Modélisation SMA de phénomènes collectifs : application au tissage collectif chez les araignées sociales

V. Chevrier
C. Bourjot
LORIA
En collaboration avec
B. Krafft
A. Bernard
Biologie du comportement Nancy 1

Vincent Chevrier
LORIA / Nancy Université
chevrier@loria.fr
www.loria.fr/~chevrier

- **Quelques pointeurs introductifs (généralistes)**
  - Numéro spécial Pour la Science, Dossier La modélisation informatique, exploration du réel N° 52, pp62-64; juillet 2006,
  - Site : interstices.info (Articles, Applets)
    - http://interstices.info/intelligence-en-essaim
    - http://interstices.info/araignee

Plan

- **Contexte du travail**
  - Modélisation de phénomènes collectifs
  - Systèmes multi-agents
    - Principes
    - Modélisation et simulation multi-agent
- **Tissage collectif chez les araignées sociales**
  - Considérations biologiques
  - Modèle informatique
  - Quelques résultats
- **Conclusion**

Contexte scientifique

- **Equipe MAIA au LORIA (CNRS, INRIA, Univ. Nancy)**
  - informatique
- **Thème: ingénierie du comportement**
  - Modéliser, concevoir et simuler des systèmes composés de un ou plusieurs agent situés.
    - Théorie de la décision et incertitude
    - *Auto-organisation*

  ➔Modéliser et analyser des comportements intelligents

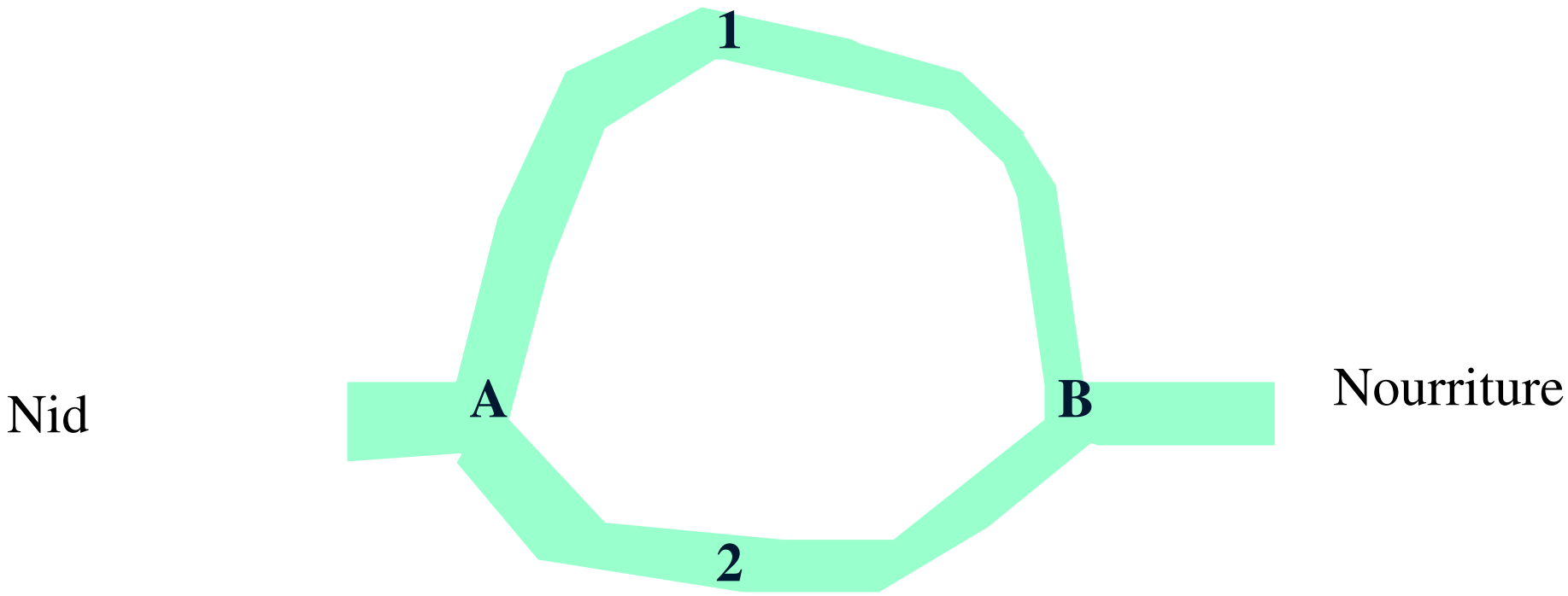
  (ex: simulation en biologie, domaine médical)

  ➔Concevoir des comportements intelligents

  (ex: résolution de problème d'optimisation, robotique mobile)
- **Aujourd'hui**
  - Simulation d'un phénomène (construction collective chez les araignées sociales)

Phénomènes collectifs

- **Plus court chemin chez les fourmis voir applet)i(**



Phénomènes collectifs

- **Individus simples a priori**
- **Activités collectives complexes**
- **Fonctionnement décentralisé**
  - Pas de « chef d'orchestre » avec vue globale
  - Individus n'ont pas de plan en tête
  - Moyens de communication limités
  - Robustesse, adaptabilité du phénomène

➔ ***Comment expliquer cette complexité à partir d'individus simples ?***

Notion d'intelligence collective (en essaim)

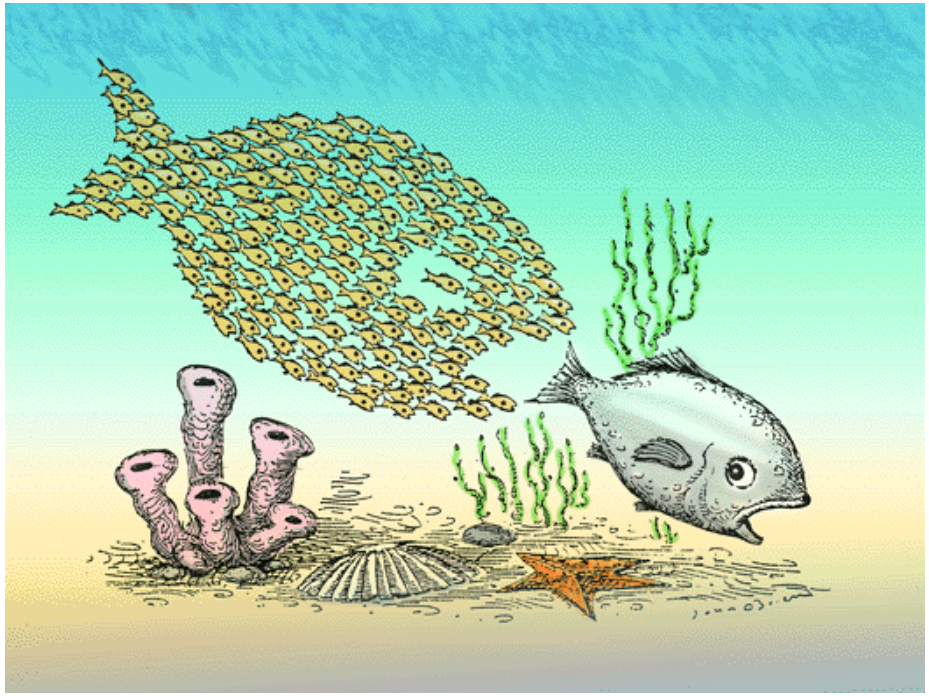
Succession de « réflexes »

Intelligence collective: exemple

- **Termitière**
  - Quelques mètres
  - Architecture sophistiquée
- **Termite**
  - Quelques cm
- **Comportement (partiel)**
  - ➔Construire une boulette de terre
  - ➔Poser aléatoirement la boulette *avec une probabilité plus forte de la poser là où il y a déjà une autre boulette*.

Principe des Systèmes Multi-Agents (SMA)

- ***SMA: Ensemble d'entités (agents) en interaction situées dans un environnement et devant réaliser collectivement une tâche***



- **Agent**
  - Entité (physique ou logicielle) capable de percevoir son environnement et d'y agir/interagir
  - Autonome
- **Environnement**
  - « espace » commun aux agents du système, doté d'un ensemble d'objets du problème

Systèmes multi-agents

- **Contraintes**
  - Fonctionnement/contrôle décentralisé
    - Pas de chef d'orchestre
  - Perception limitée
    - Aucun agent n'a une vue complète du système ➔ personne ne sait tout
  - Autonomie de décision
- **Deux niveaux de description**
  - Local : comportement des agents
  - Global/collectif: tâche à réaliser/phénomène à produire

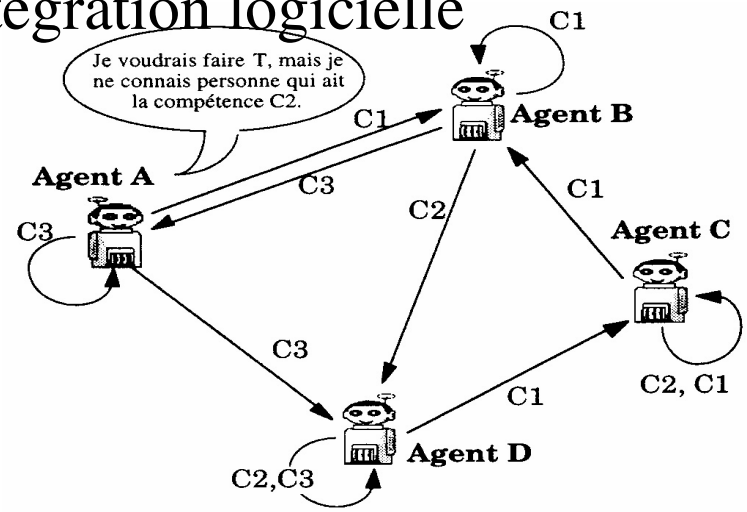
➔ **Difficulté**

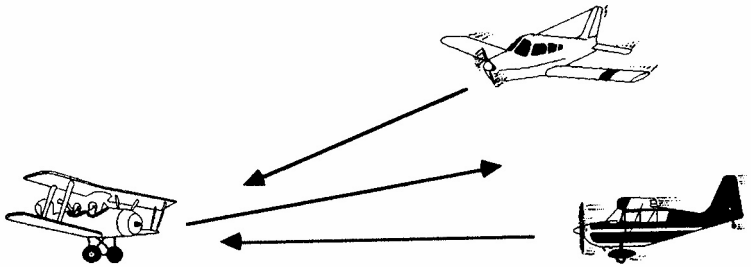
  - Etablir un lien entre ces deux niveaux

Exemples d'applications

Simulation de phénomène complexe

Résolution de problème /contrôle
Intégration logicielle





[Ferber 95]

SMA et informatique

	Monolithic Program	Structured Programming	Object-Oriented Programming	Agent-Oriented Programming
How does a unit behave? (Code)	External	Local	Local	Local
What does a unit do when it runs? (State)	External	External	Local	Local
When does a unit run?	External	External (called)	External (message)	Local (rules; goals)

[Parunak 99]

Modèles pour les phénomènes collectifs

- **Besoins**
  - Décrire le fonctionnement de collectif (exemple dynamique de population
  - Comprendre les liens individus/collectifs
  - Deux niveaux possibles de description
    - Micro ⇔ individu
    - Macro ⇔ phénomène produit
- **Types de modèles**
  - Equations différentielles
  - Simulation Monte-Carlo
  - Automates cellulaires
  - SMA

Simulation multi-agents

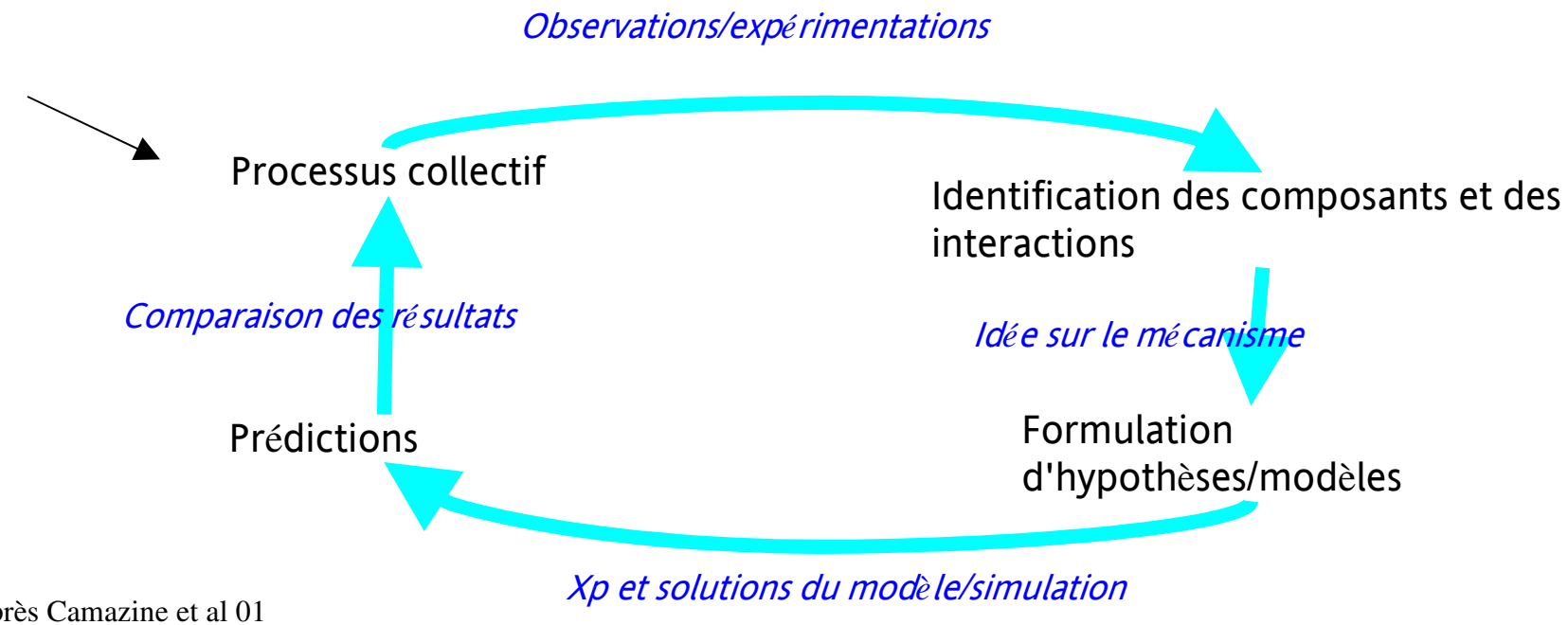
- **Agent based modeling, Individual based modeling**
- **Création d'un monde virtuel**
  - Modélisation
    - Environnement
    - Agent et leur items comportementaux
    - Dynamique
  - Observation du résultat collectif
- **Environnement**
  - Médie les interactions (peut avoir sa propre dynamique)
  - Contraint le comportement
  - Mémoire collective (inscription, trace, structure collective, ..)

Simulation multi-agents

- **Souvent intuitive**
  - Niveaux de descriptions en accord avec l'observation
  - Micro ⇔individu
  - Macro ⇔ société
- **Prise en compte de contraintes dès le modèle**
  - Localité
  - Autonomie
- **Capacité explicative**
  - Effet d'un comportement local sur le global
  - Accès local → global (inverse rarement possible)
- **Processus incrémental**
  - Du basique à des comportements complexes
- **Modèle informatique**
  - Insensible à la mesure
  - Possibilité de rejouer une simulation à l'identique
  - Rapide (par comparaison aux phénomènes réels en biologie)

Démarche

- **Problème central: Comprendre les interactions qui produisent le pattern global.**
- **Etant donné un phénomène, comment l'appréhender pour comprendre ses mécanismes ?**
- **Démarche:**



D'après Camazine et al 01

Plan

- **Contexte du travail**
  - Modélisation de phénomènes collectifs
  - Systèmes multi-agents
    - Principes
    - Modélisation et simulation multi-agent
- **Tissage collectif chez les araignées sociales**
  - Considérations biologiques
  - Modèle informatique
  - Quelques résultats
- **Conclusion**

Tissage collectif chez les araignées sociales

- **Collaboration LORIA/Laboratoire de biologie du comportement (Pr B. Krafft, A. Bernard) UHP**
- **Araignées**
  - Plusieurs milliers d'espèces
  - 15 sont sociales
  - Sociétés plus simples que celles des fourmis
    - Pas de reine
    - Pas de spécialisation

Les araignées sociales

Anelosimus eximius

5 mm

Vie en colonie (jusqu'à 100 m^3)

Activités collectives :

- Construction de la toile
- Prédation (Synchronisation, attaque, transport)
- Décision collective (Y)

Araignées sociales

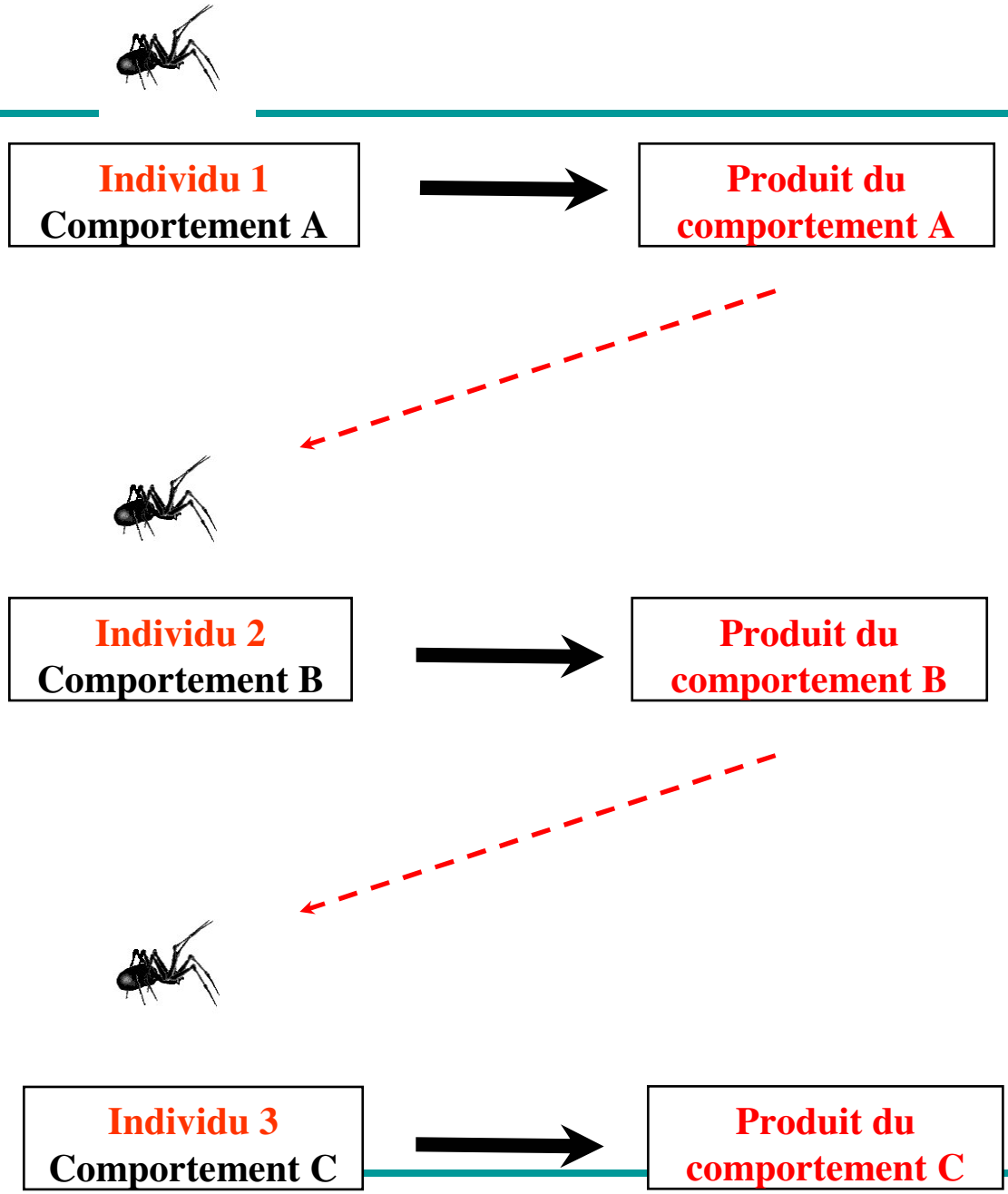
- **Quelques images et vidéo**

Question

- **Quels comportements individuels (les plus simples possibles) permettent d'expliquer la construction collective ?**

Considérations biologiques

- **Les araignées sociales et solitaires présentent une attraction pour la soie de leurs congénères.**
- **Plusieurs araignées solitaires peuvent se succéder pour construire une toile.**
- **Hypothèses :**
  - Modèle comportemental social = modèle comportemental solitaire + tolérance
  - Coordination par stigmergie (l'œuvre guide l'ouvrier)


Individu 1
Comportement A
Produit du comportement A
Individu 2
Comportement B
Produit du comportement B
Individu 3
Comportement C
Produit du comportement C

Besoin de simulation

- **Vérifier les hypothèses**
  ⇔mettre des araignées solitaires *ensemble*

- **Impossible/difficile à vérifier avec des araignées**
  - Cannibalisme !!!
  - Maîtrise des conditions expérimentales

➔ Modélisation et simulation informatique

Caractéristiques souhaitées de la modélisation

- **Proposer un comportement**
  - À la fois utilisable pour le cas solitaire et social
  - Sans référence (explicite) à des concepts sociaux
  - Individus non spécialisés (tous ont le même comportement)

- **Modélisation ne concerne que le comportement individuel (comportement collectif observé)**
  - Recours à l'expérimentation pour évaluer le résultat obtenu
  - Moyens d'évaluation visuel et qualitatif dans un premier temps

Simulation multi-agent

- **Système = A +E + dynamique (I+O)**
- **Démarche**

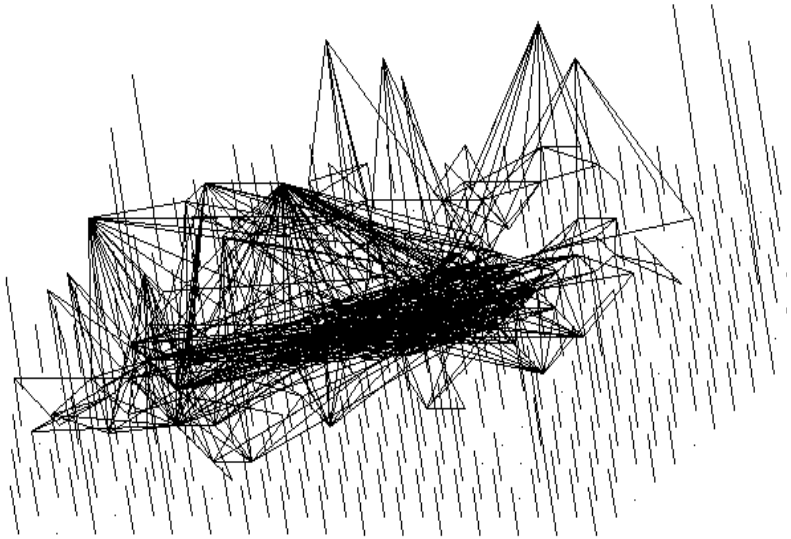
Premier modèle simple du comportement

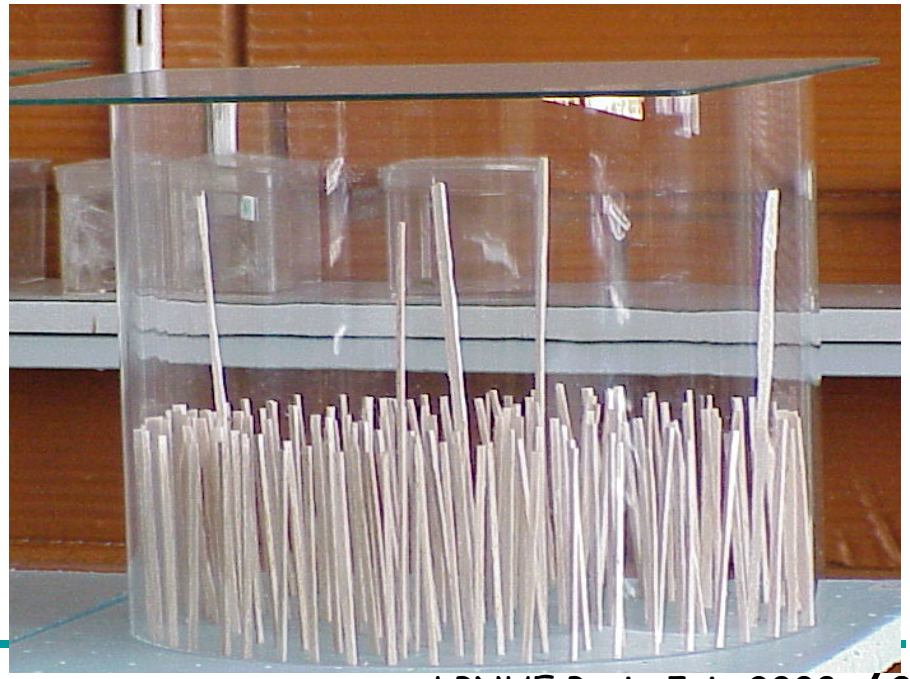
Complexification, adaptation des paramètres

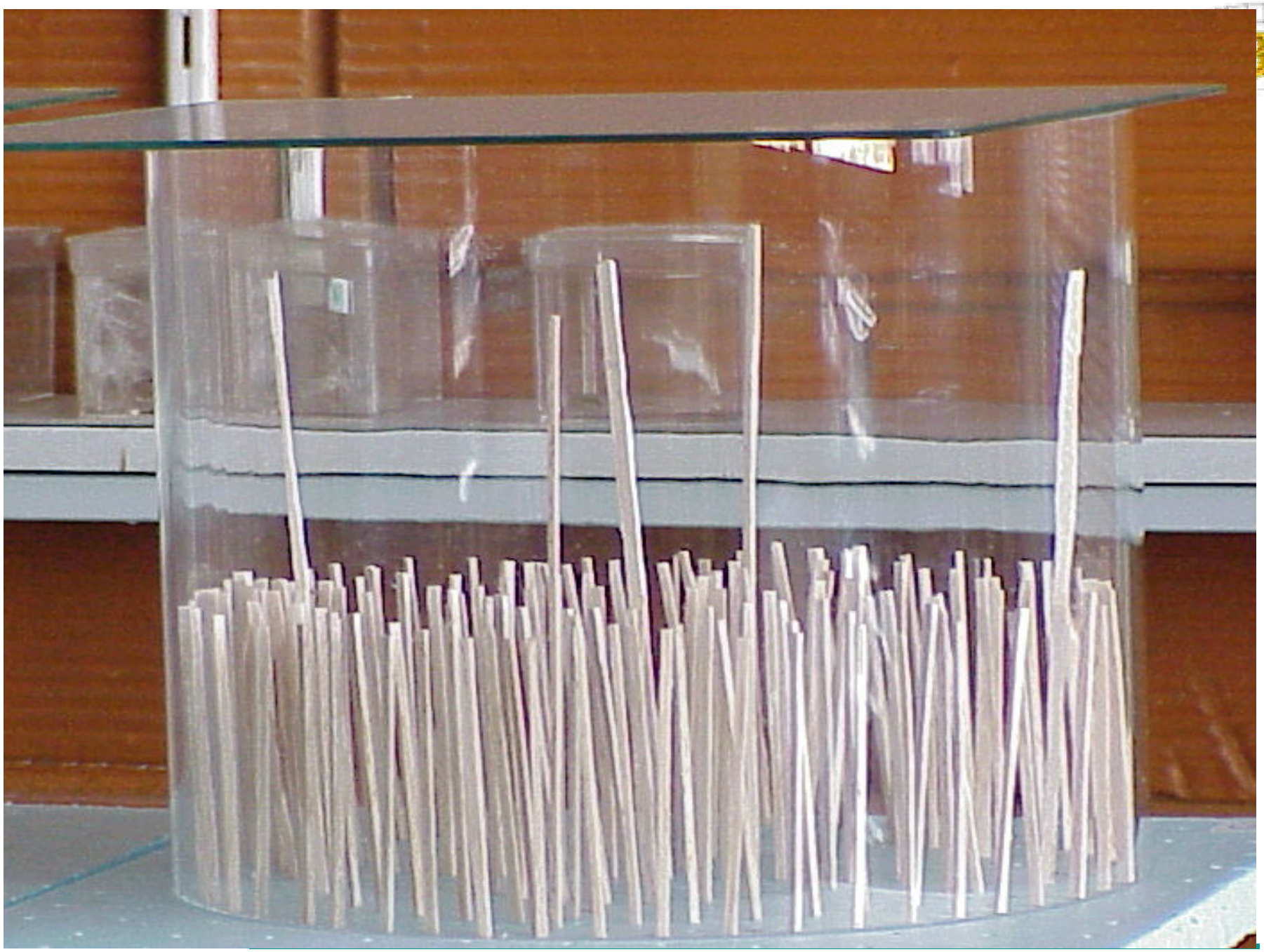
Évaluation par observation du résultat (visuel, statistique) par les biologistes

Modélisation

- ***Environnement*** **:**
  - Grille carrée composée de piquets de différentes hauteurs
  - Initialement sans fil
  - Ajout dynamique des fils tissés

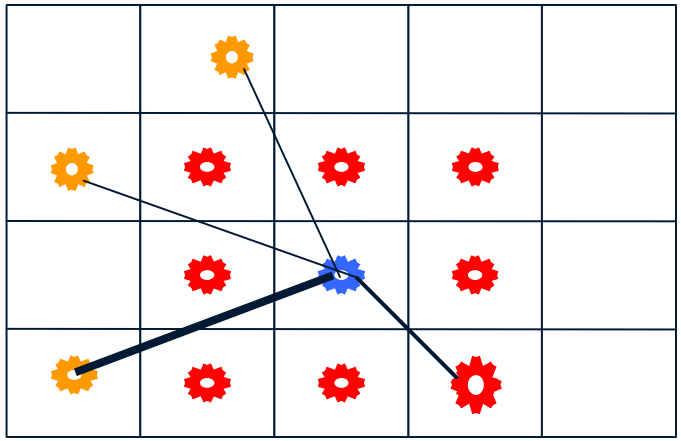






Agents

- **2 items comportementaux indépendants**
  - *Déplacement* de piquet en piquet
  - *Pose de soie* au sommet d'un piquet



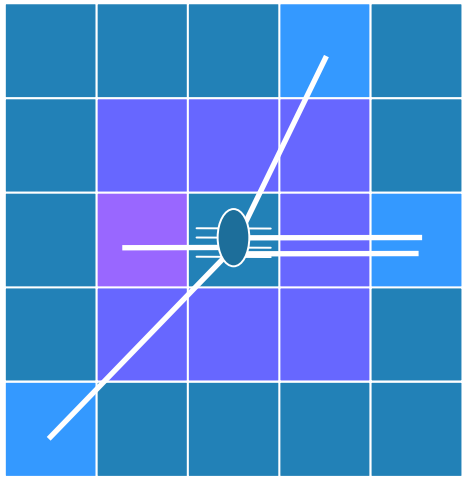
Modélisation incrémentale du déplacement

- **Etapes**
  - Modèle 0 : Aléatoire et insensible au contexte
  - Modèle 1 : Choix préférentiel (probabiliste) d'un type de mouvement
    - Vers un piquet adjacent ou suivre un fil
  - Modèle 2 : Choix contextuel (probabiliste) d'un mouvement donné (prise en compte du nombre de fils)

=> Paramètre « attraction pour la soie »

Focus sur le mouvement

- **Principe**
  - Calculer une distribution de probabilités sur les piquets accessibles
  - Implantation de la stigmergie: *Pdragline* (facteur d'attraction pour la soie)



1) In the neighborhood (perception radius):

$$W(s)=(1-Pdragline)/\#StakesInNeighborhood$$

2) Following a dragline path:

$$W(s) = \frac{Pdragline * \# Dragline}{\# DraglineOnCurrentPosition}$$

3) Both : Dragline + neighborhood:

W(s) = +

Dynamique du système

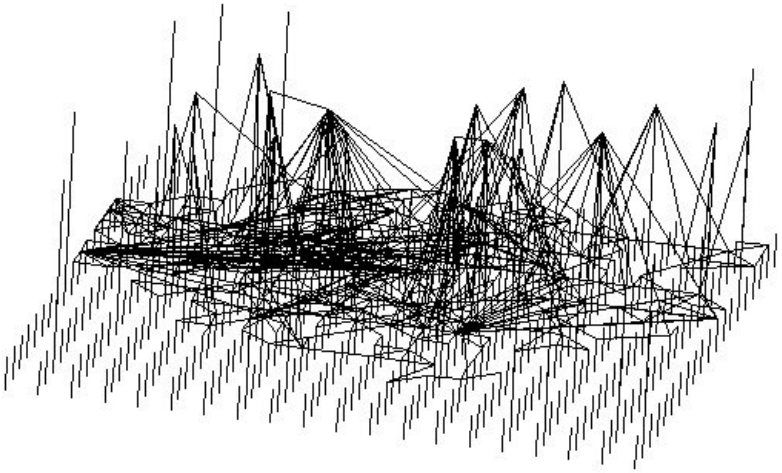
- **Coordination par stigmergie**
  - Modélisée implicitement dans le comportement
    - Déplacement influencé par la soie
    - Plus il y a de soie vers une position, plus celle-ci a de chance d'être choisie.
- **Pas de centralisation, pas de référence sociale**
  - Dynamique valide pour les cas solitaire et social

Expérimentations

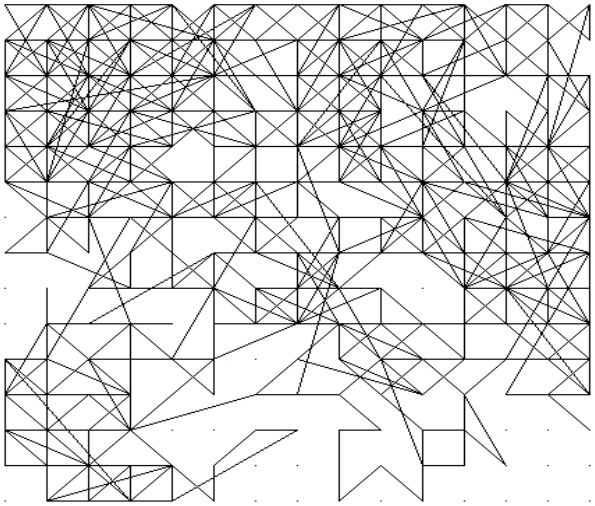
- **Simulateur Java**
- **Objectifs (rappel):**
  - impact du processus stigmergique sur la construction
  - passage du solitaire au social: tolérance
- **Etude de**
  - un couple de modèle d'items comportementaux
  - influence des paramètres : attraction de la soie, nombre d'araignées, probabilité de fixer la soie, nombre de pas de simulation, etc. …

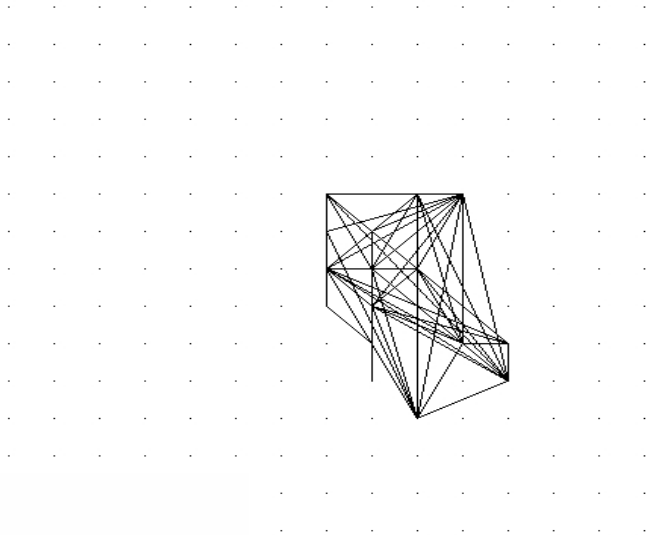
Démonstration

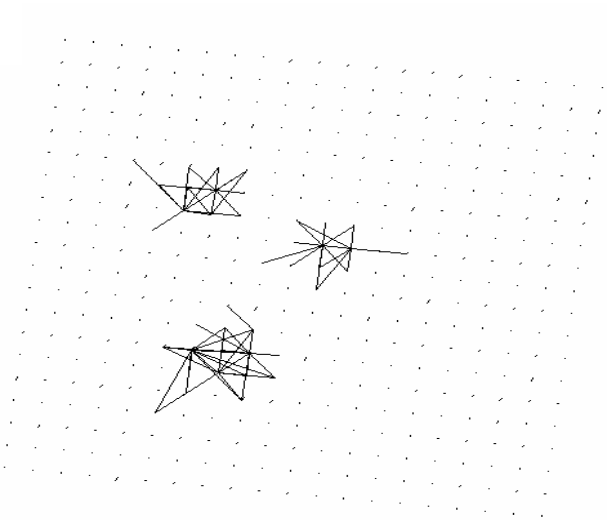
Quelques résultats



Quelques résultats







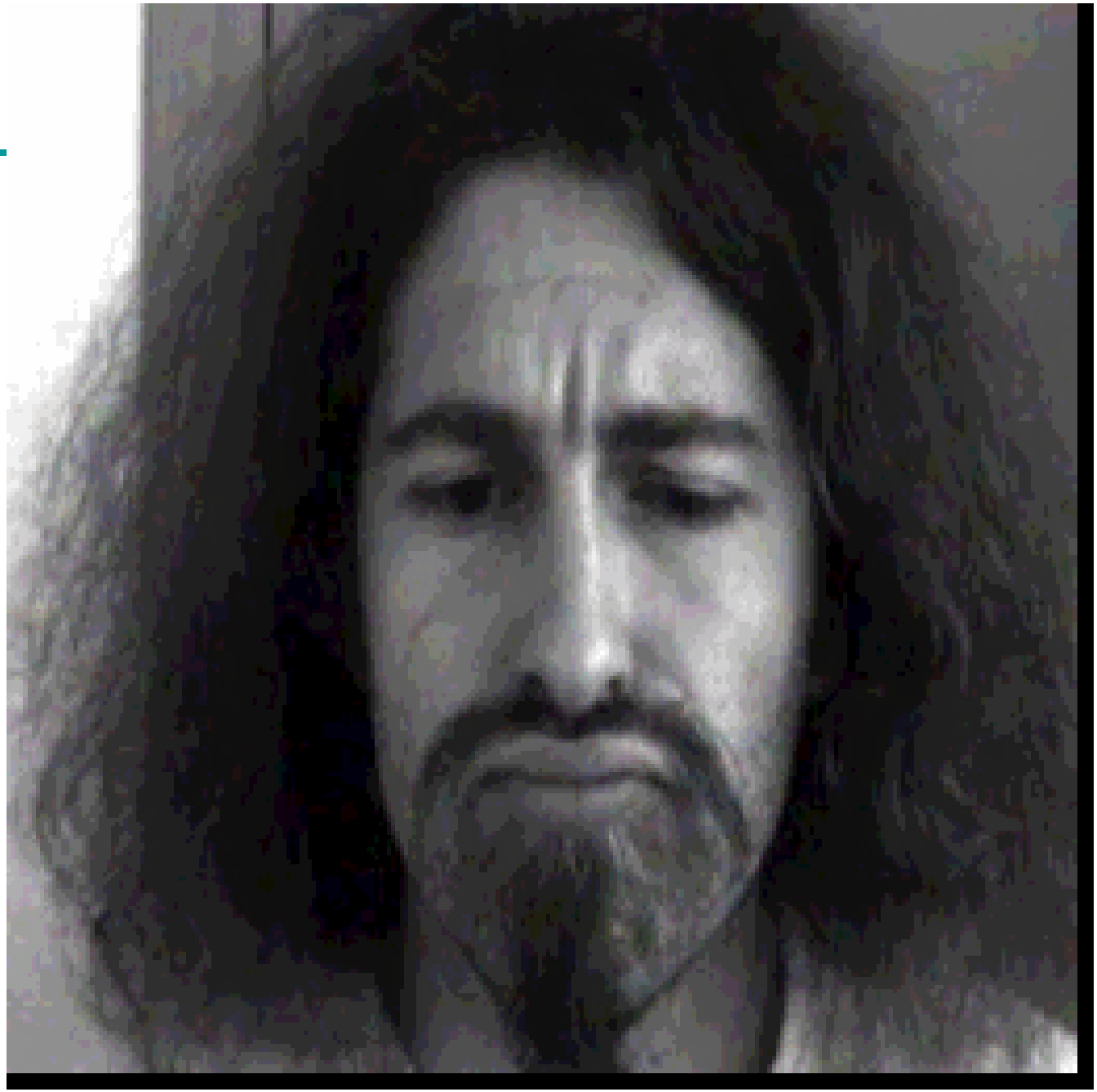
Conclusion

- **Modèle social original**
  - Stigmergie basée sur la soie (et non phéromone)
  - Validé par biologistes
  - Simple: peu d'états internes et peu d'items comportementaux
- **Rôle de l'attraction pour la soie**
  - Finitude (ou non) de la toile
  - Densité en soie
  - Agrégation ou juxtaposition des toiles

➔ **La taille dépend de l'attraction pour la soie**

  - Nouvelle hypothèse biologique: attraction dépend de la satiété

Conclusion

- **Intérêt de la simulation MA**
  - Concepts proches de ceux utilisés par les biologistes
    - Communication plus aisée
  - Tester des hypothèses, expliquer, prédire ..
  - Notion de laboratoire virtuel
- **Mais**
  - Réglage des paramètres
  - Relation au temps

- **Merci …**