observer B, an object A\* is a model of an object A to the extent that B can use A\* to answer questions that interest him about A* »

(Marvin Minsky, 1965)

- Un système cible
- Une question sur ce système
- Construction d'un modèle (abstraction) de ce système pour répondre à la question
- Simulation : le modèle plongé dans le temps
  - Ex. de modèles : Maquette, modèle numérique de diffusion de la chaleur, simulateur de vol

3

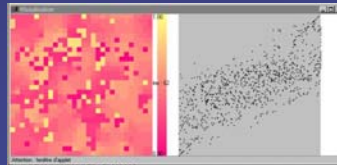
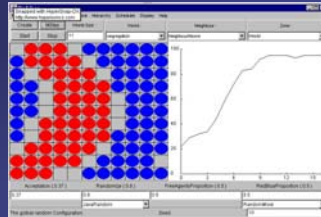
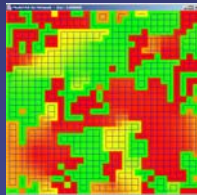
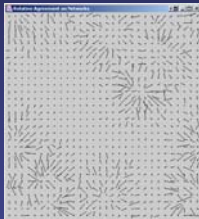
# Modèles individus-centrés (IC)



4

# Pourquoi modéliser ?

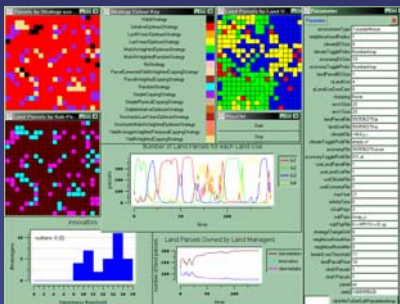
- Pour comprendre
  - Test/élaboration d'hypothèses, simulation prospective
  - Learning by doing ...
  - Formalisation/vérification de théories sociologiques



5

# Pourquoi modéliser ?

- Pour comprendre
- Pour décider
  - Simulation prédictive pour l'aide à la décision
  - Test de scénarios par la simulation
  - Artefacts pour l'aide à la négociation ou gestion coordonnée



6

# Pourquoi modéliser ?

- Pour comprendre
- Pour décider
- Simulation interactive
  - Le jeu (SimCity),
  - L'entraînement, la formation



# Question de modélisation

- Tout modèle commence par une question et un usage qui doivent être explicites dès le départ
  - Pourquoi fait-on un modèle plutôt que rien ou plutôt qu'un recueil ou une analyse de données ?
- La question de modélisation oriente l'abstraction réalisée, la sélection que l'on réalise sur le système cible
- La question oriente également les techniques de validation utilisées
  - A buts différents, techniques de validation différentes

## Prudence...

- Avoir plusieurs buts c'est prendre le risque d'en atteindre aucun
  - prédire vs. comprendre par exemple
- Plus la question de modélisation est vague, plus le processus de modélisation est fluctuant
  - Ex: « Je veux faire un modèle de l'île de La Réunion... » ☺
- Danger de la réutilisation d'un modèle conçu voire validé dans un cadre (par ex. pour comprendre) pour l'utiliser dans un autre (prédire) (ex: Caulerpe)
  - Risque : modèle des jeunes de banlieues <-> modèle de jeunes + modèle de banlieue

9

## Back to basics... J.-M. Legay (1973)

- Valeur des modèles relative à leur but
  - Un modèle est un outil
- Les modèles sont toujours imparfaits
- La validation est une décision/un jugement qui s'appuie sur des critères de validité
  - Dont aucun, pris isolément, n'a de valeur décisive
  - L'ensemble des critères permet de décrire un profil du modèle étudié et de prendre la décision

10

## Les critères de validité

- **Utilité: résultats et succès qu'il entraîne**
  - Ex: Modèle exponentiel des phénomènes de croissance
- **Simplicité (KISS)**
  - La simplicité n'est pas en soi une qualité
  - Nécessaire prise en compte de la complexité de la réalité
- **Universalité/Généricité**
  - Critère non décisif
  - Modèle général peut être inapte à l'étude de phénomènes particuliers
- **Non contradiction**
  - Le modèle doit respecter les relations vérifiées par l'expérience
  - Techniques statistiques pour tester la correspondance (test du  $\chi^2$ )
  - La non contradiction signifie que le modèle n'est pas à repousser, pas qu'il convient encore moins qu'il est le meilleur

11

## Les critères de validité (Legay)

- **Fécondité: conséquences non prévues qu'il entraîne**
  - Utilité = conséquences prévues
- **Convergence**
  - La validité d'un modèle croît avec son usage (i.e. nb d'expériences indépendantes qui le confirme)
- **Stabilité**
  - Insensibilité aux facteurs secondaires
  - Sensibilité aux facteurs primaires
  - C'est cette sensibilité sélective qui fait du modèle un bon instrument d'exploration et de mesure
- **Non identité**
  - Un modèle est efficace parce qu'il diffère du sujet

12

## Des critères (définitions) propres aux modèles informatiques

- Vérification: est-ce que le logiciel (le modèle) implémenté correspond aux spécifications (au modèle que l'on voulait implémenter), i.e. sans bugs (Validation interne)
- Validation: est-ce que le logiciel livré correspond aux attentes des utilisateurs ?
  - Question de l'usage des modèles
- Calibration: quelles sont les zones de l'espace des paramètres dans lesquelles le modèle a les propriétés attendues (précisées lors de la conception)

13

## Des particularités propres aux Simulations IC?

- KISS => KIDS (ex: Algo Gén.)
- Explicitation des mécanismes au niveau micro
- Compréhension/caractérisation de régularités au niveau macro
- Simulation vs. modèle analytique
- Modèles stochastiques vs. déterministes

14

## Résumé

- Question de modélisation
- La validation comme décision/jugement
  - A défaut de preuves on travaille sur des indices de la validité du modèle
  - Critères de validité
- Ensemble de méthodes et techniques pour parvenir à prendre la décision: « Mon modèle est-il valide ? »

15

## Démarche expérimentale pour les modèles IC

- Modèles IC
  - Représentation explicite des individus et de leurs interactions
  - Comportements globaux difficilement déductibles directement des dynamiques individuelles
  - Modèles étudiés au niveau collectif
- Expérimentation
  - Automatisation des expériences
  - Modèle ouvert à l'expérience
  - Mesures sans biais
  - Besoin d'indicateurs sur la dynamique globale (non spécifiés a priori)

16

## Vers des laboratoires virtuels ...

- Si on prend alors le modèle comme objet d'étude
  - Il faut adopter une approche expérimentale pour le comprendre
  - Construire le laboratoire virtuel
    - Indicateurs (mesures)
    - Faciliter la construction et la réplication d'expérience (paillasse)
    - Faciliter le déroulement des expériences (accélérer)
    - Méthodologie de plans d'expérience
  - Construire des modèles du modèle pour en comprendre le fonctionnement
    - Aspects multi-modélisation
    - Articulation entre paradigmes (formalismes ou points de vue)

17

## Outils pour la prise en compte du graphe d'interactions

- Dynnet :
  - Génération de graphes
  - Visualisation
  - Analyse et mesure



18

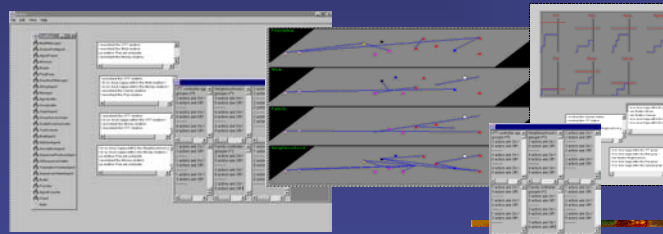
# Visualisation de dynamiques d'opinions



19

# Intégration de modules de génération à des simulations

- A partir d'un espace géographique virtuel
- A partir d'un espace géographique réel
  - Département de l'Allier
  - Breadalbane (UK)
- Simulation de la formation de réseaux multiplexes

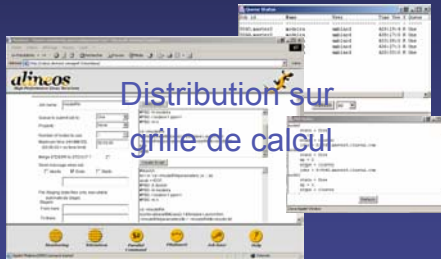


20

# SimExplorer



Prototype pour la gestion des plans d'expériences



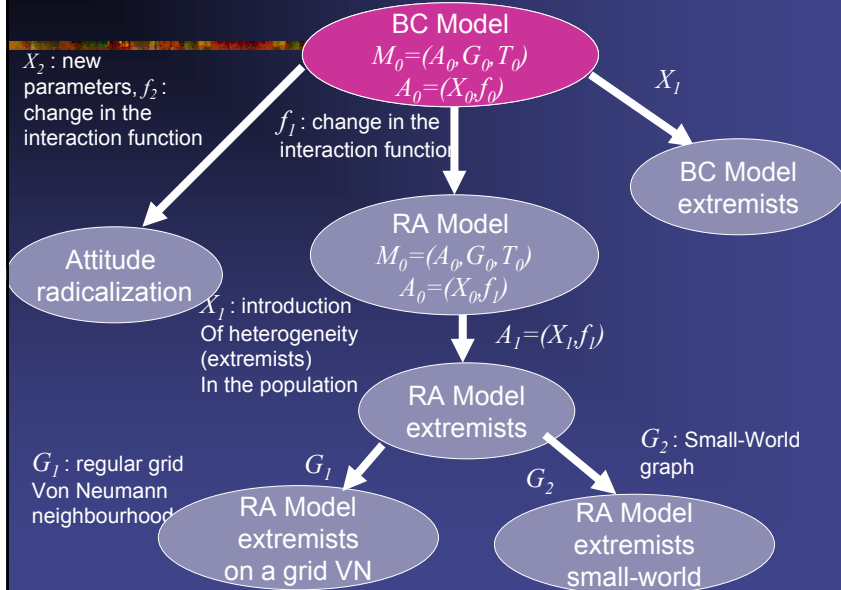
21

## Un critère de validation : définition d'un processus cohérent de M & S

- Processus Vérification, Validation et accréditation de la SCS, McLeod Institute, introduction de normes qualités en simulation
- Ex: Modèle IMAGES => extraction du modèle de dynamiques d'opinions
- Objectif: Comprendre le fonctionnement de ce sous-modèle
  - Cadre: test d'hypothèses, simulation prospective, i.e. comprendre l'implication des hypothèses réalisées et les corriger

22

## Hierarchy of opinion dynamics models



23

## BC Model

- $A_0$ 
  - $X_0$ : Uniforme distribution of the opinions
  - Same uncertainty for every agent
- $G_0$ : complete graph
- $T_0$ : random sampling of graph relations
- $f_0$ : If  $|x - x'| < d$  then
 
$$\delta x = \mu(x' - x)$$

$$\delta x' = \mu(x - x')$$

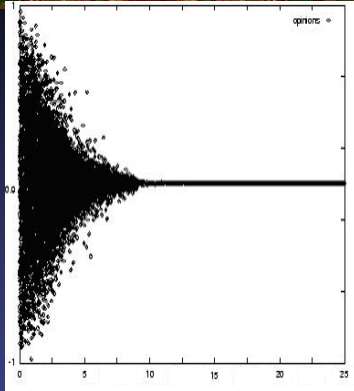
Deffuant, G., Neau, D., Amblard, F. et Weisbuch, G., "Mixing Beliefs Among Interacting Agents", Advances in Complex Systems, vol.3, n°1, pp.87-98.

Weisbuch, G., Deffuant, G., Amblard, F. et Nadal, J.-P., "Meet, Discuss and Segregate!", Complexity, vol.7, n°3, pp.55-63.

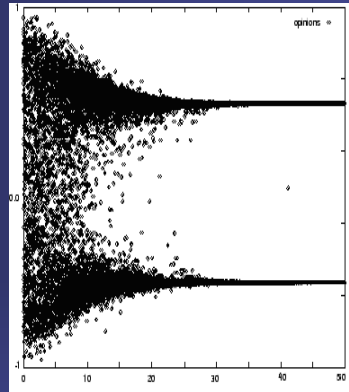
Weisbuch, G., Deffuant, G., Amblard, F. et Nadal, J.-P., "Interacting Agents and Continuous Opinions Dynamics", Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol.521, pp.225-

244

## Uniform initial distribution on a segment with a width $D$



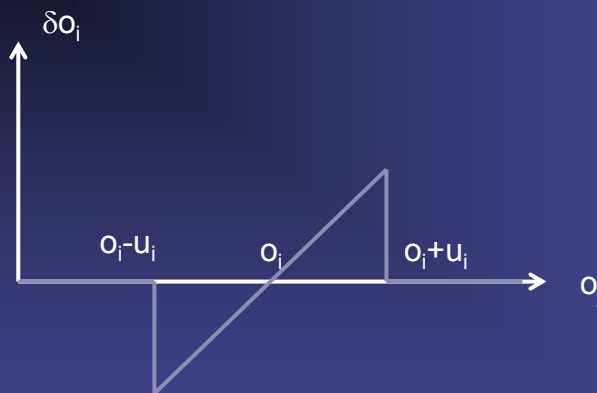
$$[D/2d]=1$$



$$[D/2d]=2$$

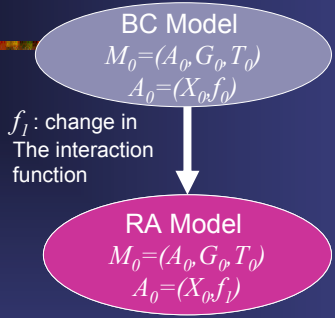
25

## The main problem of the BC model: the influence function



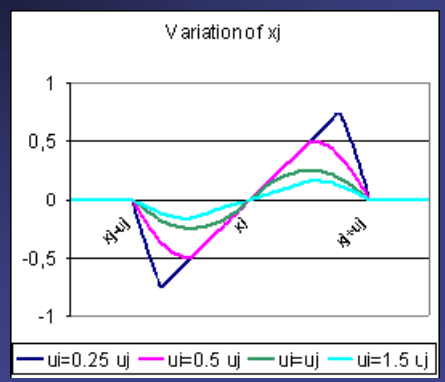
Inconsistency at the micro-level  
Interest for having « good-looking » functional forms

26

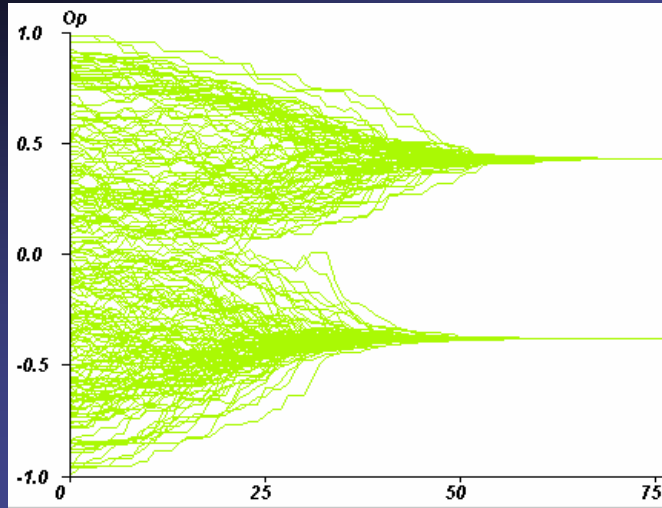


## Continuous influence

*No more sudden decrease of the influence*

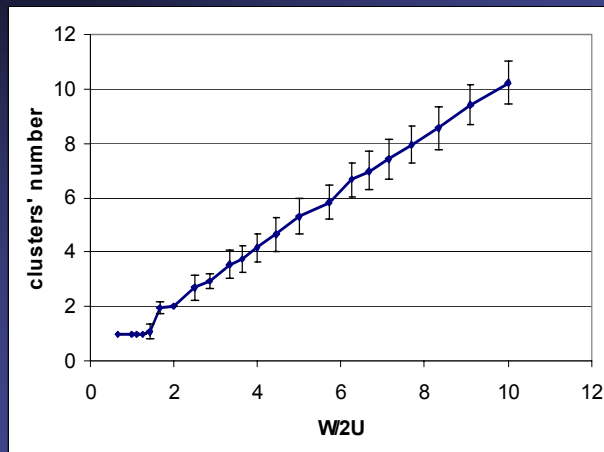


## Results with init. $u = 0.5$ for every agent

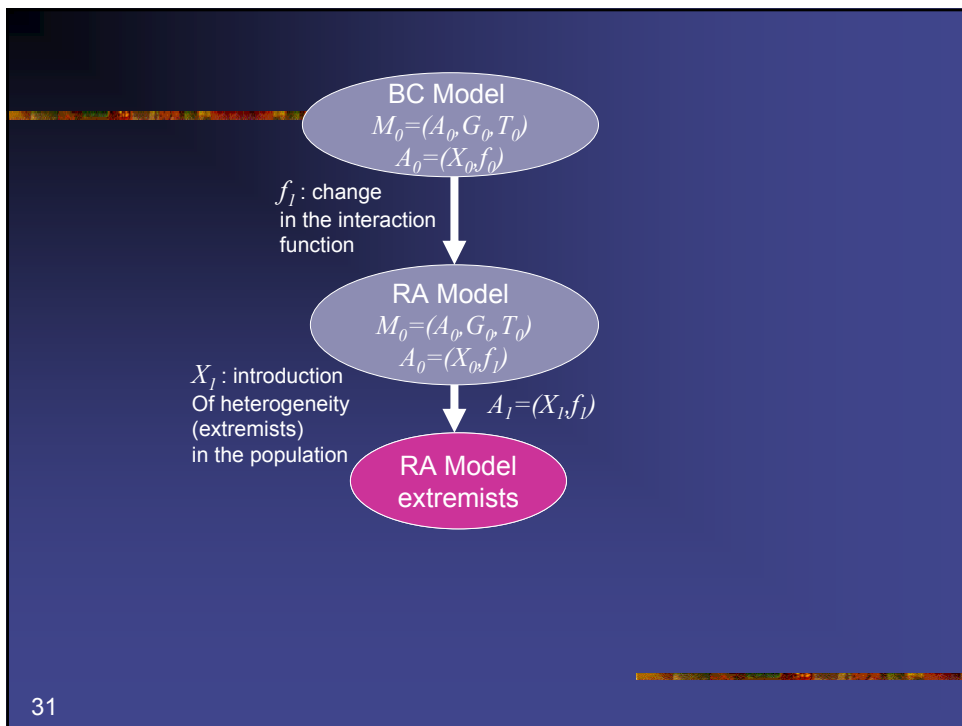


29

## Variations of the clusters number depending on $u$ ( $r^2=0.98$ )

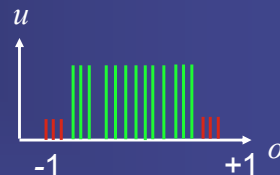


30



## Introduction of extremists in the RA model

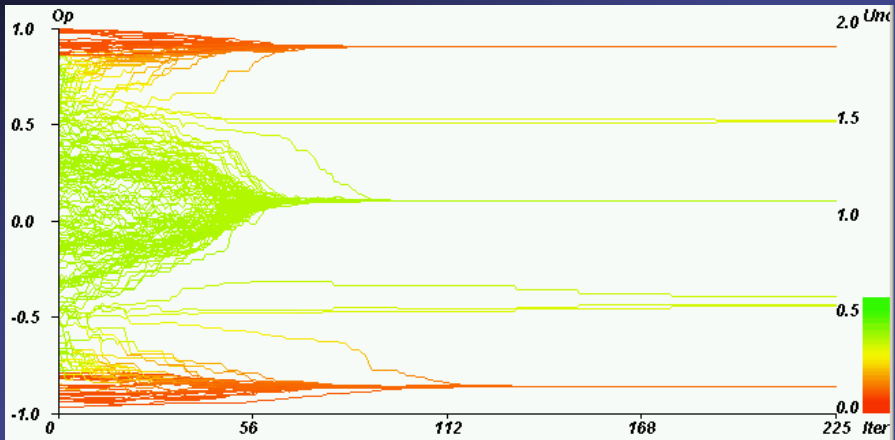
- $X_0$  : uniform distribution of the opinions, same uncertainty for every agent
- $X_1$  : uniform distribution of the opinions, heterogeneity of the uncertainty: two sub-populations
  - Extremists (at the extremes of the opinion distribution) lower uncertainty  $ue$
  - Moderates uncertainty  $U$
- New parameters in the model:
  - $U$  : initial uncertainty of the moderated agents
  - $ue$  : initial uncertainty of the extremists
  - $pe$  : initial proportion of the extremists



Deffuant, G., Amblard, F., Weisbuch, G. et Faure, T., "How can extremism prevail? A study based on the relative agreement model", Journal of Artificial Societies and Social Simulation, vol.5, n°4.

## Central convergence

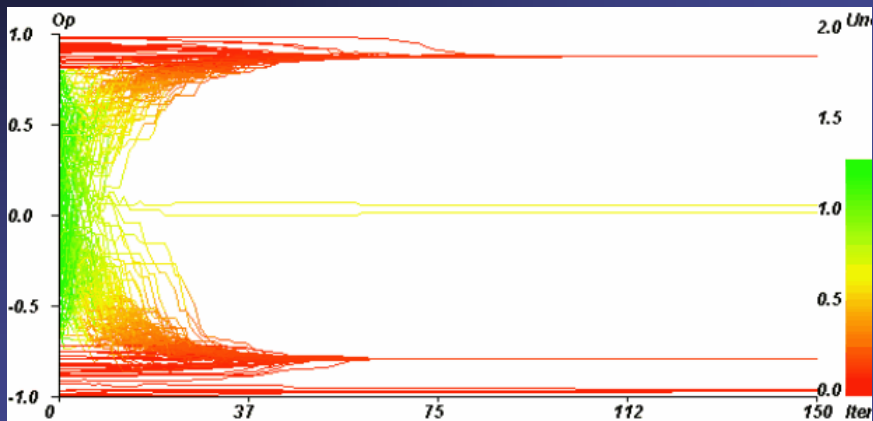
( $p_e = 0.2, U = 0.4, \mu = 0.5, u_e = 0.1, N = 200$ )



33

## Both extreme convergence

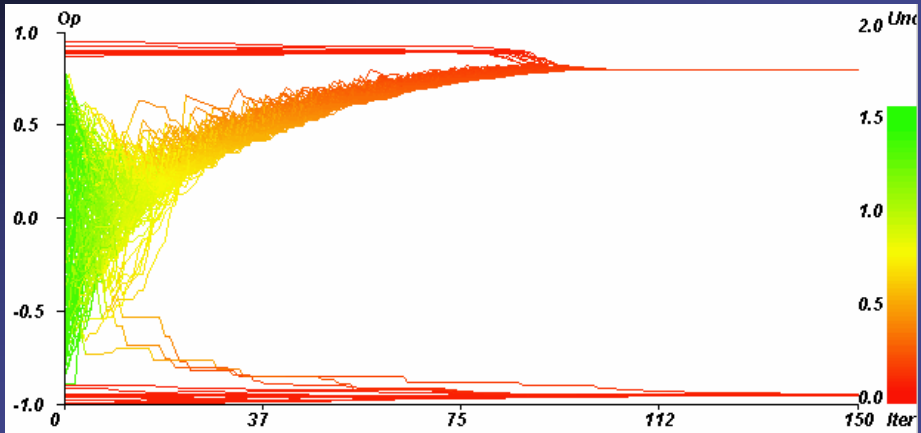
( $p_e = 0.25, U = 1.2, \mu = 0.5, u_e = 0.1, N = 200$ )



34

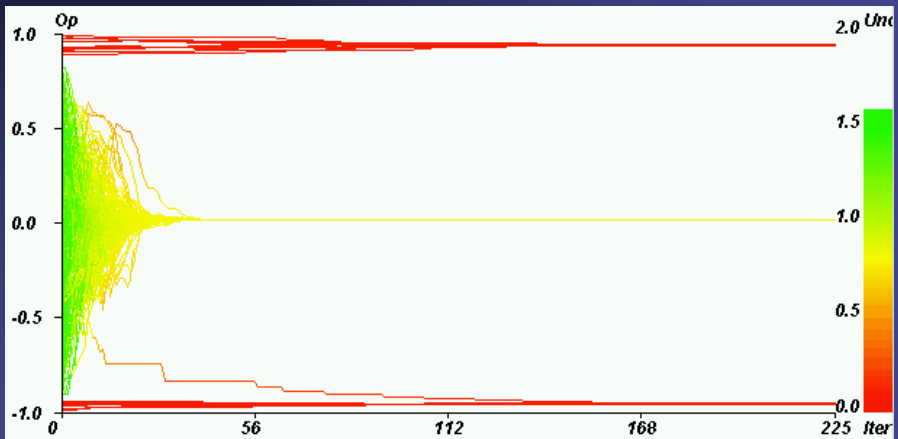
## Single extreme convergence

( $p_e = 0.1, U = 1.4, \mu = 0.5, u_e = 0.1, N = 200$ )



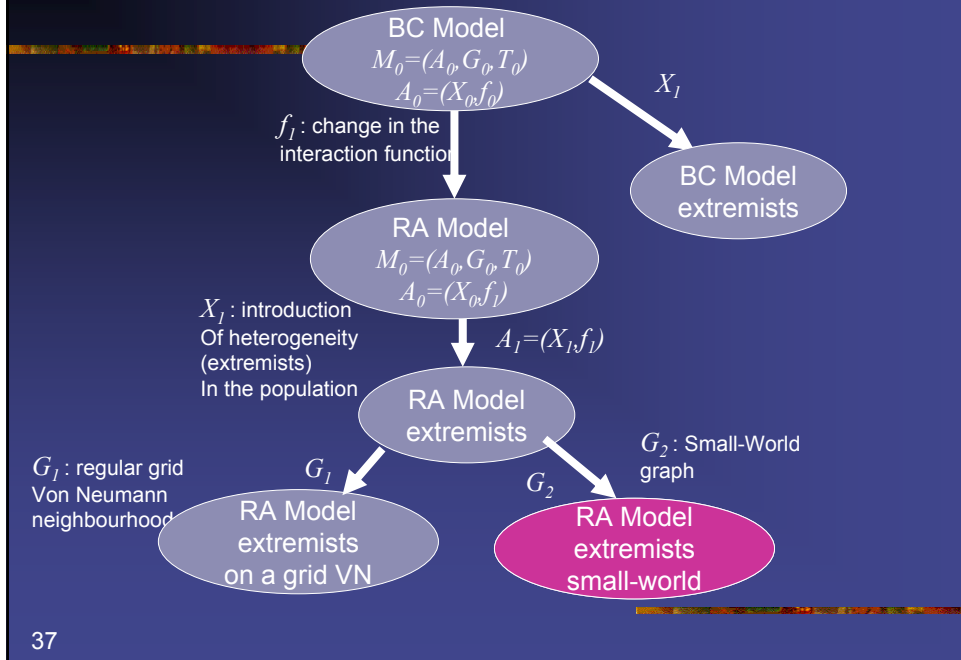
35

## High sensitivity of the dynamics: for the same parameters, central convergence



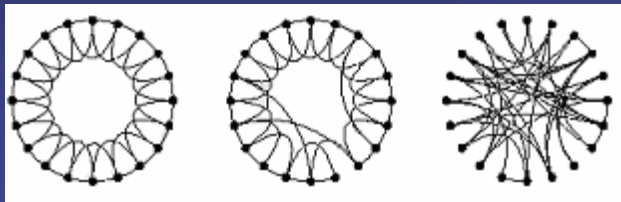
36

## Hierarchy of opinion dynamics models



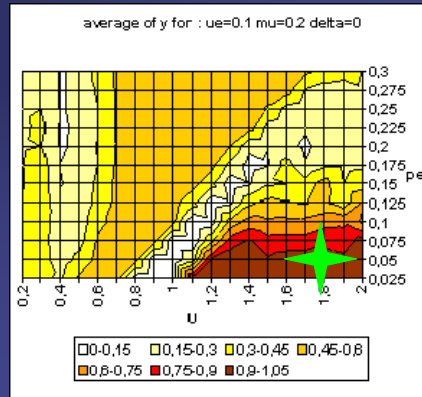
## Small-World Model (Watts)

- $G_2$ : starting with a regular structure with connectivity  $k$  we add a noise  $\beta$
- Enable to have many graphs from regular (low  $\beta$  on the left) to random ones (high  $\beta$  on the right) plating also with connectivity

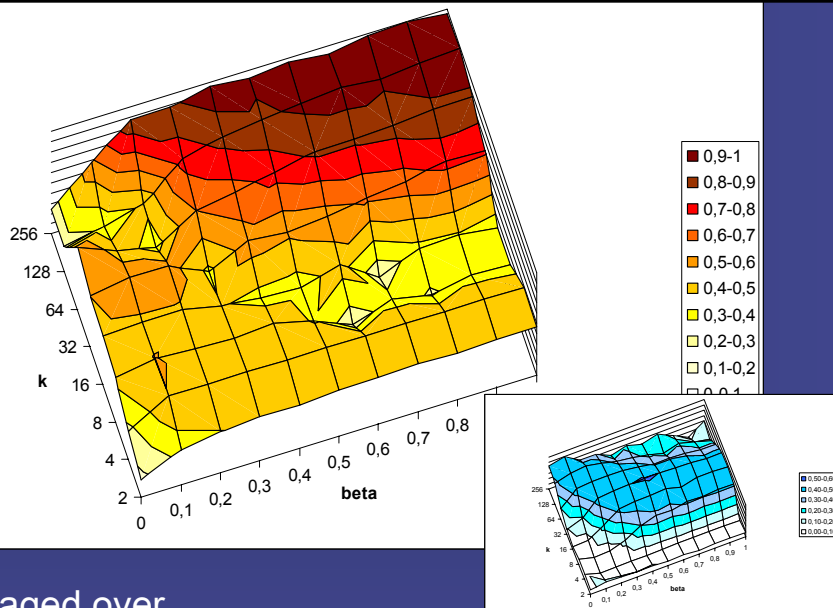


- For a given point in the space  $(U, pe)$  corresponding to a single extreme convergence ( $U=1.8, pe=0.05$ )

- We make vary the average connectivity  $k$  and  $\beta$

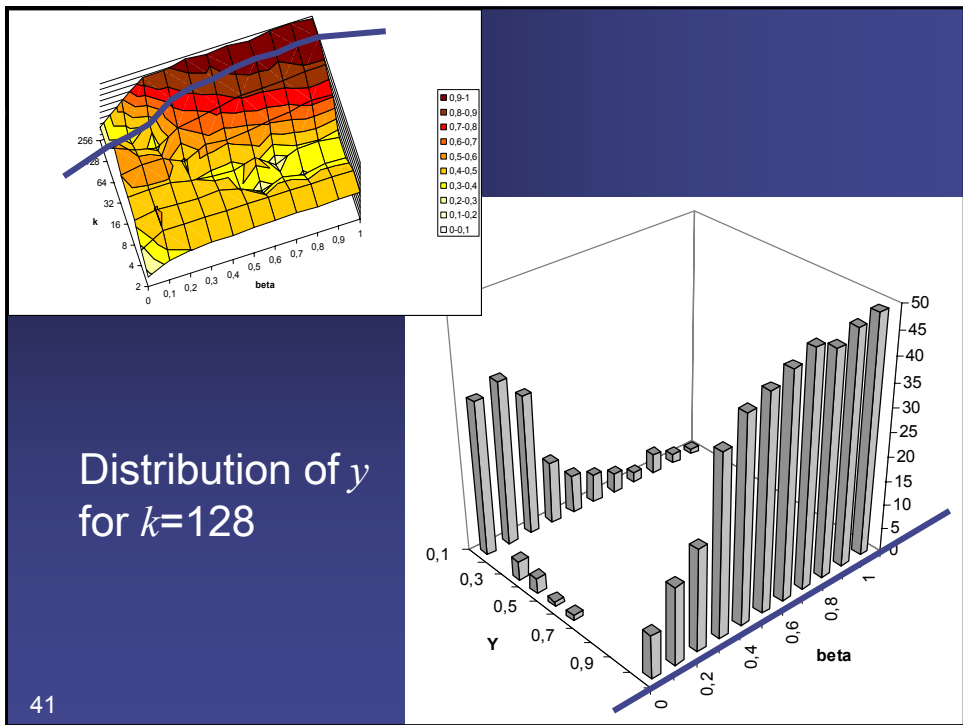


39

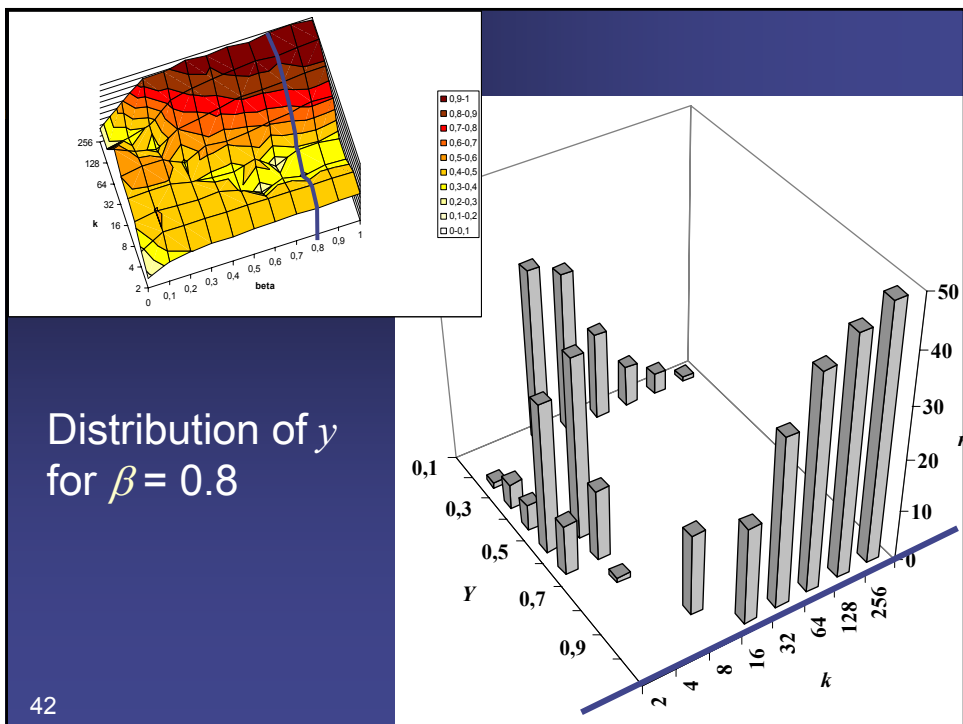


$y$  averaged over 50 replications for each couple  $(\beta, k)$

40



41

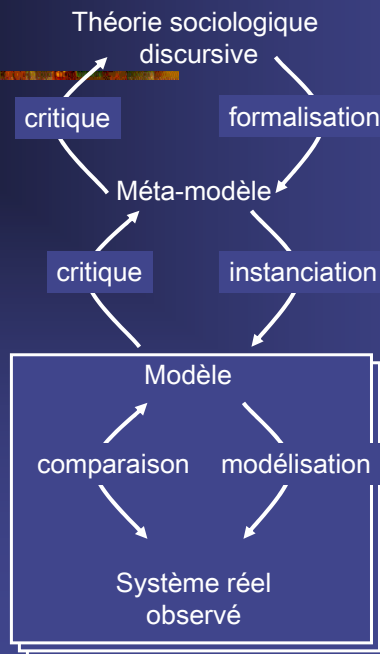


42

## Cas n°2 (Matthias Mailliard, Pascal Pons, C. Sibertin-Blanc, P. Roggero)

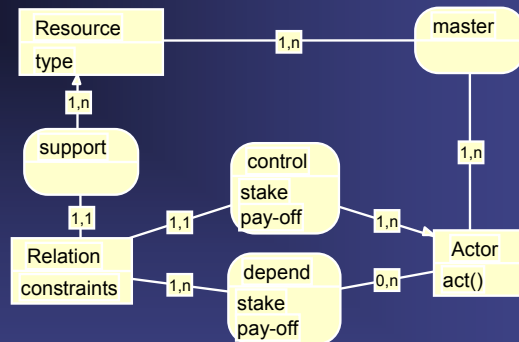
- Formalisation de la SAO (Crozier & Friedberg) pour une critique de la théorie discursive existante

43



44

## The structure of Concrete Action Systems



### An entity-relationship model

with the French placement of cardinalities: a Relation is controlled by 1 and only 1 Actor

45

## Cas n°3 Choix scolaires en situation d'interaction (Gianluca Manzo)

- Analyse statistique de la mobilité sociale sur des bases italiennes et française sur 40 ans
- Observation de régularités
- Volonté par la simulation de tester la plausibilité de certains mécanismes générateurs

46

## Modélisation des choix scolaires en situation d'interaction

### Fonction d'utilité sous-jacente aux système 'multi agent'

$$U_{dig} = \alpha * \{ [1 / \ln(NP_d)] * Ro_d \} + \beta * \{ \ln(e + NP_d / 1000) * Rs_{dig} \} - \gamma * \{ (e^{NR} / 1 + e^{NR}) * C_{ig} \} + \lambda * 1 / NV_i * \sum_v U_{vi}$$

$i$  = acteur i-ème ;  $g$  = groupe social d'origine (4 groupes) ;  $d$  = niveau scolaire auquel il s'agit de s'inscrire ou pas.

$U_{dig}$  = utilité de l'individu i-ème issu du groupe social  $g$  pour le diplôme  $d$  : si  $U_{dig} > 0$ , alors 'inscription' ; si  $U_{dig} < 0$ , alors 'non inscription'.

$NP_d$  = nombre de possesseurs du diplôme  $d$ .

$NR$  = nombre de redoublement que l'individus à collectionné aux niveaux scolaires précédents.

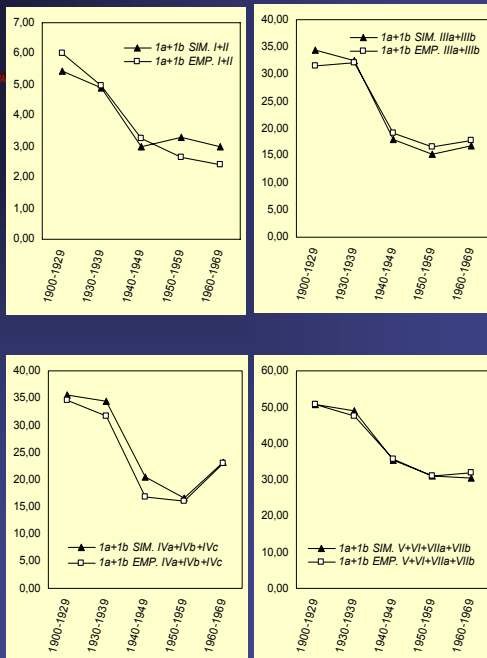
$Rod$  = rentabilité objective du diplôme : pouvoir d'achat du diplôme  $d$  pour atteindre position socioprofessionnelle la plus élevée ('Cadres').

$Rsig$  = rentabilité subjective du diplôme  $d$  pour l'individu i-ème issu du groupe social  $g$  : évaluation subjective de l'importance que  $d$  à pour lui en vue de l'obtention d'une position socioprofessionnelle au moins similaire à celle d'origine.

$Cig$  = coûts (matérielles et immatériels) que le diplôme  $d$  a pour l'individu  $i$  issu du groupe social  $g$ .

$NVi$  = nombre de voisins (individus avec qui est en contact) de l'individus  $i$ .

$Uvi$  = utilité des voisins de l'individu  $i$  pour le diplôme  $d$ .



## Plan du cours

- Introduction
- La validation
  - Validation à dire de ... (experts/acteurs)
  - Validation par comparaison de modèles docking
  - Validation par comparaison des sorties aux données
  - Validation structurelle

49

## Critère à dire d'experts / d'acteurs

- Critère supplémentaire
- Comparaison entre une perception du comportement de la simulation et une représentation du système réel par l'expert ou par l'acteur
- L'opérateur de comparaison peut être détenu par le modélisateur
- Utilisation de jeux de rôle comme interface entre acteurs et simulation (Commod Barreteau)

50

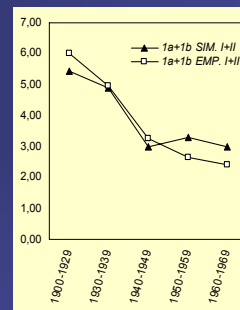
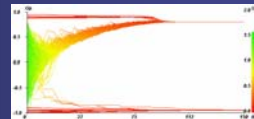
## Idéalement adaptation du Test de Turing

- Un acteur ou un expert devant un ordinateur dont l'écran rend compte en utilisant la même interface
  - Du comportement du système réel
  - Du comportement de la simulation
- Si l'acteur ne peut distinguer statistiquement la simulation du système réel
  - On pourrait dire qu'il est validé selon ce critère
- Problèmes posés par la démarche
  - Subjectivité de l'évaluation
  - Problème de l'interface... (courbes ... interface réaliste ?)

51

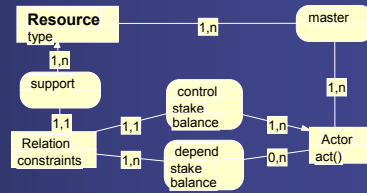
## Quid de mes cas

- Expert/Acteur et dynamique d'opinions
  - Expert retrouve t'il dans les phénomènes collectifs stylisés une certaine similarité avec la réalité ?
- Idem pour Choix scolaires



52

## Cas n°2 SAO



- Création d'un jeu « équivalent » Bière / Tapas
- 2 joueurs, chacun à un bout d'une table, l'un proche des tapas, l'autre proche du fût de bière
- Chacun a une préférence quantifiée pour bière ou tapas
- Quelle stratégie de coordination se met en place sachant que l'on peut, en plus d'échanger pour obtenir satisfaction, revendre le surplus à la fin du jeu (but secondaire) ?
- Jeu qui permet de tester la cohérence du framework (le jeu a-t-il une structure cohérente) + les hypothèses réalisées sur le comportement des acteurs (apprentissage de la coordination en utilisant des systèmes de classifieurs)

53

## Plan du cours

- Introduction
- La validation
  - Validation à dire de ... (experts/acteurs)
  - Validation par comparaison de modèles docking
  - Validation par comparaison des sorties aux données
  - Validation structurelle

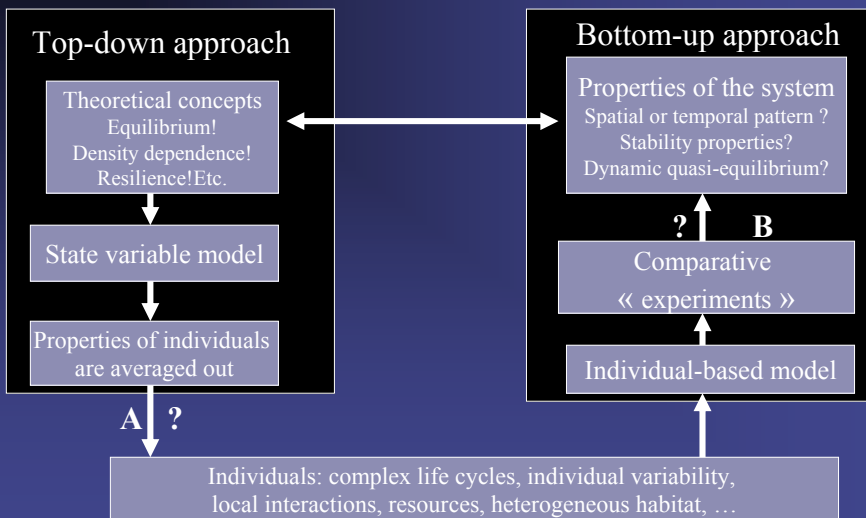
54

# Comparaison de modèles

- Volker Grimm en écologie : les modèles IC doivent s'inscrire dans un cadre similaire aux modèles classiques pour en faciliter la comparaison
  - Les modèles classiques sont validés jusqu'à un certain point par les données expérimentales
  - Les modèles IC apportent en plus une explication possible des phénomènes au niveau micro
  - Pb: il s'agit souvent de comparer des modèles utilisant des formalismes et des approches différentes
  - Ex: modèle agrégé et modèle IC
- Pratique du docking: Axelrod, Riolo Cohen
- Pratique de la réplique de modèles (B.Edmonds, D.Hales, Workshops M2M)

55

## IBM doit faire référence au cadre de l'écologie classique (en écologie)



56

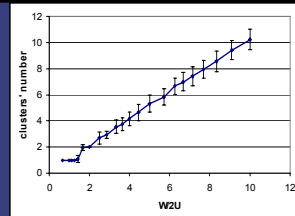
## Comparaison de modèles

- En partant d'un modèle
  - Le reprogrammer dans le même langage
  - Dans un autre langage
  - En utilisant un autre paradigme de modélisation
- Comparer ce qui est comparable (sorties du modèle au niveau individuel, au niveau agrégé, etc...)
- Travailler sur les similarités/dissimilarités

57

## Cas n°1 IMAGES

- Premier programme en Java
- Reprogrammé quatre fois en Java
- Reprogrammé en C (G.Weisbuch), Matlab, ...
- Utilisation de schémas d'intégration pour déterminer la relation entre nb de clusters et U (Nadal & Weisbuch)
- Utilisation d'un autre formalisme équation maîtresse
  - Permet de trouver un élément important du modèle (les clusters se forment en partant des extrêmes)



58

## Plan du cours

- Introduction
- La validation
  - Validation à dire de ... (experts/acteurs)
  - Validation par comparaison de modèles docking
  - Validation par comparaison des sorties aux données
  - Validation structurelle

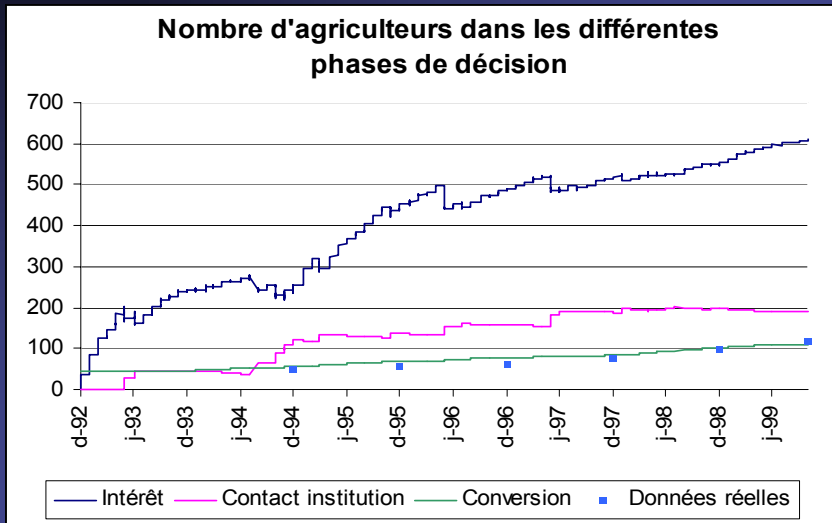
59

## Comparaison des sorties aux données

- Problème de disponibilités des données...
- Et de la réplication des tests (différents jeux de données indépendantes...)
- Quelle précision est acceptable ?
  - But du modèle
- Quel niveau de données ?
  - Macro
  - Micro
- Quels outils ?
  - L'œil
  - Comparaison séries de données, test du  $\chi^2$ , etc...

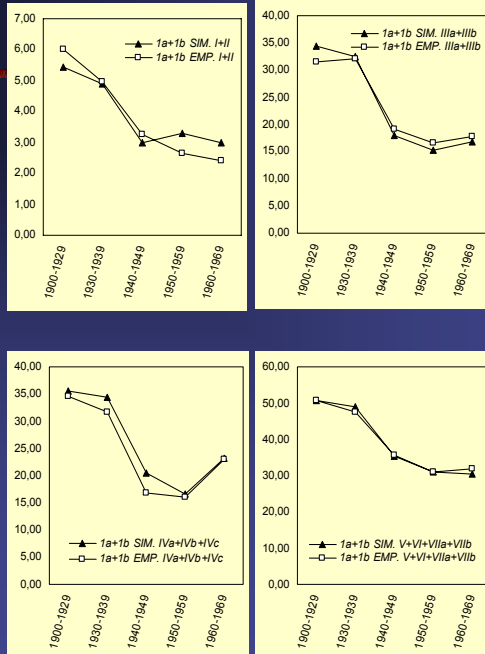
60

# Comparaison du résultat qualitatif / données i.e. à vue d'œil



61

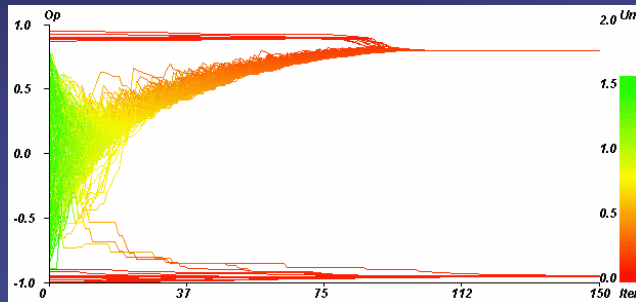
## Cas n°2



62

## Comparaison de données micro

- Comparaison de trajectoires individuelles
  - On dispose de trajectoires empiriques ...
  - Est-ce que l'on retrouve dans la configuration organisationnelle retenue des trajectoires approchantes, à quelle fréquence...

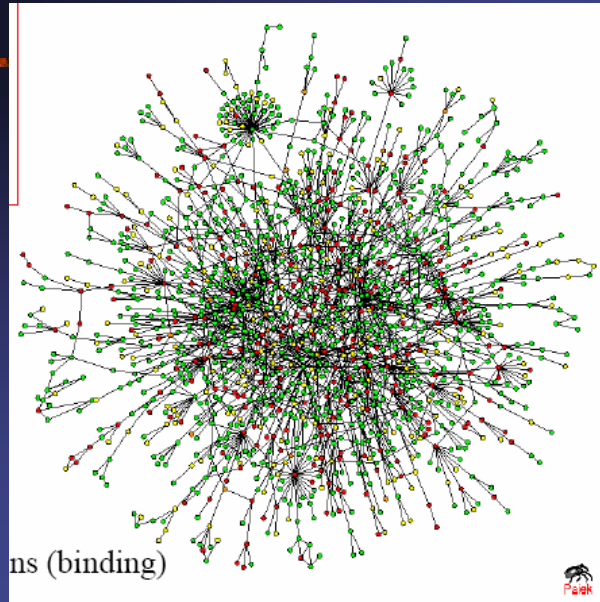


63

## Petits problèmes de comparaison: les réseaux sociaux

- Comment juger de la similarité entre réseaux
  - Niveau agrégé : indicateurs (nb de liens, densité, diamètre...) équivalents
  - Quid de la variabilité non-structurale des nœuds?
    - Ex: on associe une opinion et une incertitude à chaque nœud

64



65

## Résumé validation par comparaison aux données

- Imaginons
  - On a un modèle qui semble correspondre aux données empiriques au niveau micro
  - Et au niveau macro
  - Les sorties sont de plus relativement similaires à celles d'un autre modèle agrégé
- Est-on sûr que l'on n'a pas obtenu de bons résultats mais pour de mauvaises raisons ?

66

## Validation structurelle

- Test des hypothèses réalisées (au niveau individuel, mais aussi organisationnel et au niveau des interactions)
- Validation interne (vérification) : est-ce bien le modèle que le modélisateur a en tête?
- Vérification formelle (Réseaux de Pétri, méthodes B, Z, Z-DEVS)
- Le modélisateur est-il en moyen de faire cette vérification (en maîtrise-t-il bien tous les aspects) ?
- Test de l'individu/agent isolé (entrées empiriques => quel comportement ou quelles sorties)

67

## La batterie de tests terminée

- Ou même avant... on peut porter un jugement...
- Va-t-il durer..? Peut-être pas ...

68

## Des modèles qui n'ont pas besoin de validation ou si peu...

- Le modèle pour poser le problème (artefact)
  - Provoquer la discussion
  - Conduire à la négociation
- Le processus de modélisation comme aide à l'organisation synthétique des connaissances
  - La comparaison des points de vue sur le monde
  - L'enrichissement des connaissances de chacun
- Grimm: critère pour les bons modèles: une fois implémentés ils ne sont plus utiles
- Processus sur ou autour du modèle >> objet « modèle »
  - Le modèle pourrait être validé dans ce cadre par rapport au objectifs du processus (capacité à provoquer le discours ou réalisme du modèle ou de l'interface graphique)
  - L'objet modèle dans ce cadre n'a pas vocation à être réutilisé
  - Il n'est pas nécessaire de valider le modèle...
  - Il pourrait être nécessaire de valider le processus



69

- La présentation de la validation sous forme de critère ou indices pour permettre la décision ferme un peu la discussion ...
- Mais place aux questions ...

70