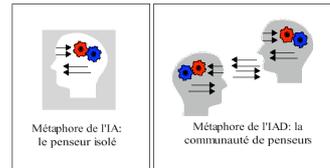


Introduction aux systèmes multi-agent (SMA)

Joël Quinqueton
LIRMM et CERIC
Montpellier, France

Motivations

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



12/01/05

DESS Multimedia

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

12/01/05

DESS Multimedia

3

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

12/01/05

DESS Multimedia

4

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
- Agents cognitifs vs réactifs

12/01/05

DESS Multimedia

5

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

12/01/05

DESS Multimedia

6

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

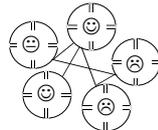
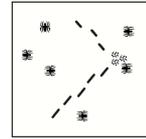
12/01/05

DESS Multimedia

7

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



12/01/05

DESS Multimedia

8

Cognitifs ou Réactifs (1)

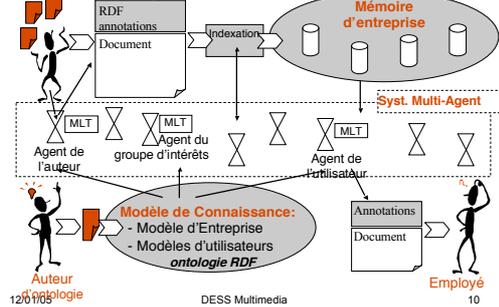
- Agent cognitif:
 - représentation explicite de l'environnement et des autres agents
 - peut tenir compte de son passé et dispose d'un but explicite
 - mode "social" d'organisation (planification, engagement)
 - petit nombre d'agents (10/20), hétérogènes à gros grain
- Les relations entre agents s'établissent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

12/01/05

DESS Multimedia

9

Agents cognitifs



12/01/05

DESS Multimedia

10

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

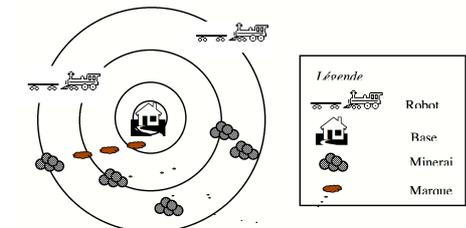
12/01/05

DESS Multimedia

11

Agents Réactifs (exemple)

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



12/01/05

DESS Multimedia

12

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

12/01/05

DESS Multimedia

13

Caractéristiques d'un SMA

- Un SMA peut-être :
 - ouvert : les agents y entrent et en sortent librement (ex: un café)
 - fermé : l'ensemble d'agents reste le même (ex: un match de football)
 - homogène : tous les agents sont construits sur le même modèle (ex: une colonie de fourmis)
 - hétérogène : des agents de modèles différents, de granularité différentes (ex: l'organisation d'une entreprise)

12/01/05

DESS Multimedia

14

Modes d'Organisations

- Organisation:
 - Façon dont le groupe est constitué pour pouvoir travailler (pas de définition unifiée)
 - Décrit
 - l'ensemble des composants, leur nature, leurs responsabilités, leurs besoins en ressource (processeurs) et leurs liens de communication ou d'arrangement
 - un ensemble de données à traiter (l'environnement)
 - un ensemble de tâches à réaliser
 - Propriétés
 - définit un cadre pour l'interaction
 - produite par l'interaction entre les agents
 - peut être statique ou dynamique

12/01/05

DESS Multimedia

15

L'intelligence de l'essaim

Swarm intelligence

Quand l'intelligence vient du collectif



12/01/05

DESS Multimedia

16

Les coactones

- Toute substance chimique responsable d'une interaction entre deux organismes (Florkin)
- Pheromone, du grec *pherein* (transporter) et *hormân* (exciter)
- En Anglais *pheromone*
- Substance spécifique d'une espèce.
- Se trouve chez les insectes et les vertébrés

12/01/05

DESS Multimedia

17

Les phéromones des insectes

- Sexuelles:
 - papillon femelle *bombyx mori* (quelques molécules suffisent)
 - Papillon *Porthetria dispar* (capture des mâles)
 - Blatte *Periplaneta americana* ($10^{-14}\mu\text{g}$)
 - Reine des abeilles: la « substance royale »
 - transmise par échange de nourriture
 - attire les bourdons
 - inhibe l'ovogénèse chez les ouvrières
- Alarme et défense
 - Abeilles: acétate d'isoamyle
 - Fourmis: nombreuses substances

12/01/05

DESS Multimedia

18

Les phéromones des vertébrés

- Marquage de territoire, reconnaissance de l'espèce, accouplement
- Glandes à parfum du chevreton porte musc
- Civettone de la civette, du rat d'Amérique, chez des canards, certaines tortues et des alligators
- Daim, souris mâle
- Chez les primates: lié à l'odorat, en débat actuellement

12/01/05

DESS Multimedia

19

Notion de Stigmergie

- Les échanges d'informations passent par une modification de l'environnement
 - concentrations locales de phéromones
- baptisé Stigmergie par P.P. Grassé en 1959
 - « La théorie de la Stigmergie : Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs. », Insectes Sociaux, 6, 1959, p. 41-80.
 - *stigma* = piqûre
 - *ergon* = travail, œuvre
 - œuvre stimulante: L'ouvrier ne dirige pas son travail, il est guidé par lui.

12/01/05

DESS Multimedia

20

Le comportement

- Regroupement des cadavres
 - Similaire au regroupement des copeaux chez les termites
 - Pas de dépôt de phéromone nécessaire
 - Vision locale: on obtient plusieurs tas
- Recherche de nourriture
 - Ramener le plus efficacement possible de la nourriture au nid
 - Dépôt de phéromone

12/01/05

DESS Multimedia

21

Les araignées sociales

- ~15 espèces d'araignées sociales sur quelques milliers
- *Anelosimus eximius* (Guyane française)
 - Partagent la même toile
 - Coopèrent pour
 - élevage des petits,
 - capture et transport des proies
- Détection de régions dans des images
 - Construction collective de la toile

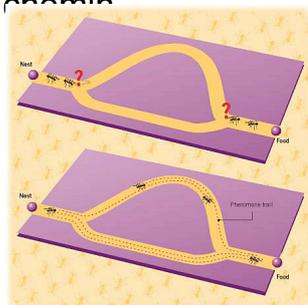
12/01/05

DESS Multimedia

22

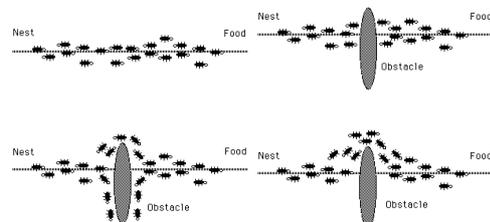
Une recherche du plus court chemin

- Plus de phéromone sur le plus court chemin



12/01/05

S'adapter aux changements



12/01/05

DESS Multimedia

24

Application en intelligence artificielle

- Inspiré du comportement des fourmis réelles
- Travaux de Marco Dorigo depuis 1992: les *Ant algorithms*
- Les fourmis suivent de préférence les chemins riches en phéromone
- Retrouvent le plus court chemin en cas d'obstacle

12/01/05

DESS Multimedia

25

Modèle stochastique de Deneubourg et Goss (1989)

- 2 branches (s et l) et deux points de décision (1 et 2). Probabilité $P_{is}(t)$ de choisir la branche s au point i à l'instant t en fonction de la phéromone.
- La phéromone est fonction du flux de fourmis

$$p_{is}(t) = \frac{(t_s + \varphi_{is}(t))^\alpha}{(t_s + \varphi_{is}(t))^\alpha + (t_s + \varphi_{il}(t))^\alpha}$$

$$\frac{d\varphi_{is}}{dt} = Np_{js}(t - t_s) + Np_{is}(t) \quad \frac{d\varphi_{il}}{dt} = Np_{jl}(t - r.t_s) + Np_{il}(t)$$

12/01/05

DESS Multimedia

26

Généralisation

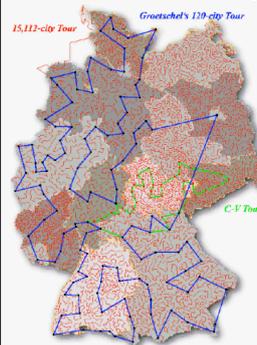
- Feedback positif (auto catalytique)
- La piste de phéromone est plus vite reconstituée sur le plus court chemin
- Toutes les fourmis vont approximativement à la même vitesse

12/01/05

DESS Multimedia

27

Le problème du voyageur de commerce



- Trouver le chemin le plus court passant une fois et une seule dans chaque ville
- N villes: $N!$ chemins possibles (3 millions pour 10 villes!)

Multimedia

28

Voyageur de commerce

- Chaque fourmi est un agent
 - Doté d'une mémoire de travail (liste des villes déjà visitées)
 - Se promène d'une ville à une autre
 - Choisit la ville suivante en fonction
 - De la quantité de phéromone
 - D'une fonction décroissante de la distance
- Choix non déterministe
- Chaque fourmi est autonome
 - Elle part d'un sommet choisi au hasard

12/01/05

DESS Multimedia

29

Déroulement

- Au début: pas de phéromone
 - Chaque fourmi va probablement vers le plus proche voisin
- Après un cycle
 - Chaque fourmi a trouvé un chemin
 - Mise à jour de la phéromone le long du chemin
 - Inverse de la longueur du chemin
 - Les arêtes composant les chemins courts selon choisies plus souvent en moyenne au cycle suivant
 - Apprentissage par renforcement

12/01/05

DESS Multimedia

30

La phéromone

- A chaque passage sur une arête a:
 - $f(a) := (1-p)*f(a) + p*f_0$
 - p et f_0 sont des paramètres
- Quand la fourmi a terminé le tour:
 - Évaporation de la phéromone
 - soit c le chemin trouvé
 - pour tout a dans c:
 - $f(a) := (1-p)*f(a) + p/|c|$,

12/01/05

DESS Multimedia

31

Point fixe

- S'il n'y a de la phéromone que sur un chemin:
 - il n'y en aura jamais plus ailleurs
 - Choix déterministe: l'arête optimise $f(a)p(a)$ car c'est la seule avec $f(a) > 0$
 - Choix probabiliste: l'arête est choisie avec une probabilité 1
- Donc convergence dès que toutes les fourmis choisissent le même chemin
 - Le système peut être arrêté

12/01/05

DESS Multimedia

32

Expérimentation

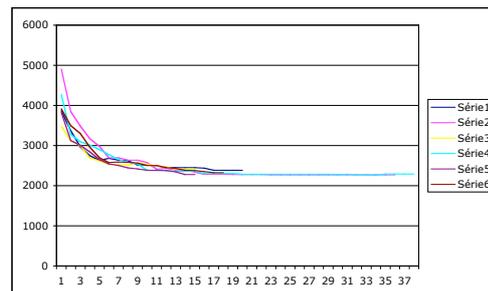
- 40 villes
- 400 fourmis
- Exposant b = 3
- Evaporation p = 25%
- Probabilité q = 25%
- Phéromone $f_0 = 1$.

12/01/05

DESS Multimedia

33

Résultats



Vers une méta heuristique

- État interne d'une fourmi:
 - De quoi représenter une éventuelle solution (même mauvaise)
- Dépôt de phéromone:
 - Une fois qu'une solution candidate est trouvée
 - Fonction de la qualité de la solution

12/01/05

DESS Multimedia

35

Problèmes statiques

- Voyageur de commerce
- Quadratic assignment: placer des installations
 - on donne des flots entre installations: min flot total
- Affectation de tâches
- vehicle routing
 - Visite de tous les clients par une flotte de véhicules de livraison
- Plus petite surséquence commune
 - ($L = \{bcab, bccb, baab, acca\} \Rightarrow baccab$).
- Coloration de graphe
- Ordre séquentiel
 - circuit hamiltonien de poids minimal sur un graphe orienté

12/01/05

DESS Multimedia

36

Problèmes dynamiques

- Routage (orienté par les connections) dans les réseaux
- Routage sans connection (connection-less)
- D'après Marco Dorigo Gianni Di Caro and Luca M. Gambardella, *Ant Algorithms for Discrete Optimization*, Artificial Life, Vol.5, No.3, pp. 137-172, 1999.

12/01/05

DESS Multimedia

37

Théorie des jeux

- Le besoin de communication
- Le dilemme du prisonnier
 - chaque prisonnier peut avouer ou non
 - si aucun n'avoue : 2 ans
 - si les 2 avouent: 4 ans
 - si un seul avoue: il est libre et l'autre a 5 ans

12/01/05

DESS Multimedia

38

Jeux à 2 joueurs

	J2: d1	J2: d2
J1: d1	x,x	u,v
J1: d2	v,u	y,y

- Jeux symétriques
- Jeu d'accord social ssi:
 - x ou $y > 0$ et , si x et $y > 0$, alors $x=y$
 - u ou v négatif

12/01/05

DESS Multimedia

39

Dilemme des prisonniers

	J2: d1	J2: d2
J1: d1	-2,-2	-5,0
J1: d2	0,-5	-4,-4

- $x = -2, y = -4$
- $u = -5, v = 0$
- Ce n'est pas un jeu d'accord social

12/01/05

DESS Multimedia

40

Jeu de coordination

	J2: d1	J2: d2
J1: d1	1,1	-1,-1
J1: d2	-1,-1	1,1

- $x = y = 1$
- $u = v = -1$
- C'est un jeu d'accord social

12/01/05

DESS Multimedia

41

Jeu de coopération

	J2: d1	J2: d2
J1: d1	1,1	-3,3
J1: d2	3,-3	-2,-2

- $x = 1, y = -2$
- $u = -3, v = 3$
- C'est un jeu d'accord social

12/01/05

DESS Multimedia

42

Equilibre de Nash

- Un jeu non coopératif décrit un cadre institutionnel dans lequel chaque joueur arrête seul ses choix sans consulter les autres joueurs.
- L'équilibre de Nash décrit une issue d'un jeu non coopératif dans lequel aucun joueur n'a intérêt à modifier sa stratégie, compte tenu des stratégies des autres joueurs.

12/01/05

DESS Multimedia

43

Définition

- Soit un jeu non-coopératif à n joueurs, et $s^* = (s_1^*, \dots, s_n^*)$ une combinaison de choix stratégiques de ces n joueurs
 - s_i^* est le choix stratégique du joueur i
 - $s_i^* \in S_i$, l'ensemble des stratégies praticables par le joueur i .
 - $u_i(s_1^*, \dots, s_n^*)$ est le gain du joueur i lorsque s^* est sélectionné.
- $\forall s_i \in S_i \quad u_i(s_1^*, \dots, s_i^*, \dots, s_n^*) > u_i(s_1^*, \dots, s_i, \dots, s_n^*)$

12/01/05

DESS Multimedia

44

Optimum de Pareto

- Préférence au sens de Pareto $>_P$:
 - Entre les états des agents d'un jeu
 - $(u_1, \dots, u_i, \dots, u_n) >_P (u'_1, \dots, u'_i, \dots, u'_n)$ ssi $\forall i \in [1, n], u_i \geq u'_i$
- Optimum de Pareto: maximum de cette relation
- on ne peut augmenter le gain d'un agent sans diminuer celui d'un autre

12/01/05

DESS Multimedia

45

Dilemme des prisonniers

	J2: d1	J2: d2
J1: d1	-2,-2	-5,0
J1: d2	0,-5	-4,-4

- équilibre de Nash: (d2,d2)
- optimum de Pareto: (d1,d1)
- Pour l'atteindre: suite de coups avec mémoire

12/01/05

DESS Multimedia

46

Stratégies sur des suites (1)

- **Donnant-donnant** : coopération au premier tour, puis stratégie précédente du partenaire.
- **Majorité mou** : choix majoritaire de l'adversaire, coopération si égalité et au premier tour.
- **Rancunière** : coopération, puis défection permanente si le partenaire fait une fois défection
- **Donnant-donnant dur** : coopération, sauf si le partenaire a trahi une des 2 fois précédentes
- **Gentille** : toujours coopérer
- **Périodique gentille** : séquence cyclique de deux coopération, puis une défection

12/01/05

DESS Multimedia

47

Stratégies sur des suites (2)

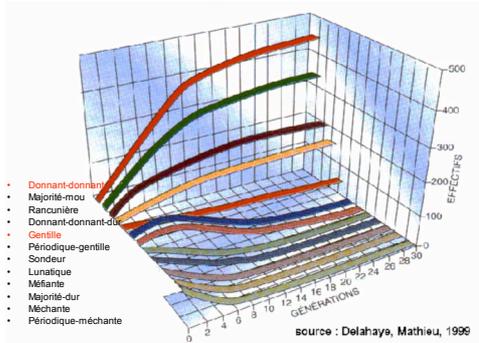
- **Sondeur** : séquence trahir, coopérer, coopérer
- **Lunatique** : défection une fois sur deux en moyenne (séquences aléatoires)
- **Méfiant** : défection au premier tour, puis stratégie précédente du partenaire
- **Majorité dur**: choix majoritaire de l'adversaire, défection si égalité et au premier tour.
- **Méchante** : toujours faire défection
- **Périodique méchante** : séquence cyclique de deux défections, puis une coopération

12/01/05

DESS Multimedia

48

Comparaison



Tournoi du 50e anniversaire

- Chaque équipe pouvait soumettre plusieurs programmes
- Équipe Nick Jennings (Southampton)
- Stratégie = séquence de 10 coups pour se reconnaître
 - Si oui: stratégie maître esclave
 - Si non: stratégie méchante

12/01/05

DESS Multimedia

50

Perspective: satisfaction de contraintes

- Les jeux de coordination permettent d'exprimer des contraintes entre valeurs de variables
- Il n'y a souvent pas d'équilibre de Nash (toutes les décisions se valent)
- Ce sont des jeux d'accord social
- Une solution représente une loi sociale (chaque joueur n'a plus qu'un choix)

12/01/05

DESS Multimedia

51

Pour en savoir plus...

- Numéro spécial de « pour la science »
 - N° 314, Décembre 2003
 - Sur les phénomènes d'émergence
- « Intelligence Collective »
 - de E. Bonabeau, G. Théraulaz,
 - Editions Hermès, 1994
- « Swarm Intelligence »,
 - de E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Théraulaz,
 - Oxford University Press, 1999
 - En Anglais
- « Ant Colony Optimization »
 - M. Dorigo, T. Stützle
 - MIT Press, 2004

12/01/05

DESS Multimedia

52

Sites Internet

- Site Starlogo:
 - <http://education.mit.edu/starlogo/>
- Site Madkit:
 - <http://www.madkit.org/>
- Mon mél
 - jq@lirmm.fr

12/01/05

DESS Multimedia

53