

La simulation multi-agent (Agent Based Simulation) Partie 1

Suppose une certaine connaissance des systèmes multi-agents

Jacques Ferber

**LIRMM - Université Montpellier II
161 rue Ada
34292 Montpellier Cedex 5**

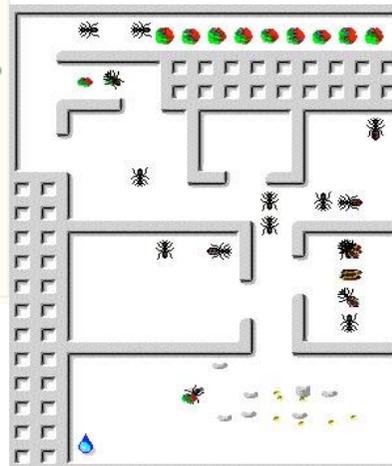
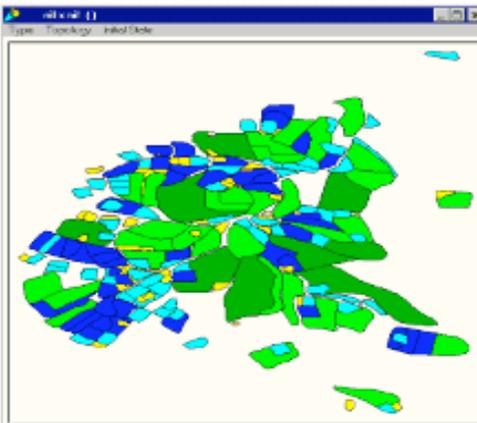
**Email: ferber@lirmm.fr
Home page: www.lirmm.fr/~ferber**

Version 1.0 Janv. 2009



Objectifs

Analyse, conception et développement de systèmes de modélisation et de simulation multi-agents



Suite naturelle des cours:

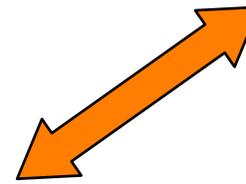
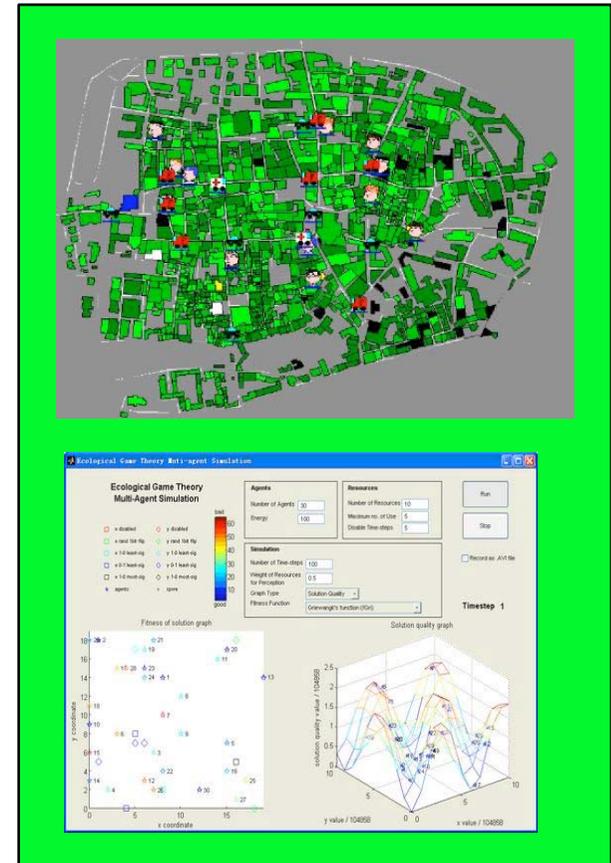
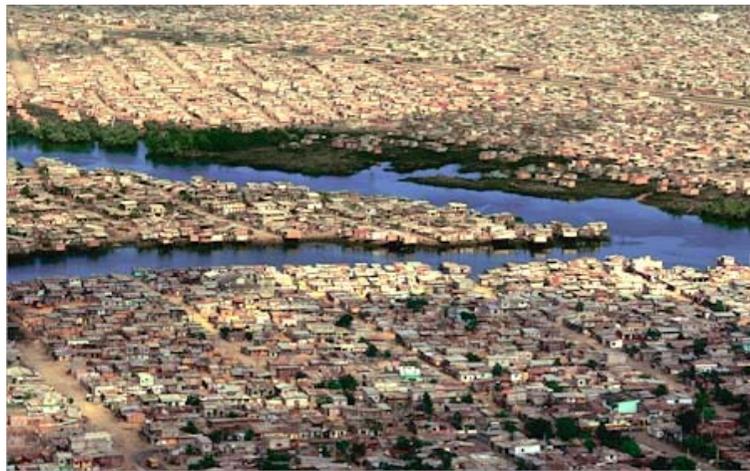
- 1. (207) Progr. Orientée agent**
- 2. (313) Moteurs de jeux (IA des Jeux)**
- 3. (327) Cognition individuelle et collective (option)**



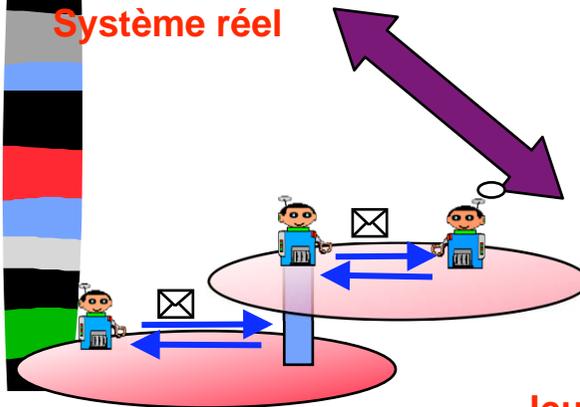
Processus de modélisation

- Modéliser et simuler un phénomène naturel, économique, social, ou “éco-socio-naturel”

Simulation



Systeme réel



Jeu





Impact dans l'industrie du film

From <http://www.massivesoftware.com/showcase/film/>



Eragon



Charlotte's Web



X-Men: Last Stand



**Harry Potter:
Order of the Phoenix**



**Fellowship of the
Ring (1st Trilogy)**



Flags of Our Fathers



I, Robot



King Kong



**Two Towers
(2nd in Trilogy)**



**Pirates of the
Caribbean: World's End**



Ratatouille



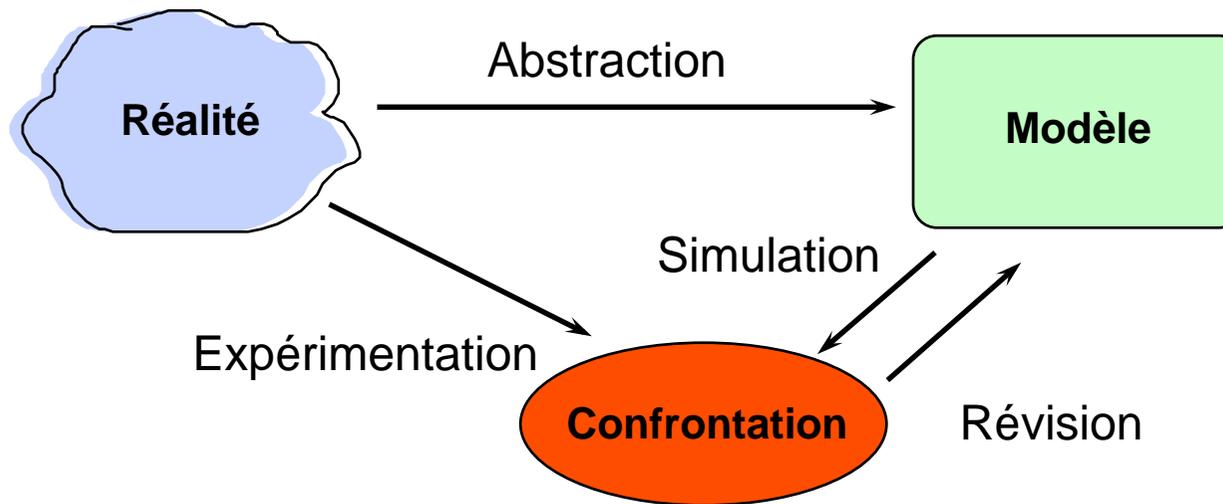
**Night at
the Museum**



Simulation

➤ **Simuler = reproduire un phénomène afin de**

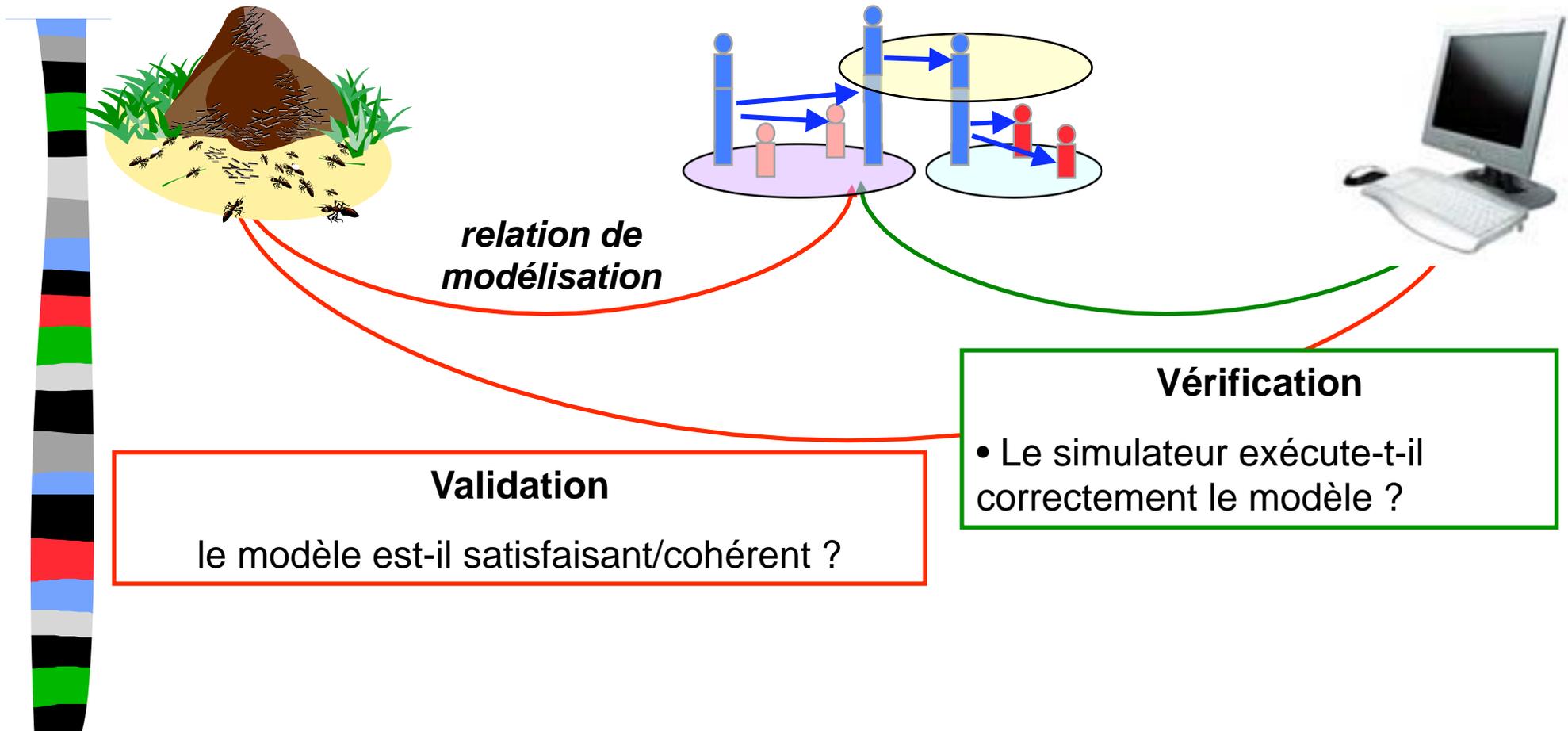
- ☞ Tester des hypothèses permettant d'expliquer le phénomène (définition d'un modèle)
- ☞ Prévoir l'évolution du phénomène





Simulation informatique

phénomène $\xrightarrow{\text{modélisation}}$ modèle $\xrightarrow{\text{implémentation}}$ simulation





Simulations classiques

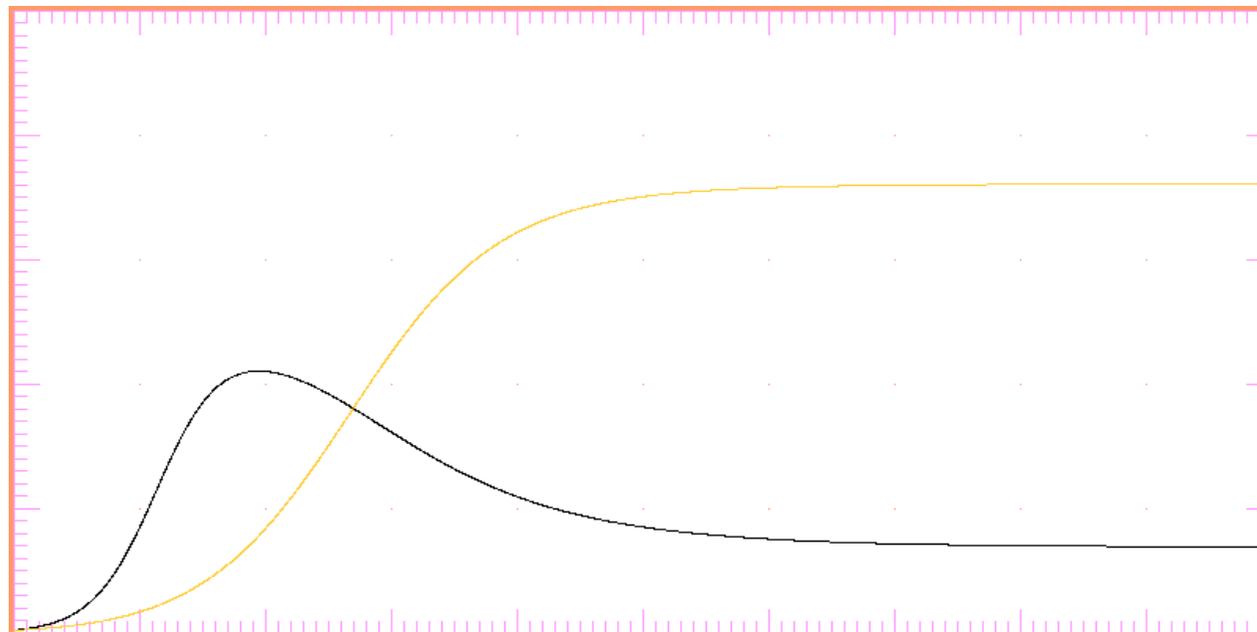
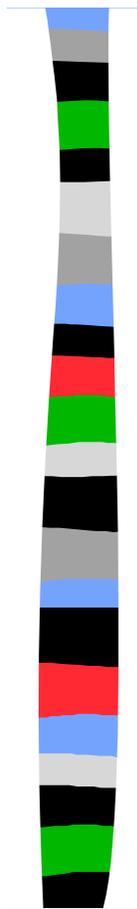
• exemple:

[Lokta 25]
[Volterra 26]

$$\frac{dx}{dt} = gx - kxy$$

$$\frac{dy}{dt} = ckxy - dy,$$

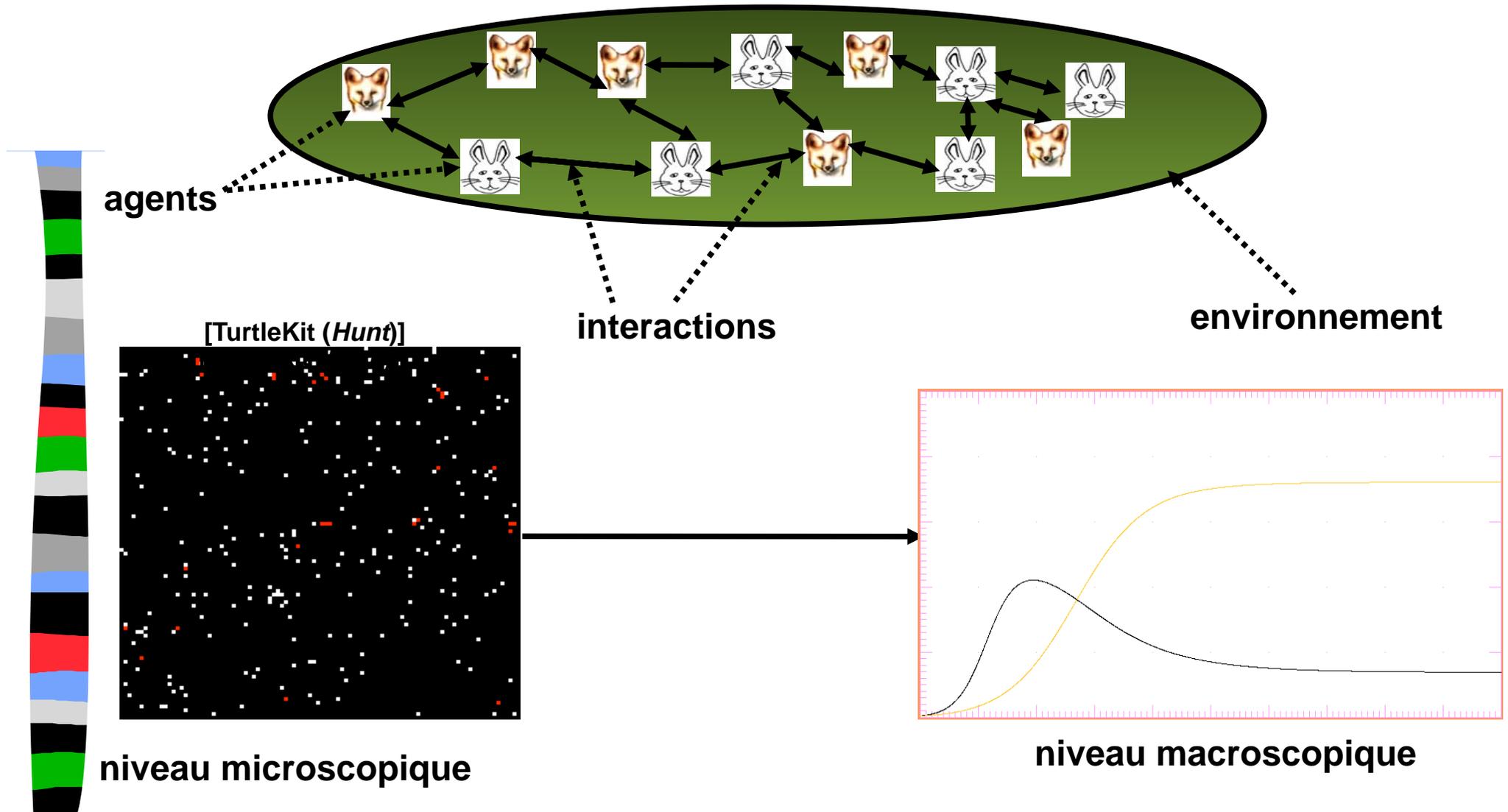
- x = nombre de proies
- y = nombre de prédateurs
- k = taux de prédation
- ...



niveau macroscopique



Simulations de Systèmes Multi-Agents (SMAs)





Limites des modèles classiques

- **Modèle équationnel à très grand nombre de paramètres (parfois difficiles à interpréter)**
- **Difficulté pour passer du niveau micro au niveau macro**
- **Difficulté (voire impossibilité) de représenter les comportements (prédation, rituels d'accouplement, acquisition de nourriture, etc..)**
- **Ne représente pas les comportements mais les résultats des comportements (nombre de descendants, quantité de nourriture absorbée, etc..)**
- **Ne permet pas de comprendre les structures spatio-temporelles et sociales (ex: structures de bancs de poissons, files de fourrage chez les fourmis, spécialisation, hiérarchies sociales)**



Agent Based Models

- ◆ **Modèles orientés agents**
- ◆ **Premiers travaux début des années 90**
- ◆ **A pris un développement considérable ces dernières années**
- ◆ **Revue:**
 - **Journal of Artificial Societies and Social Simulations:**
☞ <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS.html>



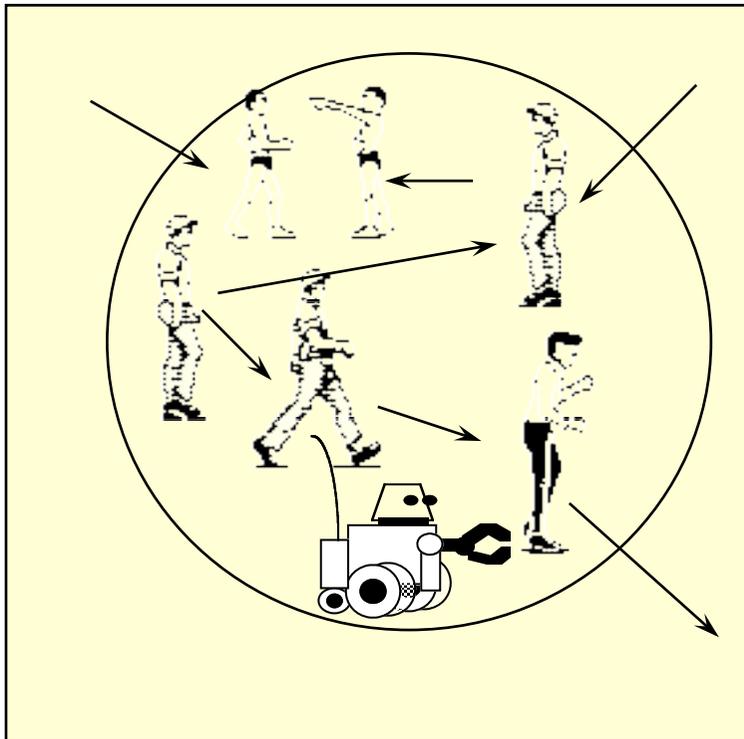
Idée

- 1) Utiliser des modèles centrés sur les entités et leurs interactions*
- 2) Considérer que la dynamique générale du système est issue des interactions entre ces entités*



Systemes multi-agents

**Systeme multi-agent =
population d'agents autonomes en interaction**



**Métaphore de
l'organisation sociale**

**Met l'accent sur l'action
et l'interaction**



Systemes multi-agents

Vie artificielle

Intelligence Artificielle Distribuée

**Systemes
multi-agents**

Vie artificielle:

- Analyser, étudier et reproduire les mécanismes qui permettent la vie: **autonomie, adaptation, évolution**
- Comprendre les processus qui permettent l'apparition de **structures émergentes**

Intelligence Artificielle Distribuée:

- Concevoir des logiciels et résoudre des problèmes en considérant des **sociétés d'entités informatiques autonomes (agents)**
- Etudier et définir des mécanismes permettant la **coordination d'action, la coopération, la négociation, l'allocation de tâches distribuée**, etc...



Simulation multi-agents

- **Créer un monde artificiel composé d'agents en interaction**

- **Chaque agent est décrit comme une entité autonome**

Le comportement des agents est la conséquence de leurs **observations**, de leurs **tendances internes**, de leurs **représentations** (éventuellement) et de leurs interactions avec l'environnement et les autres agents (communications, stimuli, action directe, etc..)

- **Les agents *agissent* et modifient l'état de leur environnement par leurs actions**
- **On observe le résultats de leurs interactions comme si l'on était dans un laboratoire (notion de laboratoire virtuel)**



Les plates-formes de SMA pour la simulation

◆ Simulation

- Swarm: www.swarm.org
- RePast:
- Massive (commercial et très cher):
- Cormas: cormas.cirad.fr
- NetLogo, StarLogo
- MadKit:
 - ↳ TurtleKit
- Moduleco
- Mason

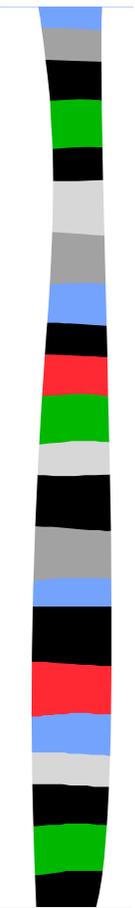
◆ Modélisation

- Mimosa



Quelques exemples paradigmatiques

- ◆ **La ségrégation spatiale de Schelling**
- ◆ **Mouvements de foules**
- ◆ **Manta: organisation sociale des fourmis**
- ◆ **Sugarscape**
- ◆ **Un petit exemple (qui n'est pas classique): les bœufs musqués**



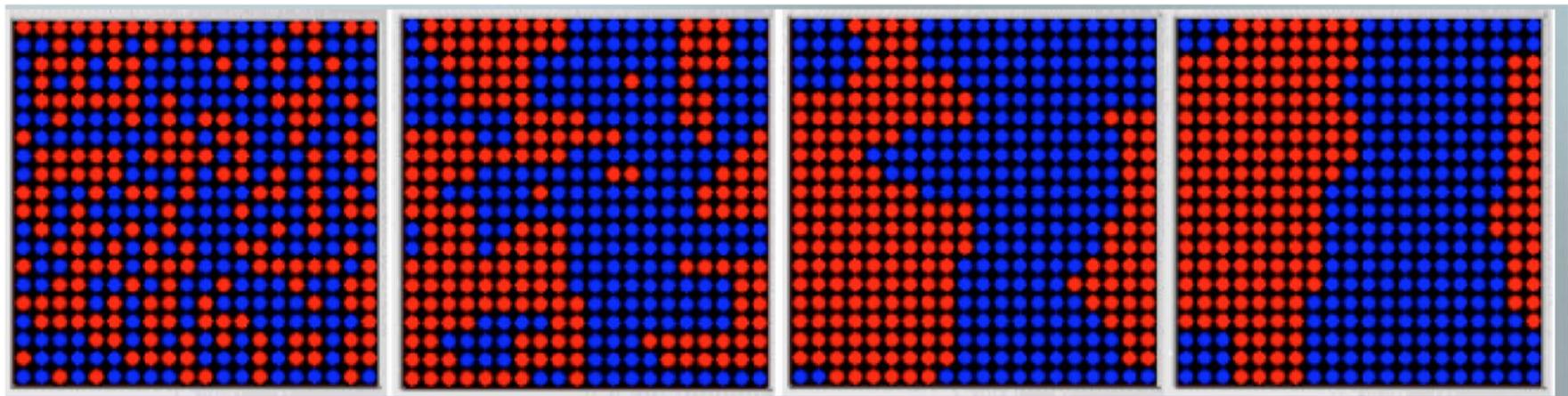


Ségrégation Spatiale de Schelling

◆ Thomas Schelling 1971

- Etude de la ségrégation raciale, et en particulier des ghettos urbains.
- Idées initiales: la ségrégation est une fonction des dominants qui empêchent les autres de venir près d'eux.
 - ☞ Il y a une volonté de créer ces ghettos

◆ On peut montrer en fait que la ségrégation arrive rapidement si les individus veulent être avec des gens « comme eux »





Principe de Schelling

◆ Reste

- si voisins semblables à moi > $1/3$



◆ Bouge

- Si voisins semblables < $1/3$
- Bouge et cherche un endroit meilleur

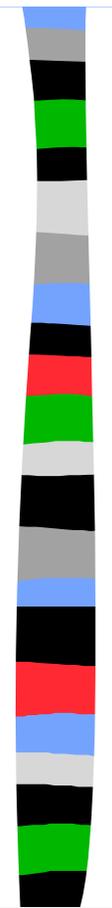


Voir demo en NetLogo



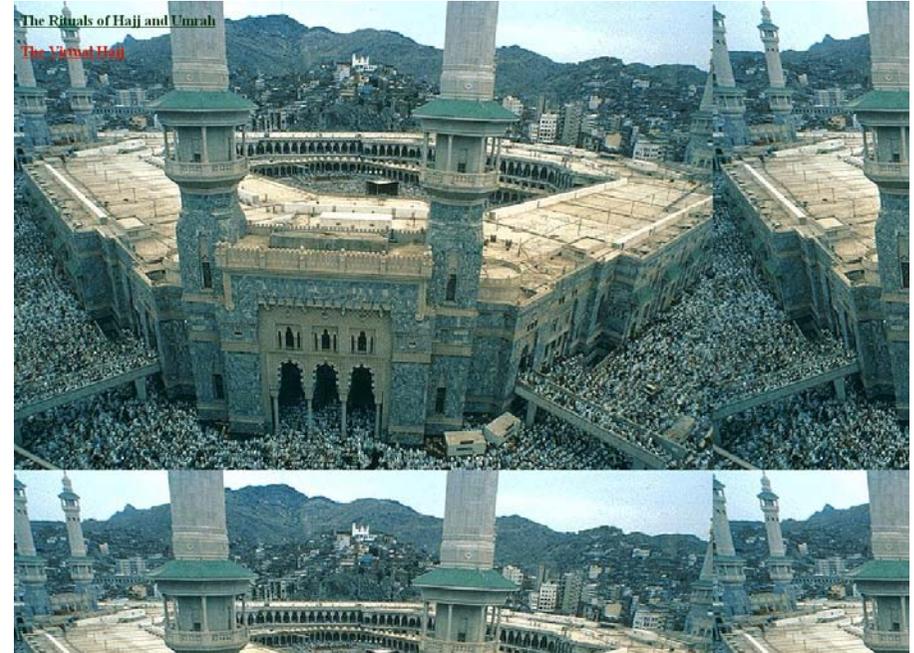
Conséquence

- ◆ Possibilité de tester rapidement une hypothèse
- ◆ Met en évidence les aspects émergents d'un phénomène dépendant de choix individuels
- ◆ Met en évidence l'existence ou non de situations stables



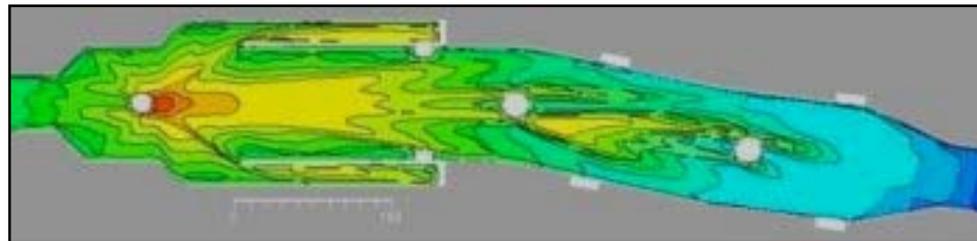
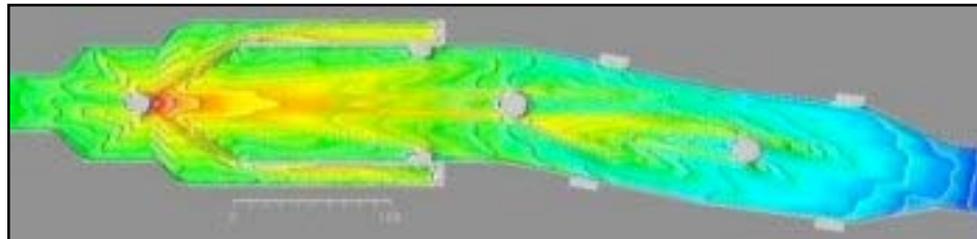
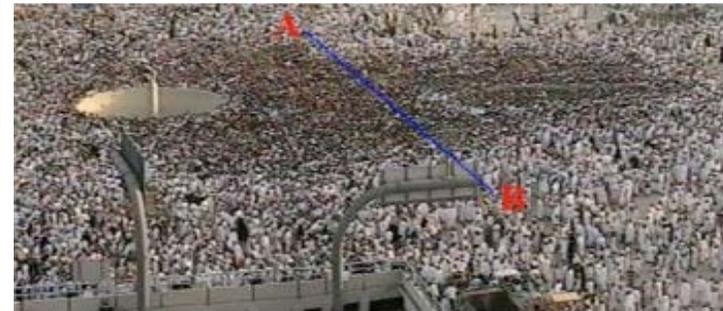
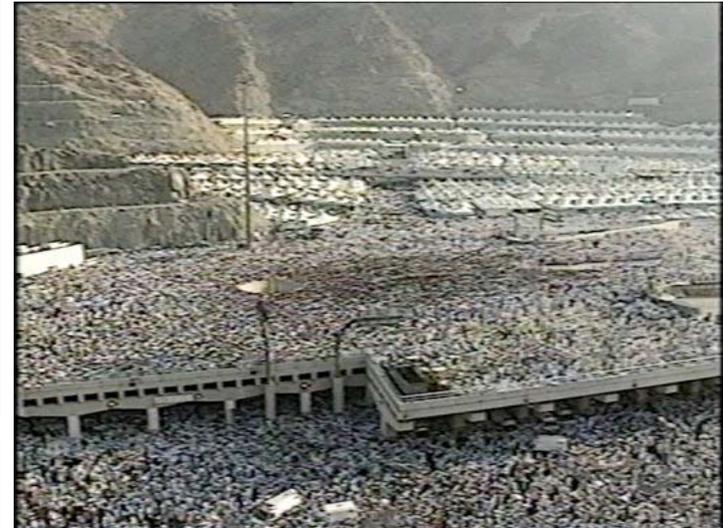
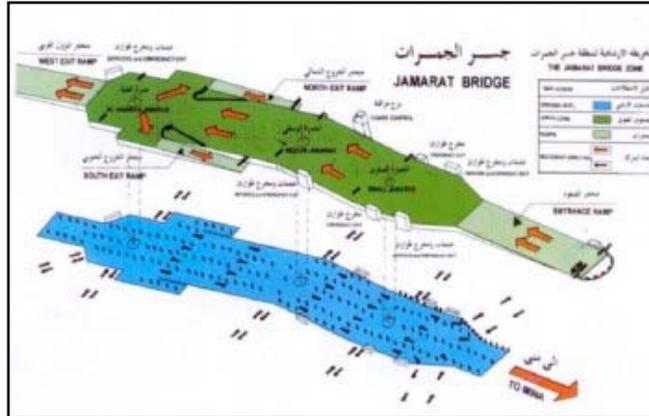


Mouvements de foule



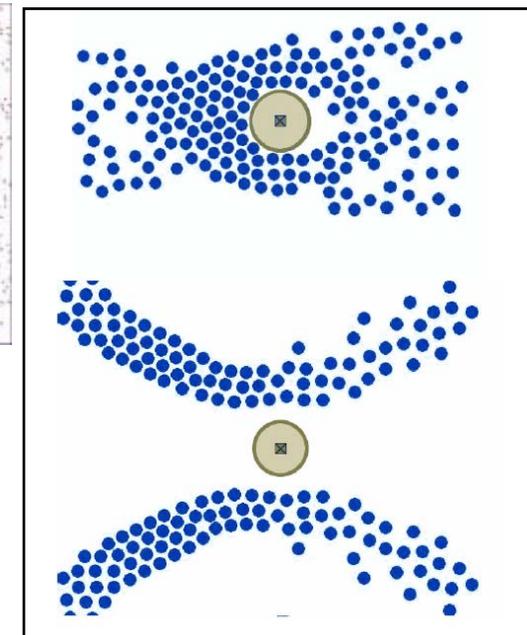
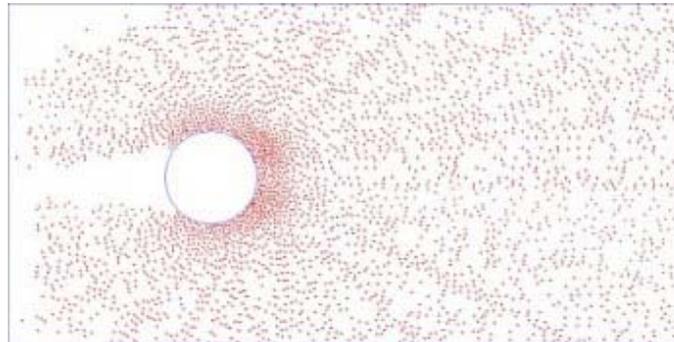
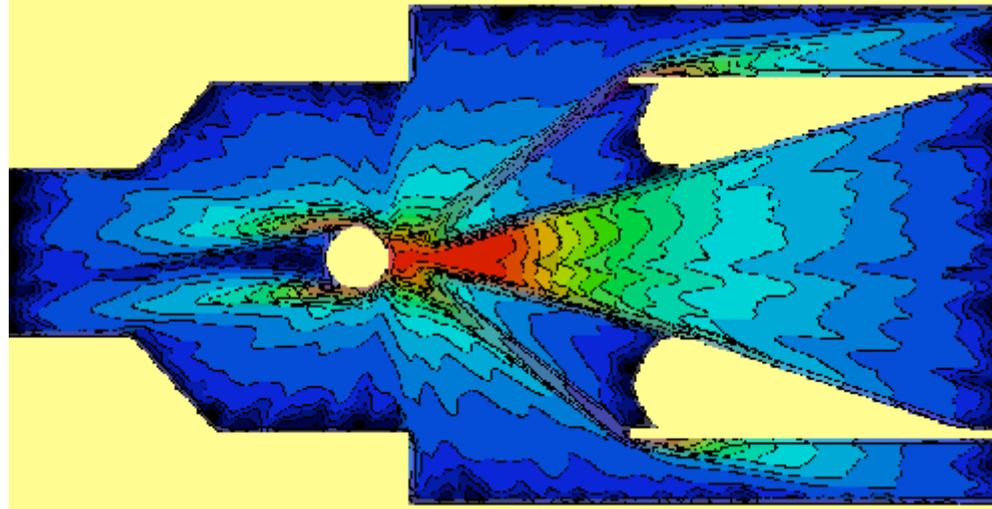


Modélisation du flux des pèlerins à la Mecque pour le Hajj (Batty - 07)





Comment contrôler le flux



Comparaison entre une conception à base de simples particules et une solution améliorée. Les pèlerins doivent être près du cercle afin de jeter des pierres au pilier central (le mal). Très grande densité autour du pilier. Nouvelle idée: avoir des flux le long des piliers, évitant une trop grande compression des personnes.



Un exemple: le projet Manta

PARIS VI
LAFORIA

PARIS XIII
Labo d'Ethologie

Alexis Drogoul
J. Ferber
(Steffen Lalande)

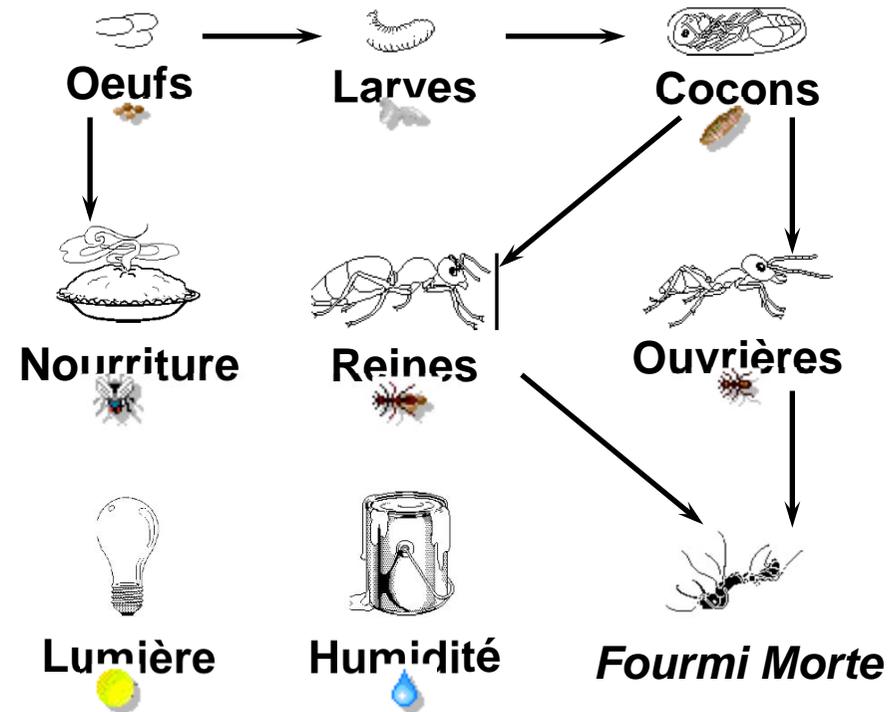
Dominique Fresneau
Bruno Corbara

MANTA

**Modélisation comportementale d'une
société de fourmis *Ectatomma ruidum* et
l'étude de l'émergence de structures
sociales au sein d'une colonie**

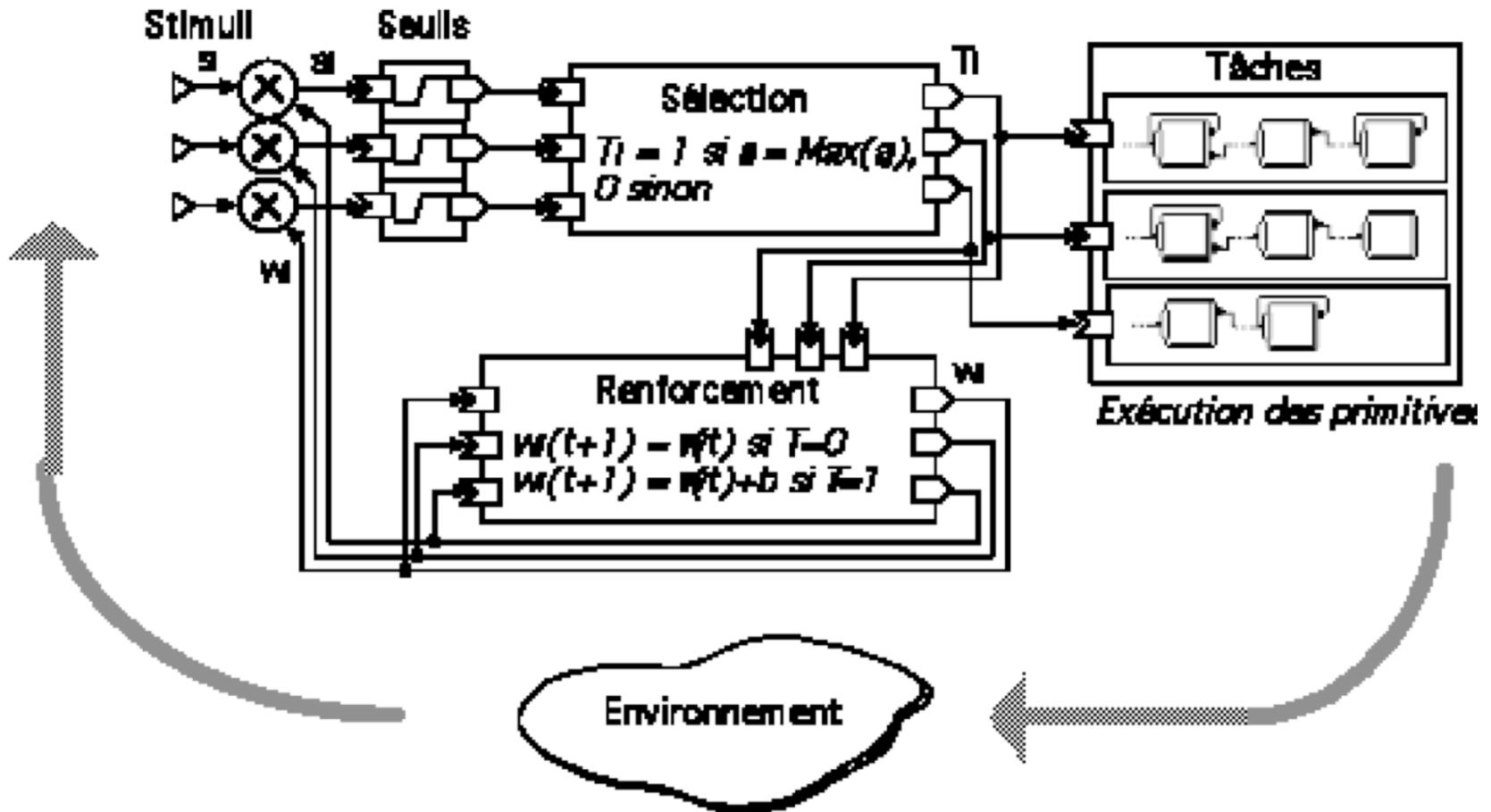


Les agents Manta





Le comportement des agents



Manta: le laboratoire virtuel

The image displays the Manta virtual laboratory interface. The main window shows a simulation of ants in a maze environment. The control panel is divided into several sections:

- AGENTS:** A list of agent classes including AntAgent, CocoonAgent, DeadAntAgent, EggAgent, and FoodAgent. There is an "Add Class..." button.
- STIMULI:** A list of stimuli including cocoon, cureAnt, cureCocoon, cureEgg, and default. There is an "Add Stimulus..." button.
- PARAMETERS:** A table of parameters:

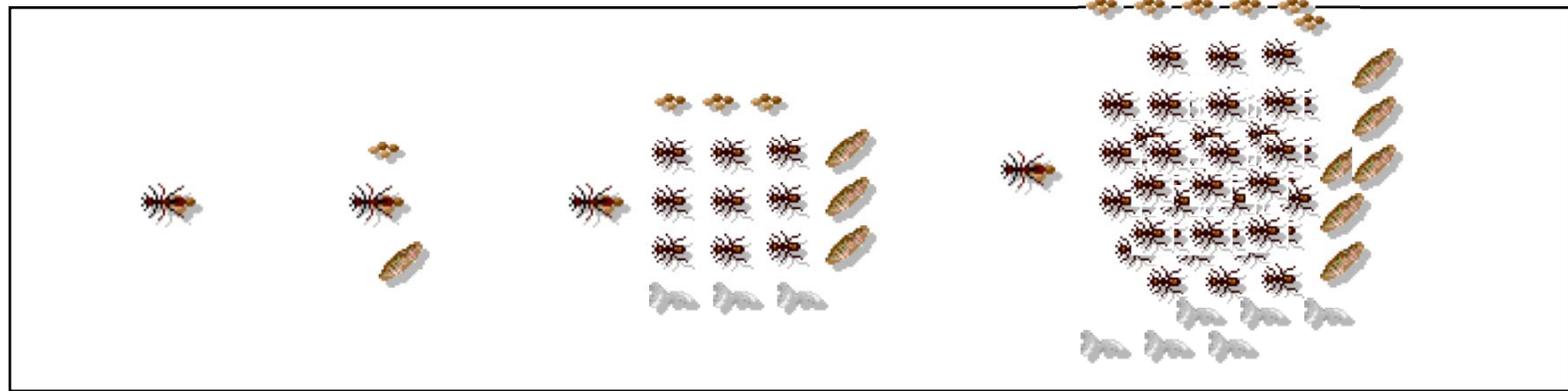
WEIGHT	4
THRESHOLD	11
INCREMENT	1
- OPERATORS:** A list of operators including exec:with:, exec:with:then:, execWhileSucces, execWhileSucces, and exec:.
- PRIMITIVES:** A list of primitives including primFollow:, primPickUp:, primPutDown:, and primCure:.
- ARGUMENT:** A text field containing the word "cocoon".
- ACTIYATION:** A diagram showing the activation sequence of the selected primitive.
- END:** A diagram showing the end state of the primitive.

On the right side of the simulation window, there is a vertical toolbar with icons for various objects and actions, including ants, food, water, and a magnifying glass.

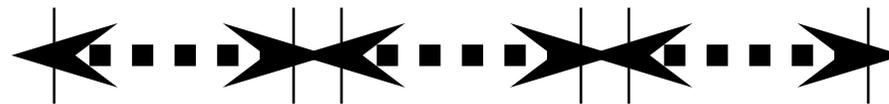


Manta: expériences

Dynamique Démographique



**300 sociétés
artificielles de
fourmis (depuis leur
fondation jusqu'à
l'âge adulte)**



Organisation Sociale



Evolution de l'Organisation



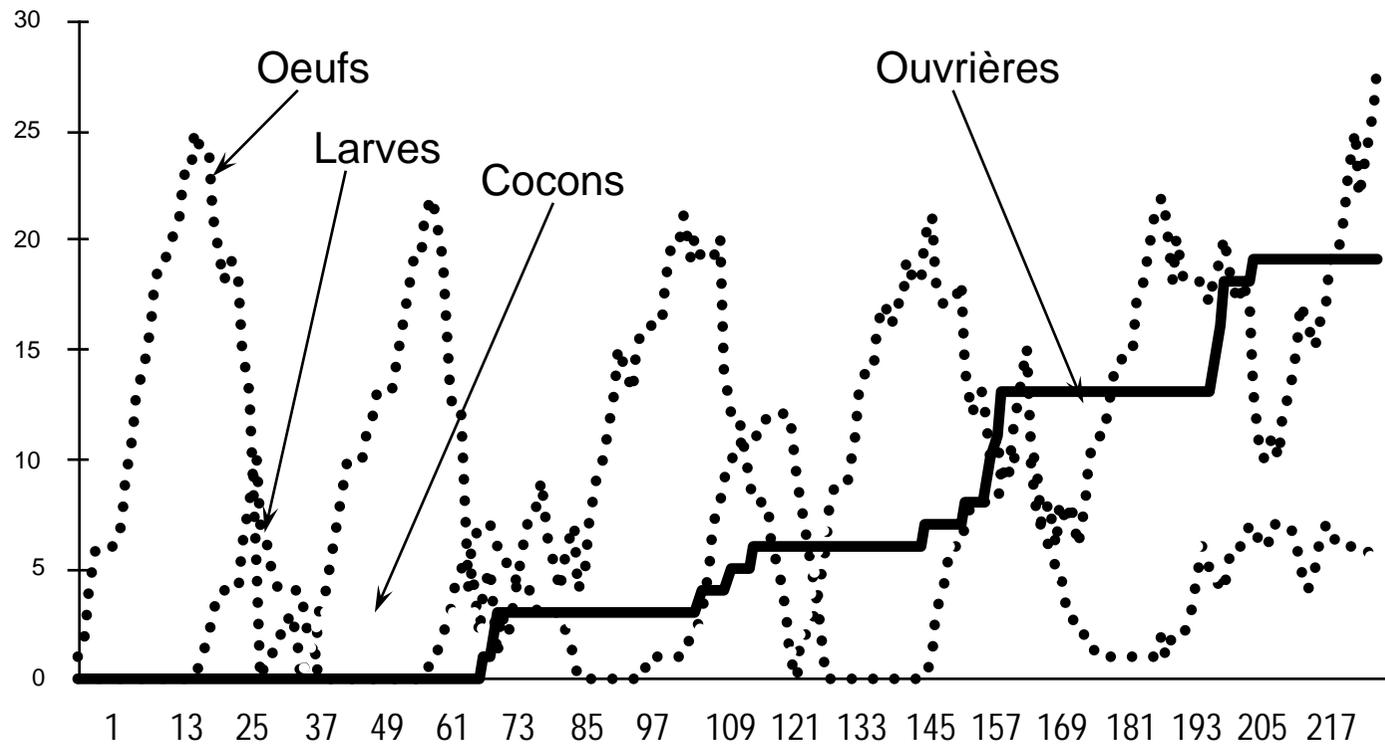
Evolution avec Restriction de la Nourriture



Evolution Polygyne (plusieurs reines)



Manta: sociogénèse

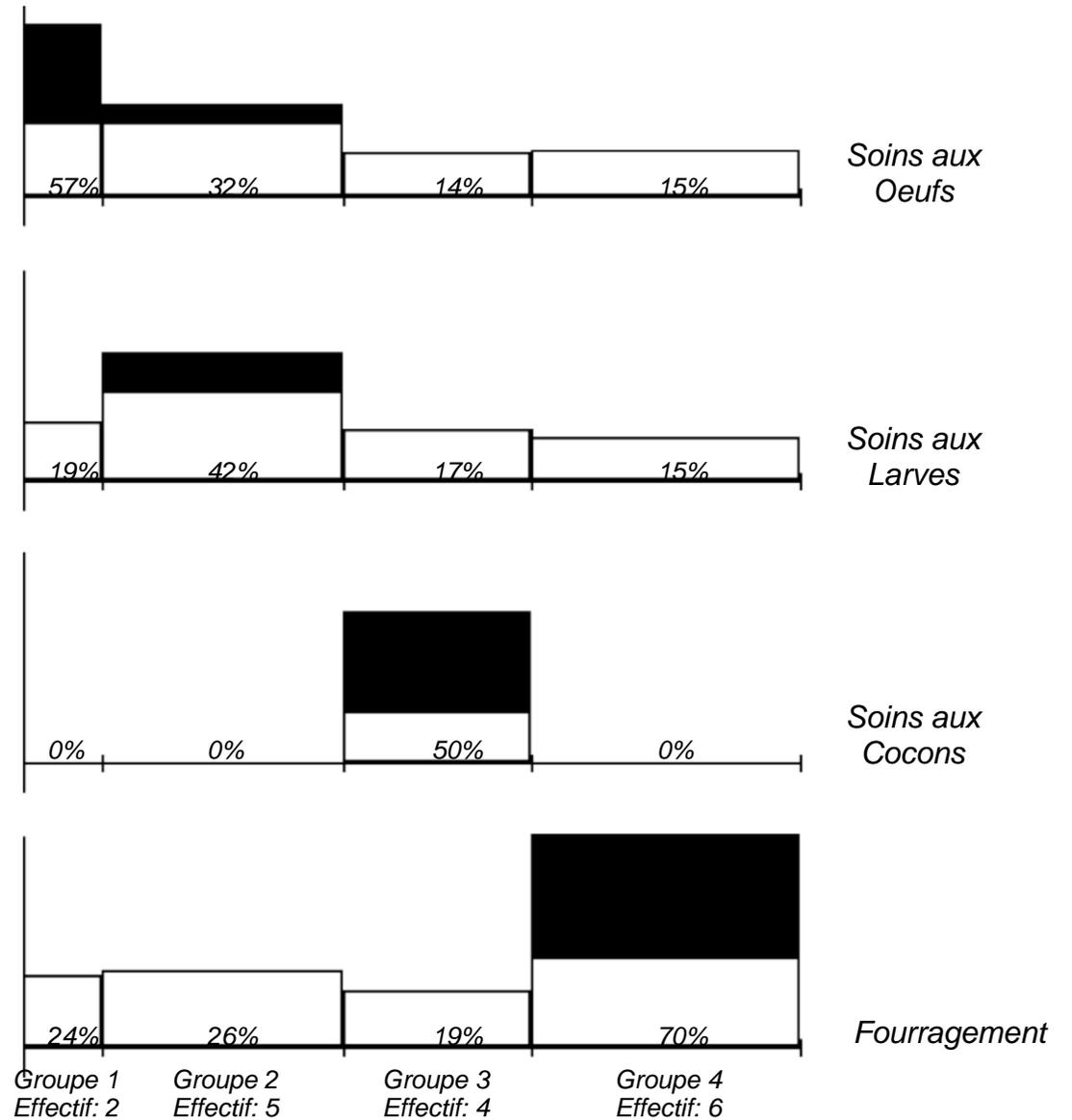


Expérience P_4 (Exemple)

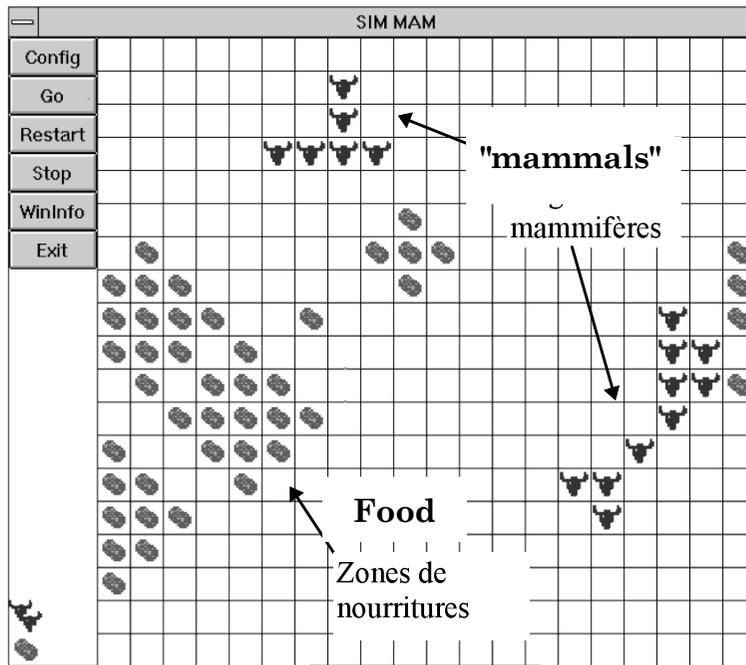


Manta: division du travail

Répartition en groupes fonctionnels (exp. P_5, 17 individus)



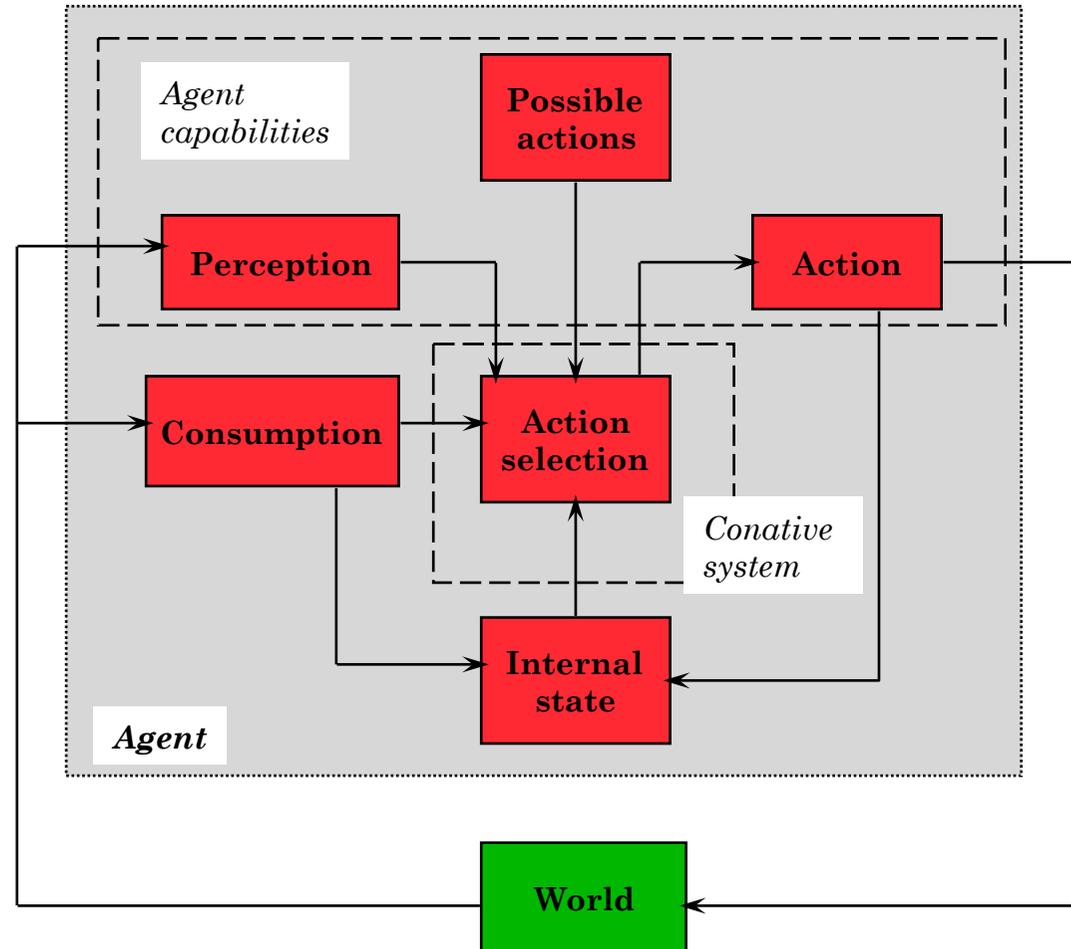
SimMam (les bœufs musqués)



- **Objectif:** montrer que les comportements collectifs améliorent la probabilité de survie d'un individu
- **Idée:** le comportement de regroupement est l'un des plus simple
- **Application:** le monde synthétique des «bœufs musqués»



Structure d'un agent SimMam





Caractéristiques des agents

➤ Etat interne :

- Etats internes définissant des «tendances»
- TI (temperature interne), RE (réserve d'énergie)
- NE (niveau d'énergie)

➤ Primitive actions:

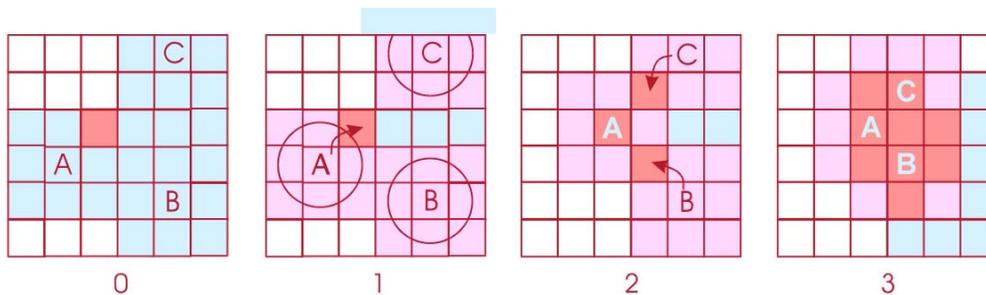
- SearchFood (recherche aléatoire de nourriture)
- GoOnFood (comportement appétitif)
- EatFood (comportement consommatoire)
- MinDiffT (aller à une place plus chaude)



Formation de groupes

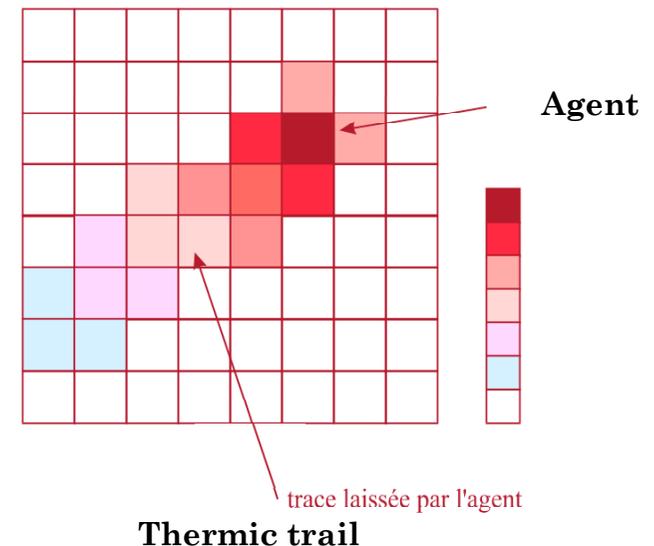
1 Formation de petits groupes

- ➔ Effet direct de la recherche de zones plus chaudes
- ➔ Taille des groupes dépend de la taille des «zones d'influence» des agents



2 Formation de grands groupes

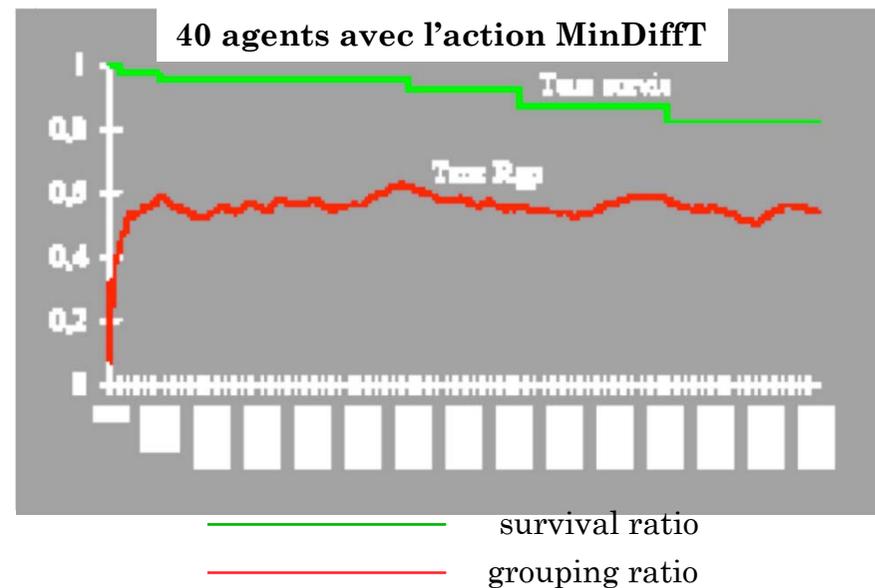
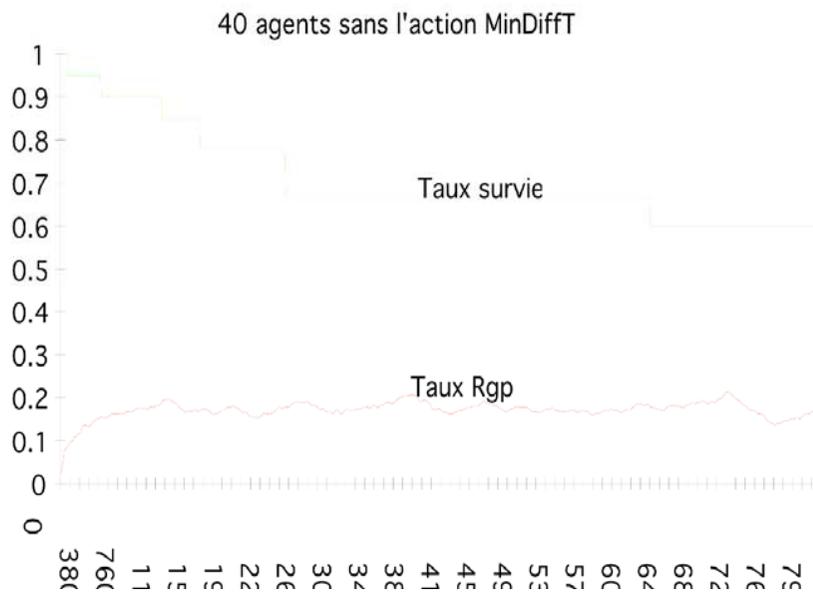
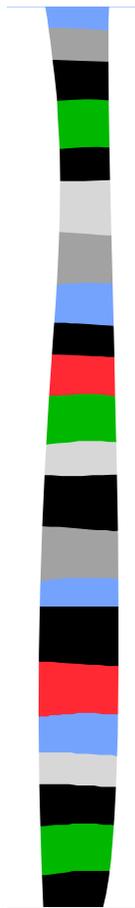
- ➔ Formation of chemins thermiques
- ➔ zones d'intérêts commun (nourriture)





Quelques résultats

- Dans ce monde jouet, la probabilité de survie s'accroît avec la formation de groupes
- L'action "MinDiffT" est importante pour la formation de groupes

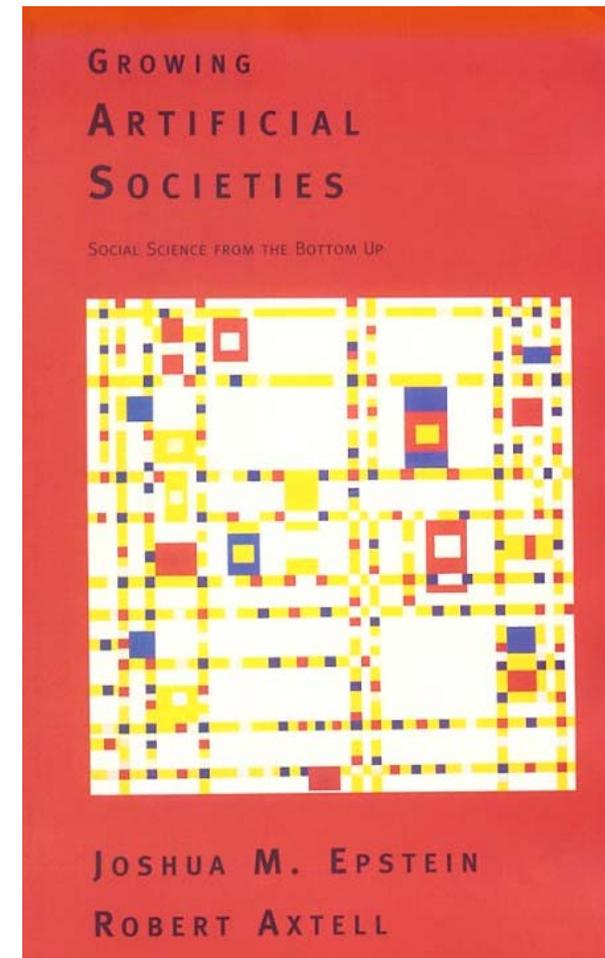




Sugarscape: growing artificial societies

◆ Life and death on the Sugarscape (1996)

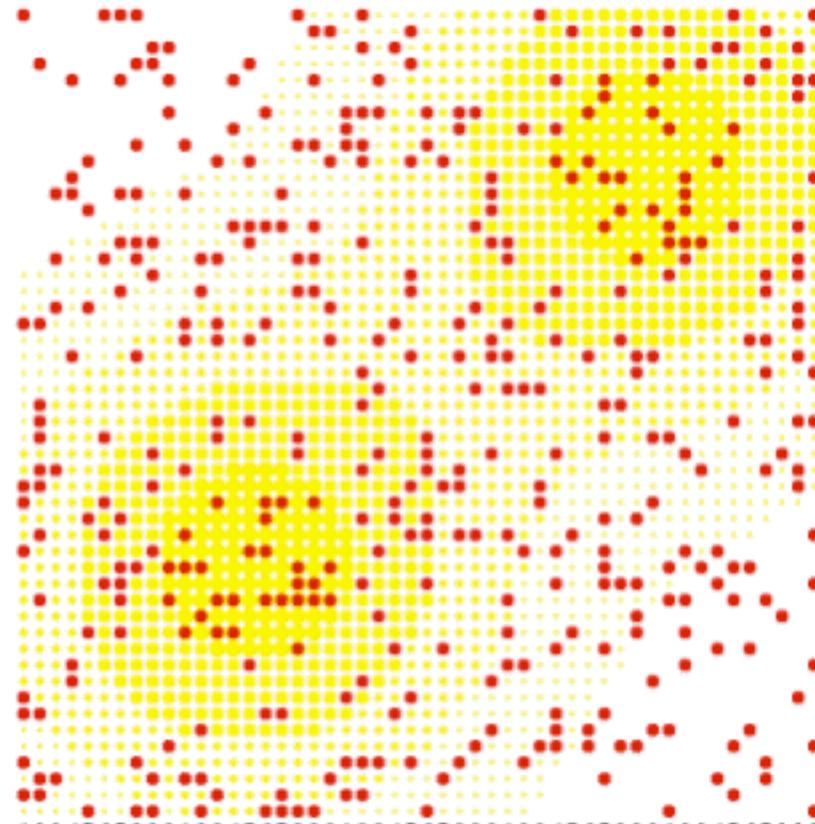
- Modèle de croissance de population qui consomment des ressources
- Représentaiton par « patches » de l'univers





Principes de sugarscape

- ◆ Chaque patch est une réserve de sucre de capacité fixée au départ. Sa réserve se reconstitue d'une certaine quantité à chaque pas de temps
- ◆ Chaque agent voit dans les 4 directions pour une distance d donnée au départ. Il a besoin de q sucre par unité de temps, sinon il meurt.
- ◆ Comportement de base:
 - ◆ Aller vers le point visible qui contient le plus de sucre et le consommer..





Séries de simulation

1. Simulation de base,

- des agents perçoivent et se déplacent vers les meilleurs endroits.
- Capacité d'hébergement de l'environnement

2. Ressource renouvelable et interaction avec la ressource.

- Les agents consomment les ressources localement.
- Impact des saisons sur les déplacements

3. Reproduction

- Les agents recherchent des conjoints pour se reproduire

4. Relations d'amitiés (culture).

- Les agents se rencontrent et comparent leur tags. Chaque agent mémorise les cinq agents dont le tag est le plus similaire au leur: notion de culture..

5. Echange marchand.

- Les agents échangent du sucre et des épices. Des prix locaux résultent de ces échanges.



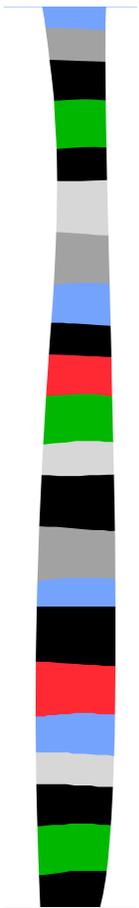
1. Regroupement et survie

◆ Règle G (grow) + M (movement)

- Le sucre repousse à une vitesse constante et importante (G_{inf}): a tous les items, tout le sucre d'un lieu est reconstitué
- L'agent cherche à conserver une certaine valeur de sucre
- Regarde autour et va vers la plus grande quantité de sucre libre (ou l'une des plus grandes aléatoirement)
- Va vers le lieu et prend tout le sucre

◆ Résultat:

- Obtention de regroupement autour des zones les plus fournies en sucre



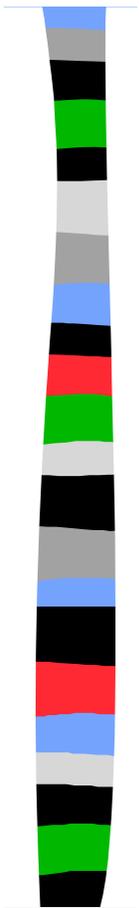


2. Remplacement

◆ Règle R:

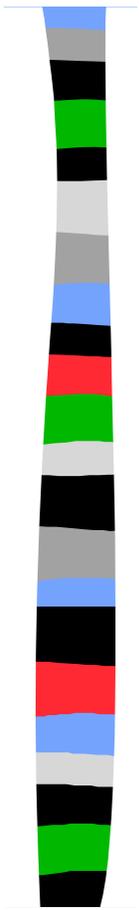
- A partir d'un certain âge: meurt
- Quand il meurt il est remplacé par un agent d'âge 0 qui est placé aléatoirement dans l'espace, avec des attributs aléatoires et un stock de sucre initial.

◆ Répartition des ressources inégales





Migration et saisons



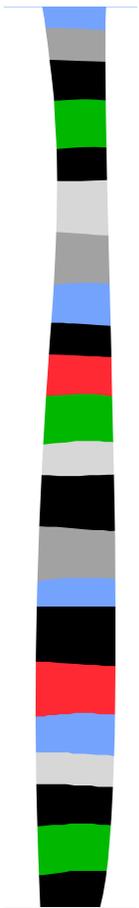
- ◆ **Vision plus large**
- ◆ **Emergence de vagues**



3. Pollution

◆ Règle

- La pollution s'accumule dans les places chaque fois que du sucre est « moissonné ». Chaque unité de sucre contribue en un accroissement de consommation dans les cellules.
- Les agents choisissent de préférence les endroits les moins pollués s'ils contiennent les mêmes ressources.
- Un mécanisme de dispersion de la pollution est réalisé à chaque cycle

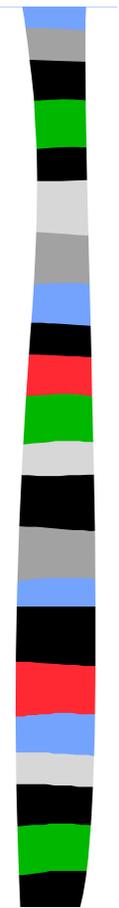




4. *Mating-mariage*

- ◆ **Regle S (sex) – mariage, recherche de conjoints**
 - Si l'agent est de l'âge d'avoir un enfant, et si ses réserves le permettent alors l'agent recherche un conjoint
 - Le conjoint doit être situé sur une case adjacente et être de sexe opposé

- ◆ **Pas de remplacement direct**





Commerce

- ◆ **Echange de sucre et d'épice**
- ◆ **Les agents ont besoin de sucre et d'épices**
- ◆ **Bear (ours): précautionneux**
 - S'il y a des réserve, pas de commerce
 - Sinon, cherche des partenaires autour: si ce sont des ours, et qu'ils ont peu de ressources ou a besoin des mêmes ressources, stop le commerce
 - Sinon, partage les deux valeurs
- ◆ **Bull (taureau):agressif**



Simulations en Mason

Outcome	Rule Set	Replication Criteria	Replication Achieved
Animation II-2 (p.29)	$(\{G_1\}, \{M\})$	Hiving, peak clustering, terrace sticking	Exact
Figure II-5 (p. 31)	$(\{G_1\}, \{M\})$	Small positive slopes, equally spaced lines, visually estimated line coordinates	General
Animation II-3 (p. 34)	$(\{G_1\}, \{M, R_{[60,100]}\})$	Pareto distribution, maximum wealth bin	General
Animation II-4 (p. 38)	$(\{G_1\}, \{M, R_{[60,100]}\})$	Gini coefficient evolution	General
Animation II-6 (p. 43)	$(\{G_1\}, \{M\})$	Visual wave phenomenon	General
Animation II-7 (p. 46)	$(\{s_{1,8,50}\}, \{M\})$	Seasonal clustering	Exact
Animation II-8 (p. 49)	$(\{G_1, D_1\}, \{M, P_{11}\})$	Migration patterns	Partial
Figure III-1 (p. 58)	$(\{G_1\}, \{M, S\})$	Stable time series	General
Animation III-1 (p. 58)	$(\{G_1\}, \{M, S\})$	Approximate stationary age distribution	General
Figure III-2 (p. 63)	$(\{G_1\}, \{M, S\})$	Diverging Vision, Metabolism	General
Figure III-3 (p. 64)	$(\{G_1\}, \{M, S\})$	Small amplitude oscillations	General
Figure III-4 (p. 65)	$(\{G_1\}, \{M, S\})$	Large amplitude oscillations	Partial
Figure III-5 (p. 66)	$(\{G_1\}, \{M, S\})$	Severe population swings, extinction	General
Animation III-6 (p. 75)	$(\{G_1\}, \{M, K\})$	Homogenous population	Exact
Figure III-8 (p. 77)	$(\{G_1\}, \{M, K\})$	Time series extremes, random group convergence	Exact
Animation IV-1 (p. 100)	$(\{G_1\}, \{M\})$	Peak hopping, small population	General
Figure IV-4 (p. 110)	$(\{G_1\}, \{M, T\})$	Significant trade volumes over time	Partial

Etapes dans la réalisation d'un SMA

1. Déterminer:

- ☞ Les agents
- ☞ l'environnement

2. Décrire les lois de l'environnement

3. Identifier les perceptions et les influences (actions) produites par les agents

4. Déterminer les variables internes et capacités des agents

5. Définir les comportements des agents:

- ☞ **Si les agents sont cognitifs:** décrire la relation entre croyances, buts et actions
- ☞ **Si les agents sont réactifs:** décrire les stimuli, les tropismes (attraction, répulsion, évitement) ainsi que les tâches (combinaisons d'actions élémentaires)

Application des SMA à la simulation

- Ethologie: fourmis (sociogenèse, organisation du travail), Macaques (organisation sociale), «boeufs musqués», Poissons (déplacement, comportement, ...), etc.
- Ecologie: gestion de ressources renouvelables dans des milieux anthropisés (SimDelta, travaux du Cirad, de l'IRD, ..). Ex: gestion de la pêche traditionnelle, gestion de la forêt,...
- Biologie: simulation de croissance des plantes, simulation des interactions plantes/animaux, ...
- Epidémiologie: analyse des épidémies de fièvre aphteuse
- Géographie: analyse du développement des villes (SimPop)
- Gestion des déplacements: simulation des aéroports, des gares, des centres routiers,...
- etc...

Les problèmes #1

➤ Gestion d'échelles de temps et d'espace hétérogènes

- 👉 Comment intégrer des processus qui se déroulent à des échelles de temps et d'espace très hétérogènes?
- 👉 Idée: réalisation de modèles permettant de prendre en compte plusieurs échelles...

➤ Validation des modèles multi-agents

- 👉 Comment valider de tels modèles? Validation qualitative uniquement? Mise en correspondance de courbes?...
- 👉 Idée: Observateurs structurels (H. Proton, F. Bousquet),...



Les problèmes #2

➤ Gestion des paramètres

- Grand nombre de paramètres
- Analyse de la sensibilité des paramètres
- «bidouillage» de la boîte noire

➤ Comparaison entre modèles

- Equivalence de modèles? Aide à l'analyse et à l'identification de modèles numériques classiques?

