

# Fondements des Systèmes Multi-Agents

Joël Quinqueton  
LIRMM  
Montpellier, France

## Plan du Cours

1. Motivations	4
2. Origines	11
1. Tableaux Noirs	12
2. Acteurs	16
3. Problématique	19
4. Agents	24
1. Situés ou communicants	26
2. Cognitifs ou réactifs	29

septembre 06

M2R Informatique

2

## Sources du Cours

- Réf: J. Ferber, "Les systèmes multi agents", InterEditions, 1995
- d'après Tutorial Ferber & Gasser, Avignon 91
- d'après cours en ligne Alexis Drogoul, LIP6  
<http://www-poleia.lip6.fr/~drogoul/>
- D'après le cours de Catherine Garbay (TIMC-IMAG), avec son aimable autorisation
- <http://www.rennard.org/>

septembre 06

M2R Informatique

3

## Motivations (1)

- Systèmes actuels: unicité de l'expert trop souvent considérée
  - se rapprocher de la réalité décisionnelle:
  - faire apparaître la multiplicité des experts et la multiplicité des relations entre experts (coopération, compétition, négociation, ...)
- du décideur individuel aux réseaux de décideurs:
  - population d'agents autonomes en interaction
  - métaphore des organisations
  - on met l'accent sur l'interaction

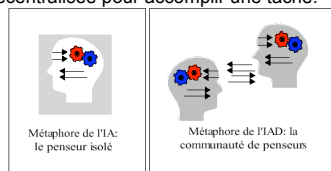
septembre 06

M2R Informatique

4

## Motivations (2)

- Première définition
  - SMA: un système dans lesquels des agents artificiels opèrent collectivement et de façon décentralisée pour accomplir une tâche.



septembre 06

M2R Informatique

5

## Motivations (3)

- Point de Vue de l'IA (modéliser le problème)
  - les entités physiques sont distinctes (contrôle aérien)
  - les problèmes sont spatialement distribués (supervision de réseau)
  - les problèmes sont fonctionnellement distribués (pilotage d'un bateau)
  - les experts sont multiples (conception d'un avion)
  - on manque de méthode globale de résolution rapide (explosion combinatoire, « diviser pour régner »)

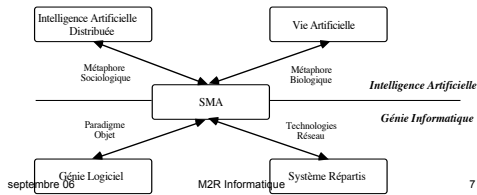
septembre 06

M2R Informatique

6

## Motivations (4)

- Point de vue Informatique (garantir la conception)
  - systèmes répartis
  - haut niveau de spécification
  - sûreté de Fonctionnement

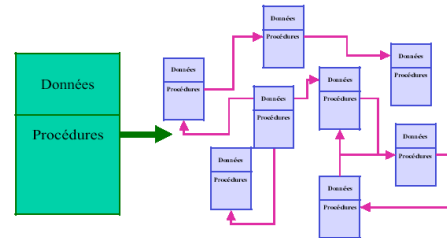


septembre 06

M2R Informatique

7

## Distribution Informatique

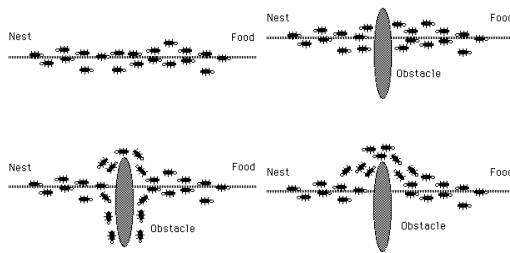


septembre 06

M2R Informatique

8

## Distribution Physique

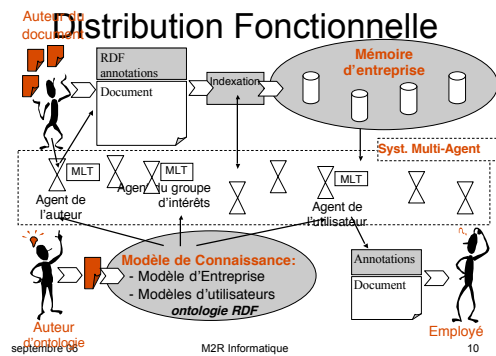


septembre 06

M2R Informatique

9

## Distribution Fonctionnelle



septembre 06

M2R Informatique

10

## Origines

- Trois approches ont façonné les SMA pendant de nombreuses années
  - Tableaux Noirs (Erman, système HEARSAY II, 1973)
  - Acteurs (Hewitt, 1973)
  - La vie artificielle (Langton 1987)

septembre 06

M2R Informatique

11

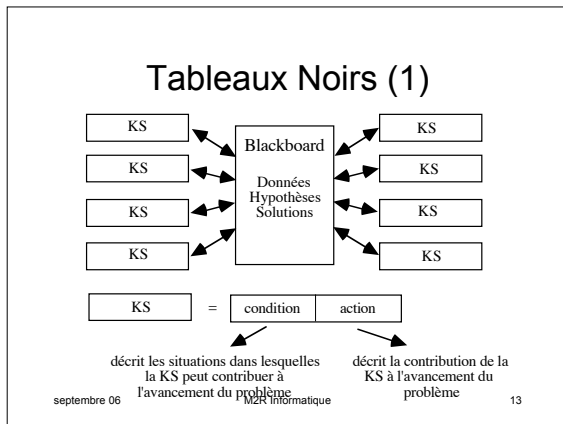
## 3 origines

- des solutions qui s'opposent par les modes de communication et de contrôle
  - BB (blackboard): partage d'information, contrôle opportuniste
  - Acteurs: envoi de messages, solution totalement distribuée
  - Vie Artificielle: pas de messages ni de partage d'information, traces dans l'environnement

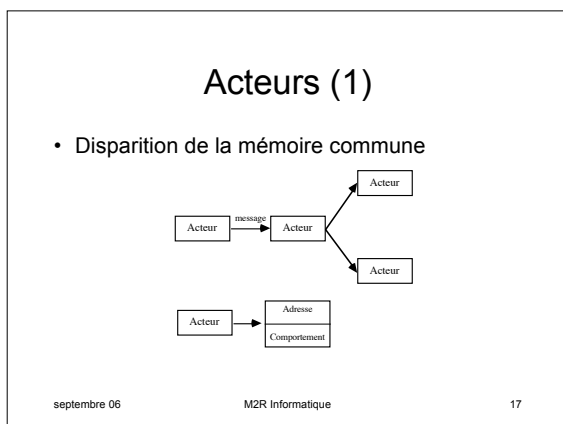
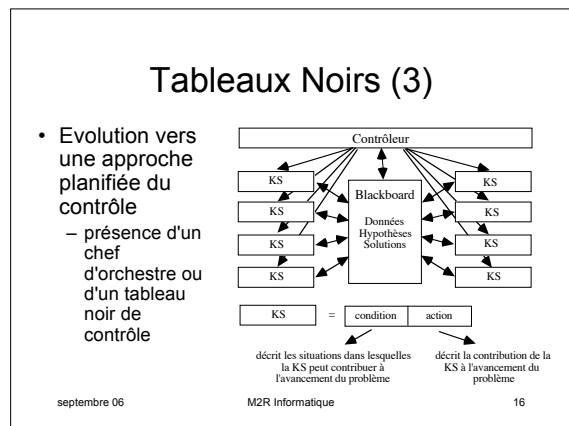
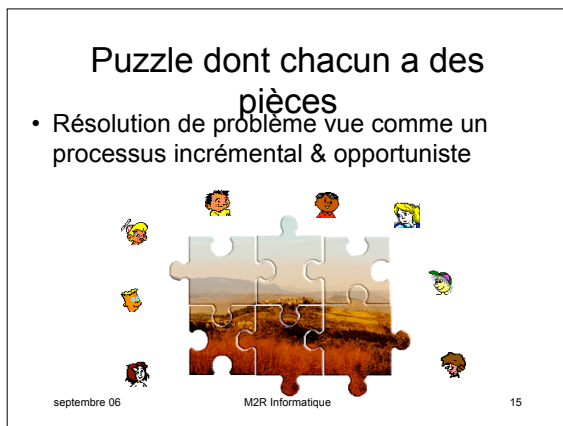
septembre 06

M2R Informatique

12



- ### Tableaux Noirs (2)
- tableau noir (espace de recherche partagé) où s'inscrivent les résultats obtenus par les sources de connaissances (KS)
    - KS: modules indépendants regroupant des connaissances homogènes
    - accèdent au tableau noir en lecture/écriture
    - forme : condition -> action
    - traquent les changements du BB: quand une configuration est reconnue (eg partie condition satisfaite), la partie action se déclenche et crée de nouveaux objets dans le tableau
- septembre 06 M2R Informatique 14



- ### Acteurs (2)
- Le modèle acteur: centré sur le principe du message
    - les acteurs sont réactifs, ils mettent en oeuvre un traitement en réponse à un message reçu d'un autre acteur, et sont capables d'envoyer des messages à d'autres acteurs.
  - Comportement:
    - exécuter une action
    - envoyer un message à lui-même ou à d'autres acteurs
    - créer d'autres acteurs
    - spécifier un comportement de remplacement
- septembre 06 M2R Informatique 18

## Acteurs (3)

- Fonctionnement:
  - à réception d'un message, vérifie si le message matche le comportement de l'acteur
  - si OK, exécute l'action correspondante;
  - principe de continuation: désigne l'acteur auquel envoyer le résultat du message
  - peut éventuellement déléguer à un autre (proxy)

septembre 06

M2R Informatique

19

## Vie artificielle

- Simulation
- Résolution de problèmes
- Calcul par émergence

septembre 06

M2R Informatique

20

## Simulations

- Les termites (starlogo/madkit)
- Les fourmis (java/madkit)
- Les robots (madkit)
- Sugarscape

septembre 06

M2R Informatique

21

## Starlogo

- Un langage (Logo)
- Des méthodes pour définir le comportement commun des entités (tortues) : setup, go, end,...
- Les termites : 2 états, un environnement simplifié

septembre 06

M2R Informatique

22

## Turtlekit

- Selon le modèle starlogo: setup, activate, end, die, move,...
- Fabien Michel, *Introduction to Turtle kit*, R.R. LIRMM 02215, juin 2002

septembre 06

M2R Informatique

23

## Sugarscape : Etude des sociétés artificielles

Growing  
Artificial  
Societies

Joshua M. Epstein  
Robert Axtell

Brookings Institution Press  
Washington, D.C.

The MIT Press  
Cambridge, Massachusetts & London, England

*Social Science from the Bottom Up*

septembre 06

M2R Informatique

24

## Problématique (1)

- Problèmes à résoudre:
  - répartir les tâches et les connaissances
  - coordonner les agents
  - gérer les conflits et le maintien de la cohérence
  - permettre la communication
- Deux aspects à traiter:
  - Aspects microscopiques (orientés agent)
  - Aspects macroscopiques (orientés système)

septembre 06

M2R Informatique

25

## Deux aspects à traiter:

- Aspects microscopiques (orientés agent)
  - comment construire un agent capable d'agir de manière autonome,
  - quelles sont ses représentations et ses comportements
- Aspects macroscopiques (orientés système)
  - comment construire une organisation capable d'agir de manière coopérative
  - quels sont ses moyens de communication et de coordination

septembre 06

M2R Informatique

26

## Problématique (2)

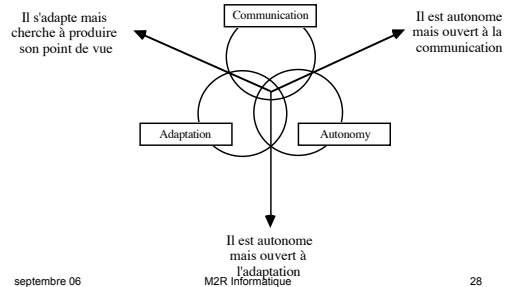
Point de vue	Agent	Organisation
<b>IA</b>	connaissances et croyances savoir-faire et intentions communication	conflits et cohérence contrôle et coordination
<b>Vie Artificielle</b>	comportement perception adaptation	couplage à l'environnement influences et dépendances co-détermination individu/collectif
<b>Génie Logiciel</b>	encapsulation héritage	distribution ouverture

septembre 06

M2R Informatique

27

## Une Recherche de Compromis

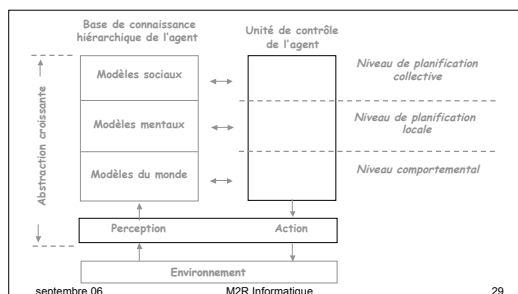


septembre 06

M2R Informatique

28

## Modèles d'Agents



septembre 06

M2R Informatique

29

## Agent: définition (Ferber 91)

- Entité physique ou virtuelle
  - mue par un ensemble de tendances (objectifs individuels, fonction de satisfaction ou de survie à optimiser)
  - possède des ressources propres
  - ne dispose que d'une représentation partielle (éventuellement aucune) de son environnement
  - comportement tendant à satisfaire ses objectifs, en tenant compte de ses ressources et de ses compétences, et en fonction de sa perception, ses représentations et ses communications

septembre 06

M2R Informatique

30

## Plusieurs types d'agents

- Selon qu'ils peuvent, ou non:
  - communiquer directement avec d'autres agents
  - agir dans un environnement
  - percevoir (éventuellement de manière limitée) son environnement
  - se reproduire
  - posséder des compétences et offrir des services
- Agents situés vs communicants

septembre 06

M2R Informatique

31

## Situé ou Communicant (1)

- Agent purement situé:
  - l'environnement possède une métrique,
  - les agents sont situés à une position dans l'environnement qui détermine ce qu'ils perçoivent;
  - ils peuvent se déplacer;
  - il n'y a pas communications directes entre agents, elle se font via l'environnement

septembre 06

M2R Informatique

32

## Situé ou Communicant (2)

- Agent purement communicant:
  - il n'y a pas d'environnement au sens physique du terme,
  - les agents n'ont pas d'ancrage physique,
  - ils communiquent via des informations qui circulent entre les agents

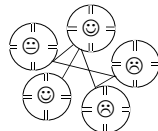
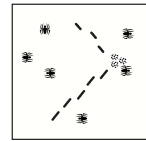
septembre 06

M2R Informatique

33

## Situé ou Communicant (3)

- Société de Fourmis
  - La résolution du problème s'inscrit dans l'environnement physique et dans l'organisation physique trouvée par les agents
- Réseau de décideurs
  - la résolution du problème s'inscrit dans une structure conceptuelle et dans les modes de coopération entre agents



septembre 06

M2R Informatique

34

## Cognitifs ou Réactifs (1)

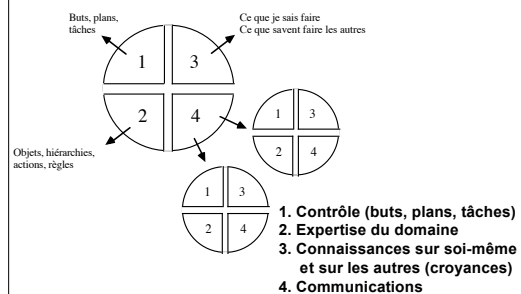
- Agent cognitif:
  - représentation explicite de l'environnement et des autres agents
  - peut tenir compte de son passé et dispose d'un but explicite
  - mode "social" d'organisation (planification, engagement)
  - petit nombre d'agents (10/20), hétérogènes à gros grain
- Les relations entre agents s'établissent en fonction des collaborations nécessaires à la résolution du problème

septembre 06

M2R Informatique

35

## Agents Cognitifs



septembre 06

M2R Informatique

36

## Cognitifs ou Réactifs (2)

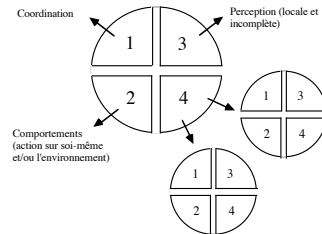
- Agent réactif:
  - pas de représentation explicite de l'environnement
  - pas de mémoire de son histoire, ni de but explicite
  - comportement de type stimulus réponse
  - mode "biologique" d'organisation
  - grand nombre d'agents (>100), homogènes à grain fin
- La structure du système émerge des comportements et non d'une volonté d'organisation

septembre 06

M2R Informatique

37

## Agents Réactifs



1. Contrôle
2. Comportements
3. Perception
4. Reproduction

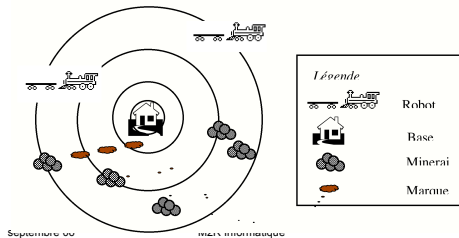
septembre 06

M2R Informatique

38

## Agents Réactifs (exemple)

- Problème: un ensemble de robots doivent trouver du minerai et le rapporter à la base



septembre 06

M2R Informatique

39

## Règles de comportement

Explorer	je ne porte rien et je ne perçois aucun minerai et je ne perçois aucune marque	explorer de manière aléatoire
Suivre Marque	je ne porte rien et je ne perçois aucun minerai et je perçois une marque	se diriger vers cette marque
Trouver	je ne porte rien et je perçois du minerai	prendre un échantillon de minerai
Rapporter	je porte du minerai et je ne suis pas à la base	retourner à la base et déposer une marque
Déposer	je porte du minerai et je suis à la base	déposer le minerai

septembre 06

M2R Informatique

40

## Life and Death on the Sugarscape

- Chapitre 2: Le modèle "Agents in a Sugarscape"
  - Chaque position de l'univers est une réserve de sucre de capacité fixée au départ. Elle se renouvelle selon une loi donnée au départ également ( $G_{it}$ : la réserve se reconstitue de  $\alpha$  à chaque pas de temps)
  - Chaque agent voit dans les 4 directions (N, S, E, O) jusqu'à une distance  $d$  donnée au départ. Il a besoin de  $q$  (métabolisme donné au départ) sucre par unité de temps, sinon il meurt.
  - Comportement de base (M): aller vers le point que l'on voit et qui contient le plus de sucre. En cas d'ex-aequo prendre le plus proche.

septembre 06

M2R Informatique

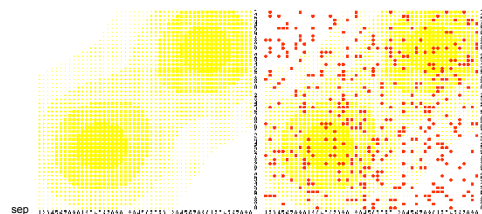
41

## Le Sugarscape

22 LIFE AND DEATH ON THE SUGARSCAPE

Figure II-1. A Sugarscape

Figure II-2. Sugarscape with Agents



SEP

## Simulations 1 et 2

- Simulation 1 : Règle  $G_\omega$
- Simulation 2 : Règle  $G_1$

septembre 06

M2R Informatique

43

## Simulations 1 et 2: remarques

- Au départ on considère une population de base:
  - chaque agent se comporte selon (M) en accumulant ainsi du sucre
  - q en principe uniformément distribué de 1 à 4
  - d de 1 à 6
  - l'environnement se comporte selon ( $G_\omega$ ), c'est à dire une reconstitution immédiate
- Ce que l'on constate :
  - les agents se groupent vers les points culminants du "sugarscape"
  - quand on passe de  $G_\omega$  à  $G_1$ , la mobilité augmente
  - Une "pression de sélection" est observée, puisque le champ de vision moyen passe de 3,5 à 4,1 et le métabolisme moyen de 2,5 à 1,8

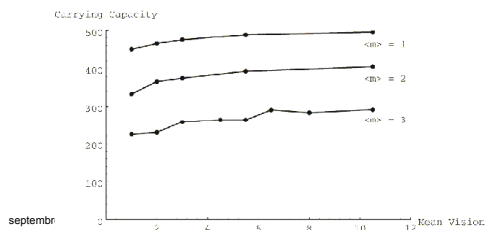
septembre 06

M2R Informatique

44

## L'environnement

- Il apparaît une notion de capacité d'hébergement de l'environnement, qui est fonction du métabolisme moyen, et qui augmente légèrement avec la distance d de vision.



septembr

## Simulation 3

- Dans un second temps:
  - Règle R[a,b]: les agents ont une durée de vie limitée selon un paramètre qui leur est propre (tiré aléatoirement dans un intervalle [a,b])
  - quand un agent meurt, il est remplacé par un agent d'âge 0 dont la position et les paramètres sont choisis aléatoirement.
  - Le renouvellement des réserves dans l'environnement se fait selon la règle  $G_1$ .

septembre 06

M2R Informatique

46

## Emergence des inégalités?

- On étudie l'évolution des richesses des agents:
  - l'intervalle [a,b] est choisi à [60,100]
  - la population est approximativement la capacité d'hébergement (250)
  - histogramme par tranche
  - critère de Gini et courbe de Lorenz
- Ce que l'on constate:
  - augmentation de l'inégalité au fur et à mesure que la richesse totale augmente:
  - constatée sur l'évolution de l'histogramme et de la courbe de Lorenz
  - le critère de Gini passe de 0,230 à 0,503
  - au départ, l'histogramme de la richesse était quasi symétrique (distribution unimodale à grand écart type).

septembre 06

M2R Informatique

47

## Simulation 4

- Une autre vision
  - Courbe de Lorenz
  - Indice de Gini

septembre 06

M2R Informatique

48

## Simulation 5 : Les liens sociaux

- Etude des liens sociaux:
  - les voisins d'un agent sont les agents qu'il **cotoie** (ses voisins au sens de Von Neuman) immédiatement **après** son déplacement.
  - ces liens sont recalculés à chaque pas de temps.
- Etude de l'évolution du graphe (non symétrique)
  - Nombre moyen de voisins: 0,8 à 0,9,
  - écart type 0,8 à 0,9
- Si les agents ne peuvent envoyer des messages qu'à leurs voisins, quelles sont les chances d'un message de traverser le sugarscape?

septembre 06

M2R Informatique

49

## Simulation 6: migrations

- Au départ, tous les agents sont dans un bloc carré en bas à gauche
- Même paramètres qu'au début
- *Les agents ne peuvent se déplacer que dans les 4 directions, mais collectivement ils se déplacent en diagonale*

septembre 06

M2R Informatique

50

## Simulation 7: saisons

- Migrations saisonnières: règle  $S_{\alpha\beta\gamma}$ 
  - c'est l'hiver dans la moitié supérieure et l'été dans la moitié inférieure
  - reconstitution de l'environnement à la vitesse  $\alpha$  en été et  $\beta$  en hiver
  - changement de saison par période de  $\gamma$
  - *oscillations de la population d'agents*

septembre 06

M2R Informatique

51

## Simulation 8: pollution

- Les sites choisis sont ceux pour lesquels le rapport sucre / pollution est maximal
- la production de pollution est donnée par une règle  $P_{\alpha\beta}$ 
  - Chaque fois que  $s$  sucre est pris au "sugarscape",  $\alpha \cdot s$  pollution est créée,
  - Chaque fois que  $m$  sucre est métabolisé,  $\beta \cdot m$  pollution est créée.

septembre 06

M2R Informatique

52

## Les fourmis

- Résoudre des problèmes
- Marquer les parties de solutions
- Exemple du TSP
- Coloration de graphes: marquer ceux qui sont souvent de la même couleur
- Démo: AntKit

septembre 06

M2R Informatique

53

## Suite du cours

1. Sociétés & Organisations (J. Ferber)
  1. Modes d'Organisation
  2. Communication
  3. Interaction et coopération
  4. Allocation de Tâches
  5. Coordination
2. Développement à base d'agents
3. Normes (T. Stratula)
4. Emergence

septembre 06

M2R Informatique

54