

*Master I      2020/2021*

*Ingénierie des Logiciels Complexes (ILC)*

*Systemes Multi-Agents*

Par : F. SAHEB

Email: sahebt2002@yahoo.fr

# Pourquoi des systèmes multi-agents?(1)

- Problème de génie logiciel:
  - Les systèmes deviennent de plus en plus complexes
    - Développer des techniques modulaires de réalisation de programmes.
    - Développer l'autonomie des entités informatiques.
    - Développer des « frames works » d'intégration de ces entités.
  - Les systèmes sont de plus en plus distribués
    - Techniques permettant à des entités informatiques « de collaborer » à distance de manière simple et transparente.

# Evolution des techniques

Du « cahaos » aux systèmes  
multi – cellulaires organisés

Assemblage  
binaire

Sub-routine

Procédure

Modules

Objets

Sociétés organisées  
d'agents autonomes

Objets mobiles

Objets distribués

# Pourquoi des systèmes multi-agents?(2)

- Problèmes de compréhension du monde:
  - Comment modéliser un monde bâti sur l'interaction?
    - Développer des techniques permettant de simuler le comportement d'entités autonomes en interaction avec d'autres entités et avec l'environnement?
    - Comment appréhender l'hétérogénéité?
    - Décrire différentes « espèces » d'entités, chaque espèce étant caractérisé par son comportement propre.
- Comment appréhender les phénomènes émergents (passage micro-macro)
  - En développant des techniques d'analyse de description du niveau micro et d'observation du niveau macro

# Où se trouve la difficulté?

- Les systèmes multi – agents nécessitent une évolution de notre manière de penser:
  - Toute notre conception scientifique et technique est fondée sur l'idée:
    - **Systeme = entité monobloc composée de sous systèmes bien identifiés et figés**
  - Et non sur l'idée :
    - **systeme = population d'entités autonomes en interactions complexes**

# L'exemple de l'IA

- Pour l'IA classique, l'intelligence est liée à une personne

Exemple :

- Les systèmes experts
- Le test de Turing
- La métaphore du penseur
  - Est-ce qu'une machine pense?
  - Est-ce qu'une machine sait quelque chose?

En IA (et philosophie) classique, un groupe ou une communauté, ne sont pas considérés comme « intelligents »

# Limites de l'approche classique (1)

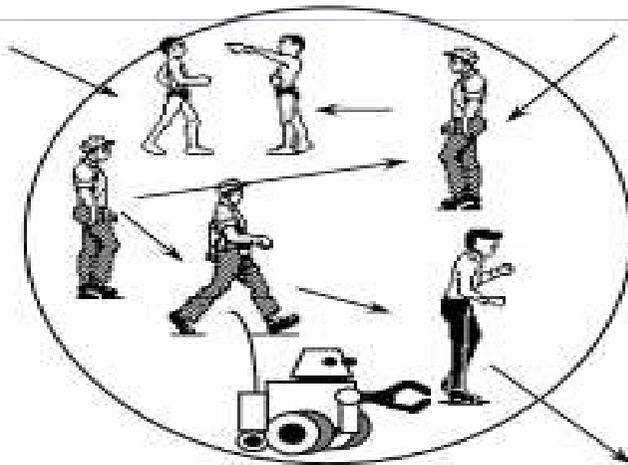
- Tous les accomplissements importants ont été réalisés par des groupes d'individus:
  - Monuments, temples, cathédrales, mosquées, pyramides,
  - voitures, avions, bateaux,.....
  - Ordinateurs, réseaux,.....
- Le « Web » ne doit son intérêt qu'à son aspect collectif
  - Idée « Global Computing »
  - De cognition (Forum, Wikipedia, etc...)

# Limites de l'approche classique (2)

- Les capacités cognitives d'un individu résultant de l'interaction qu'il entretient avec son environnement.
  - Education ( interaction avec le monde, interaction avec les autres)
  - Importance de l'interaction pour les idées nouvelles.
  - Importance des coutumes locales.

# Systemes multi - agents

- Systeme multi-agents = Population d'agents autonomes en interaction externes ou, resultant des traitements internes :

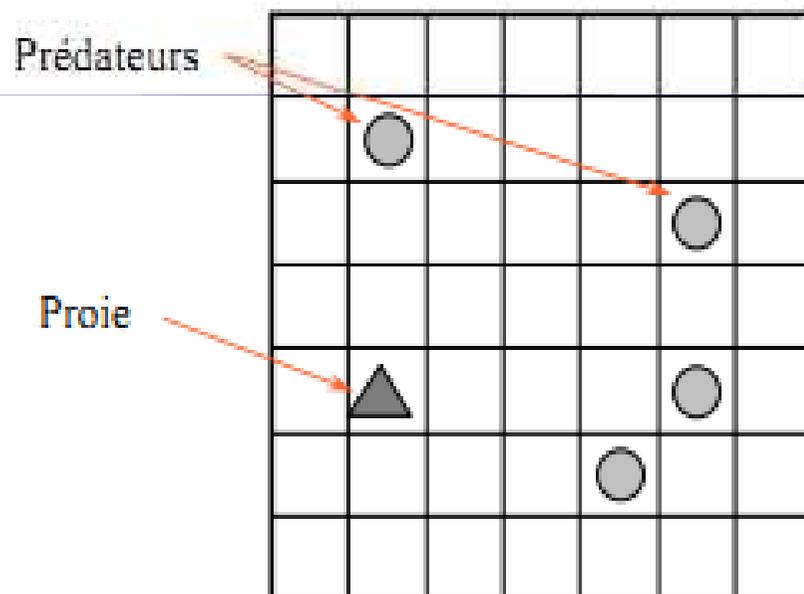


Métaphore de l'organisation sociale

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

# Un exemple classique

## Le problème de la poursuite (proie/prédateurs)



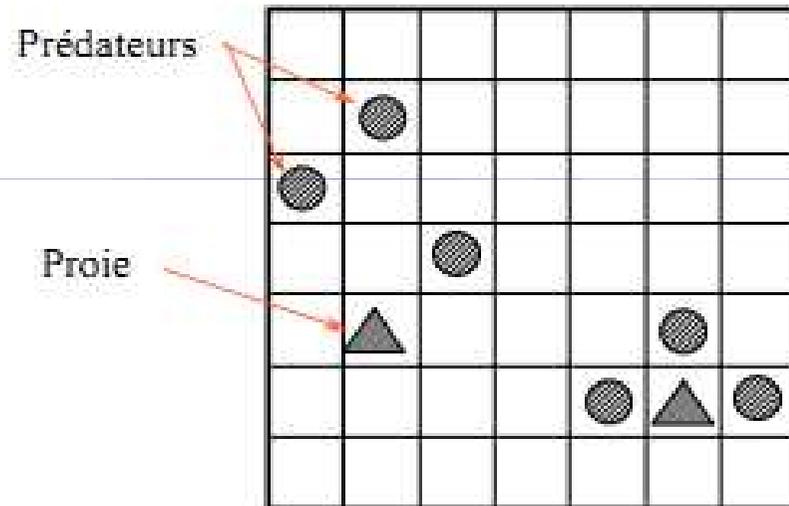
Objective:

Capturer une proie en l'entourant

Problème:

Comment des actions entre tous ces prédateurs peuvent être coordonnées?

# généralisation

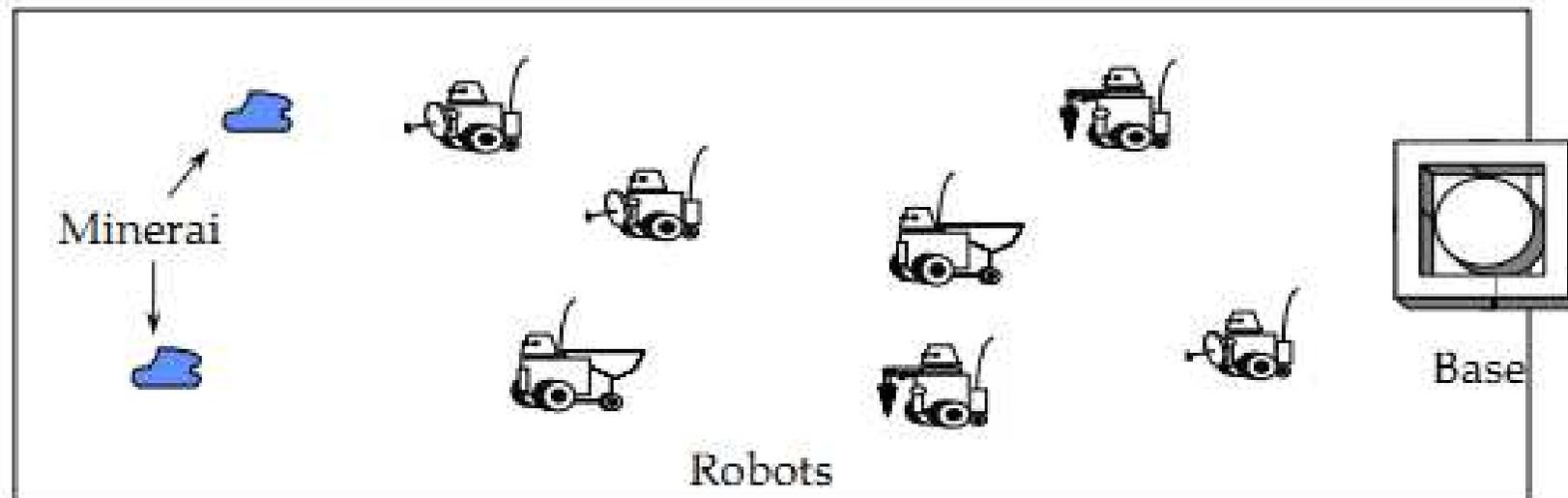


*Que se passe-t-il avec 6  
prédateurs et 2 proies?  
(ou plus de proies et de  
prédateurs)*

*interblocages possibles...*

# Allocation réactive de tâche

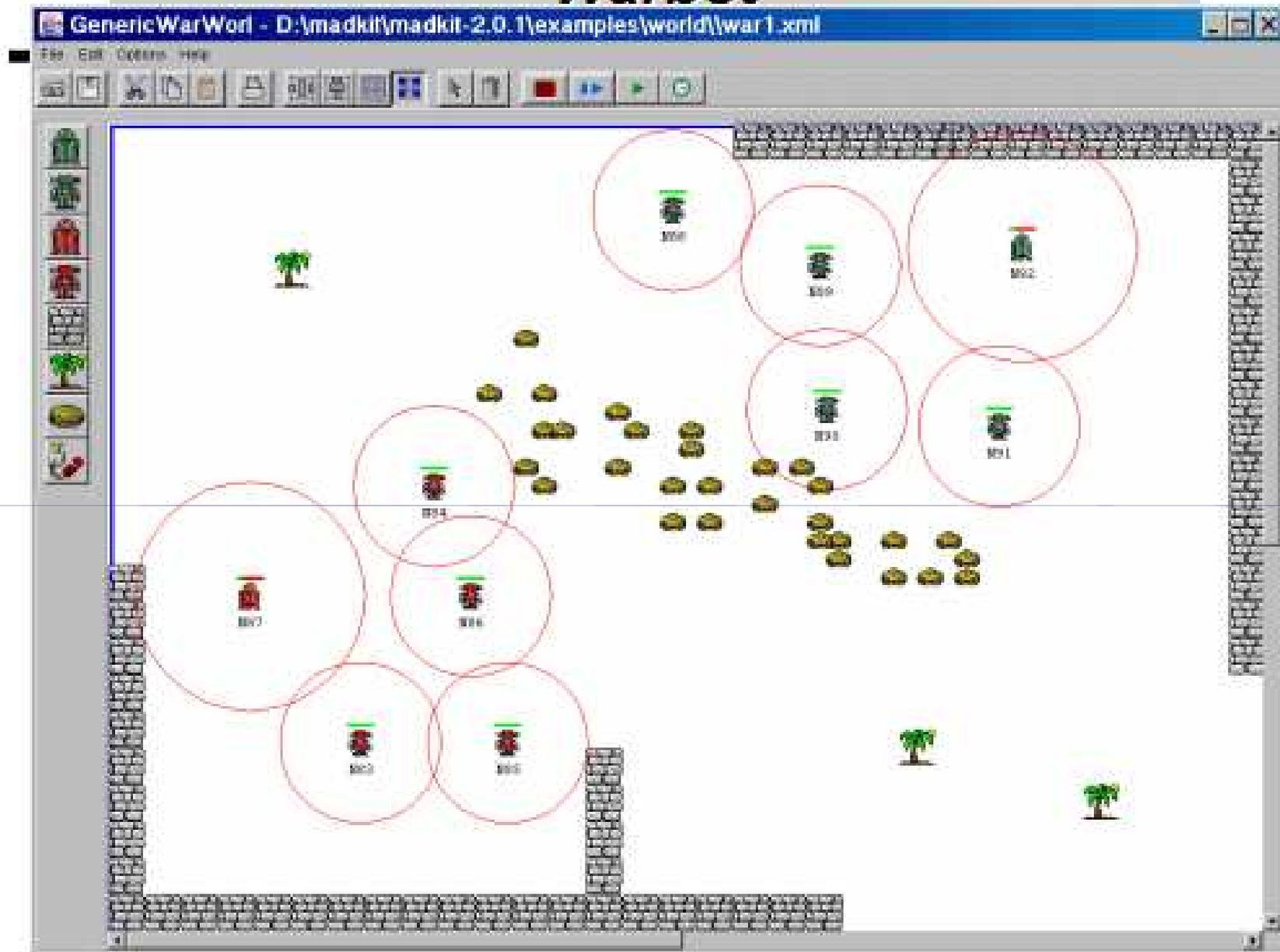
- ◆ Un ensemble de robots doivent collecter et ramener des échantillons de minerai à la base.
- ◆ **Problème:** comment décrire leur comportement et leur technique de coordination afin qu'ils remplissent leur mission, en supposant qu'ils ne disposent pas de représentations globale de leur espace.
- ◆ On peut imaginer des mécanismes de communication divers



# Projet WarBot

- 2 équipes de robots s'affrontent sur un terrain.
- Objectif :
  - Détruire les bases de l'autre équipe
- Contraintes :
  - Gérer des ressources (viabilité)
- Les règles et les données physiques des robots sont les même pour les 2 parties
  - La compétition ne porte que sur la définition des « têtes » des robots.
  - Le vrai problème consiste à coordonner les actions des robots.

# Warbot

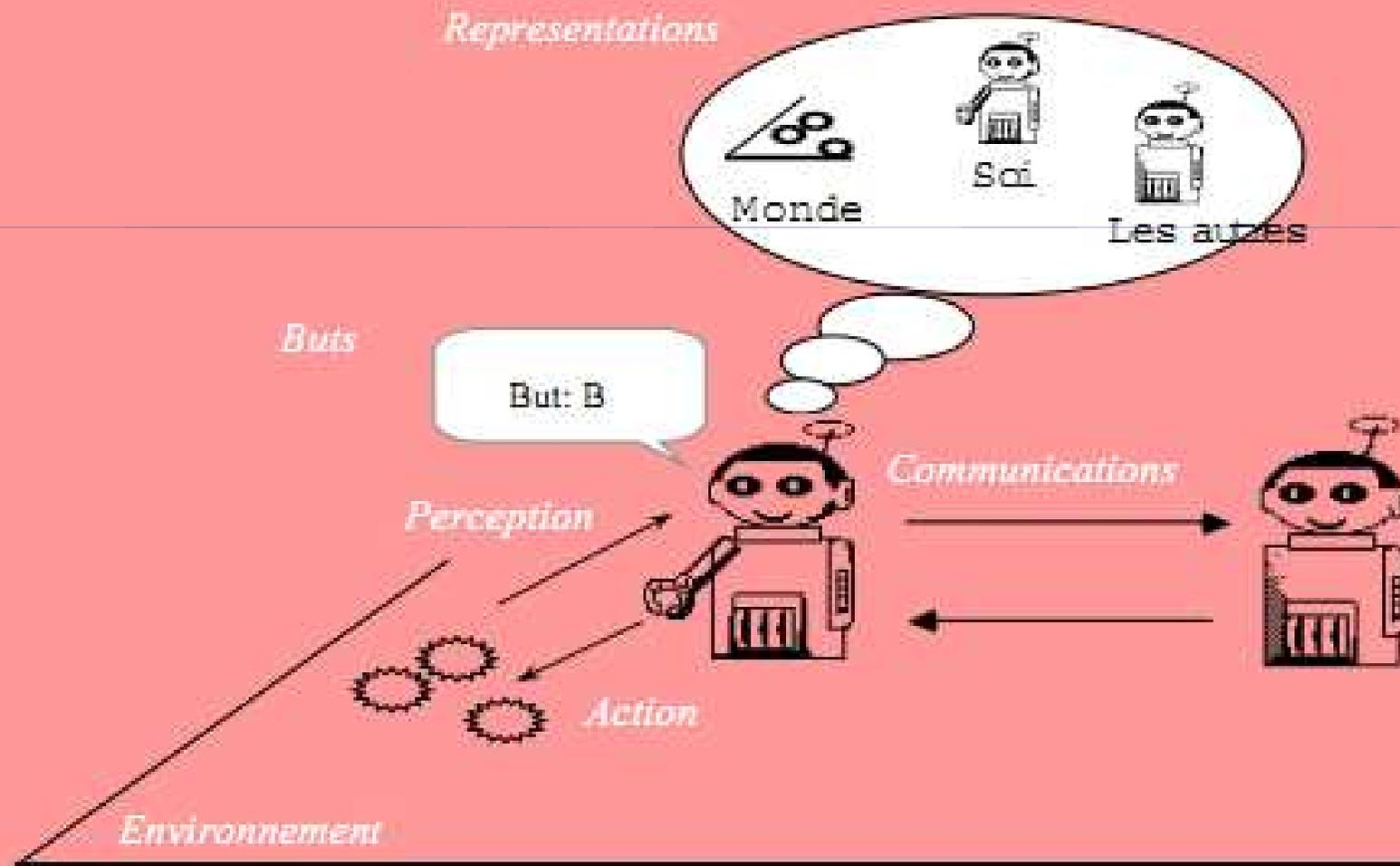


# Définition d'un système multi-agents

## ◆ Un SMA est défini comme:

- Un ensemble  $B$  d'entités plongées dans un environnement  $E$  ( $E$  est caractérisé par l'ensemble des états de l'environnement  $S$ )
- Un ensemble  $A$  d'agents avec  $A \subseteq B$
- Un système d'action (opérations) permettant à des agents d'agir dans  $E$  (une opération est une fonction de  $S \Rightarrow S$ )
- Un système de communication entre Agents (envoi de messages, diffusion de signaux,... (I comme interaction))
- Une organisation  $O$  structurant l'ensemble des agents et définissant les fonctions remplies par les agents (notion de rôle et éventuellement de groupes)
- Eventuellement: une relation à des utilisateurs  $U$  qui agissent dans ce SMA via des agents interfaces  $U \subseteq A$

# Image générale d'un système multi-agents



# Définition d'un agent

- Un agent est une entité physique (hard) ou logicielle (soft) située dans un environnement (réel ou virtuel) qui est capable de :
  - **Agir** dans un environnement
  - **percevoir** et partiellement **se représenter** son environnement (et les autres )
  - Mû par ses **tendances internes** (buts, recherche de satisfaction, .....);
  - **Communiquer** avec d'autres agents
  - **Se conserver et se reproduire**

Et qui présente un comportement autonome, qui est la conséquence de ses perceptions, de ses représentations et de ses communications.

# Sources des systèmes 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:

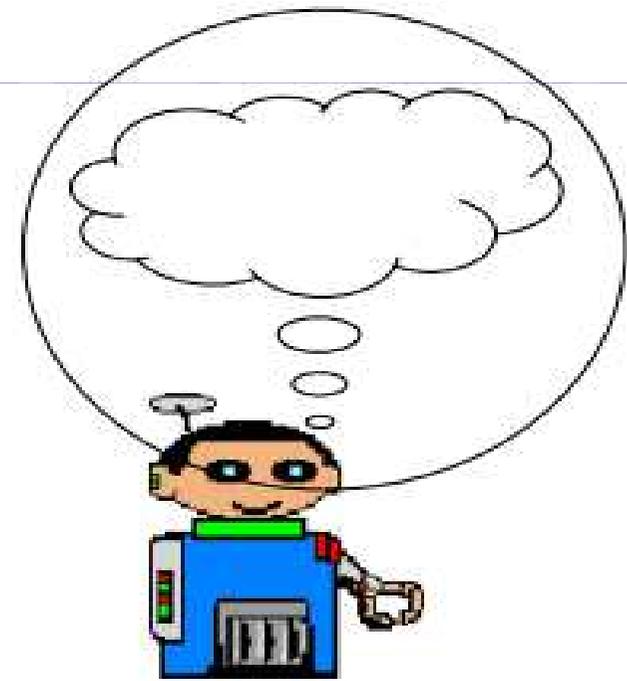
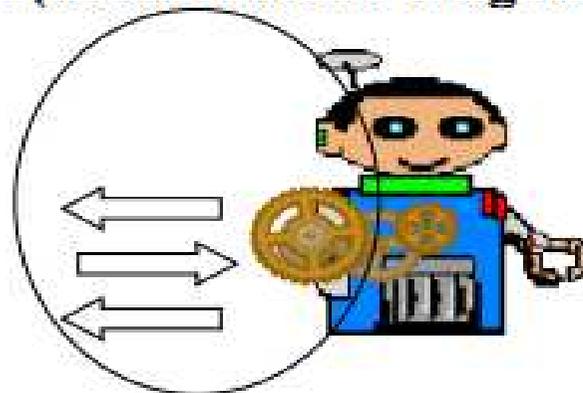
- Concevoir des logiciels et résoudre des problèmes en considérant des sociétés d'entités informatiques autonomes (agents)
- Etudier et définir des mécanismes permettant la coordination d'action, la coopération, la négociation, l'allocation de tâches distribuée, etc...

# Analyse selon deux axes de perspectives

## ◆ L'axe individuel/collectif



## ◆ L'axe extérieur (comportement) / interne (architecture d'agent)



# Les quadrants

<p><b>Individuel/intérieur</b></p> <p><b>Je</b> <i>subjectivité</i></p> <p>&lt;états mentaux vécus, conscience individuelle, l'intentionnalité, phénoménologie&gt;</p> <p>L'intériorité</p>	<p><b>Individuel/extérieur</b></p> <p><b>il, Cela</b> <i>Objectivité</i></p> <p>&lt;le point de vue de la science, le comportement, la structure individuelle&gt;</p> <p>L'objet</p>
<p><b>Collectif/intérieur</b></p> <p><b>Nous</b> <i>intersubjectivité</i></p> <p>&lt;Culture, idées, théories, Concepts, Ontologies, connaissance partagées, normes sociales, inconscient collectif &gt;</p> <p>La noosphère</p>	<p><b>Collectif/extérieur</b></p> <p><b>Eux, tout cela</b> <i>Interobjectivité</i></p> <p>&lt;Social, société, formes organisationnelles Évolution des organisations&gt;</p> <p>La structure sociale</p>

# Les quadrants sont des points de vue sur quelque chose

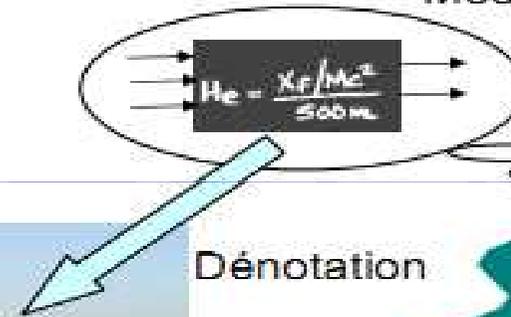
Point de vue intérieur  
Signification, interprétation



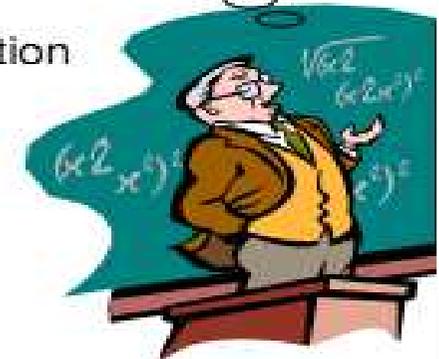
Vécu, ressenti,  
Mes états mentaux, mes représentations  
ma conscience, ce que je crois

Point de vue extérieur, description  
Structure, fonction, dynamique

Modèle



Dénotation



Modélisateur,  
scientifique

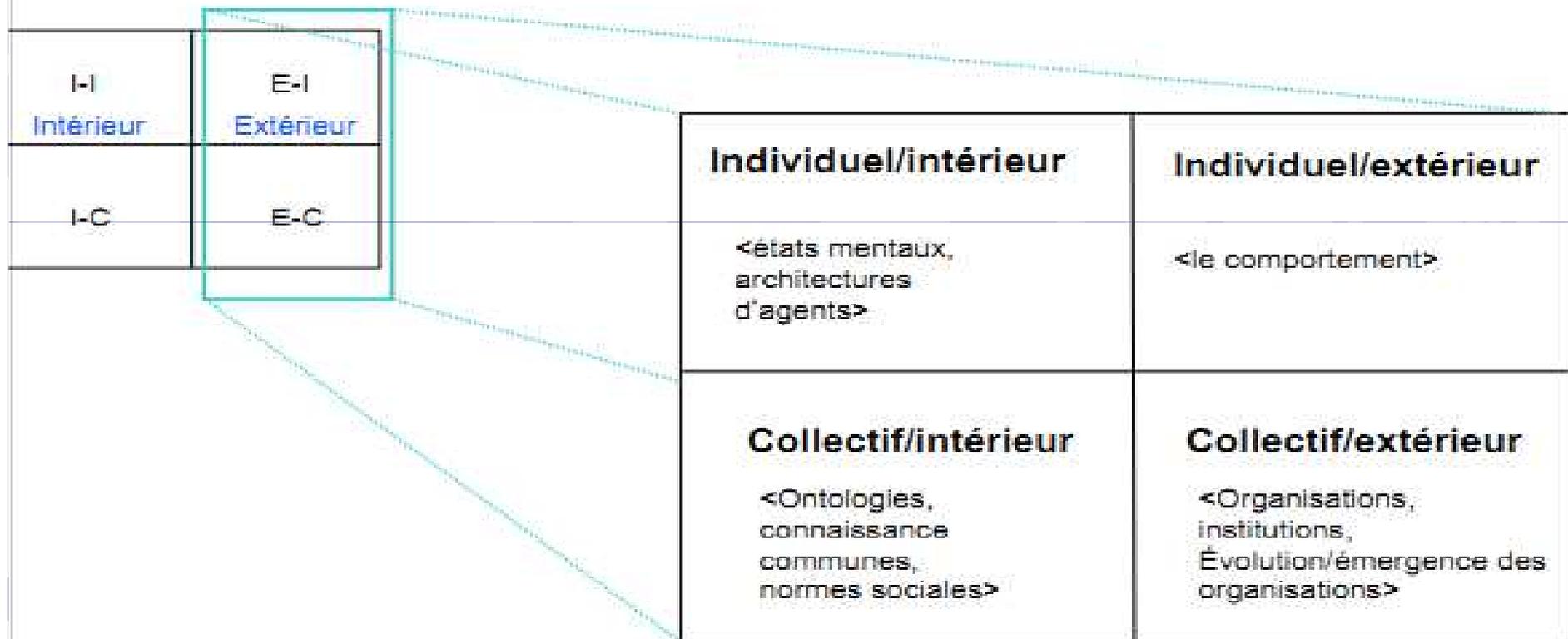
# Exemple 1 : le domaine de la santé

<b>Individuel/intérieur</b>  La souffrance, le sens que l'on donne à notre maladie	<b>Individuel/extérieur</b>  La maladie
<b>Collectif/intérieur</b>  Les connaissances médicales, Notre vision de la maladie, du soin et des soignants	<b>Collectif/extérieur</b>  L'organisation sociale de la santé, les hôpitaux, le statut des médecins

# Exemple 2 : le domaine de l'éducation

<p><b>Individuel/intérieur</b></p> <p>Le ressenti de l'apprentissage, Ce que je sais. Mon rapport aux enseignants</p>	<p><b>Individuel/extérieur</b></p> <p>Le processus d'apprentissage (comment cela se passe cognitivement), le sujet de savoir</p>
<p><b>Collectif/intérieur</b></p> <p>Le corpus de savoirs que l'on désire transmettre, Notre vision de l'enseignant et de l'enseigné, les conceptions éducatives</p>	<p><b>Collectif/extérieur</b></p> <p>L'organisation sociale de l'éducation, Les écoles, collèges, lycées, universités, etc.</p>

# Réduction au point de vue extérieur



# Agents et Interactions

## ◆ Quadrant I-I:

- Comment l'interaction s'exprime dans l'architecture. (architecture interne des mécanismes de communication et d'interaction)

## ◆ Quadrant I-C:

- Langages de communication
- Culture de la relation, quels sont les aspects culturels (ontologies, primitives de comm, etc..) qui sont utilisés pour la communication
  - Un aspect parfois laissé de côté car « implicite » (cf. programmation par objets)

## ◆ Quadrant E-I:

- Actions de communication, comportement relationnel (primitives et comportements évolués de comm.)

## ◆ Quadrant E-C:

- Mécanismes externes et sociaux de la relation et de la communication (infrastructures de communication et de relation):
  - Traces, signaux, mécanismes de communication (mailing system), etc..
  - Rôles, Normes portant sur les interactions.

# Plusieurs types d'agents

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

# Situé ou Communiquant (1)

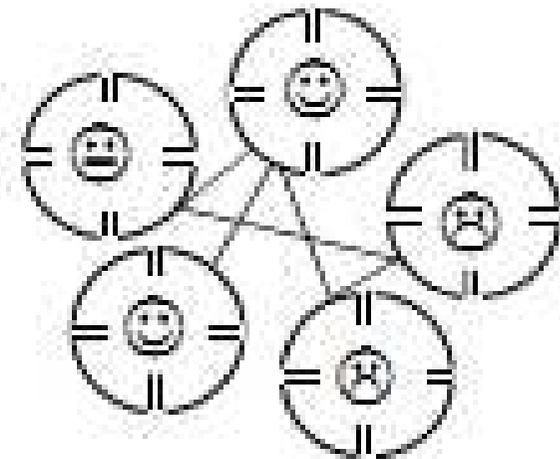
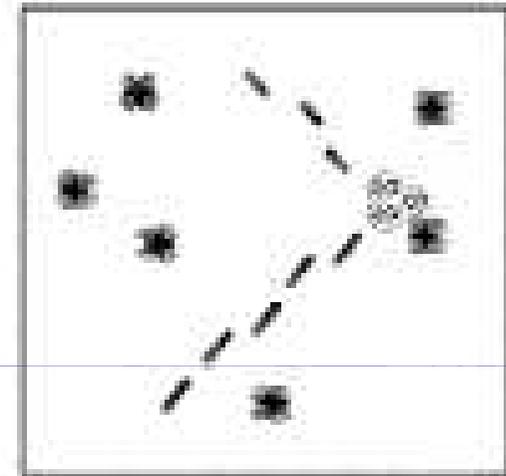
- Agent purement situé:
  - l'environnement possède une métrique,
  - les agents sont situés à une position dans l'environnement qui détermine ce qu'ils perçoivent;
  - ils peuvent se déplacer;
  - il n'y a pas communications directes entre agents, elle se font via l'environnement

## Situé ou communiquant (2)

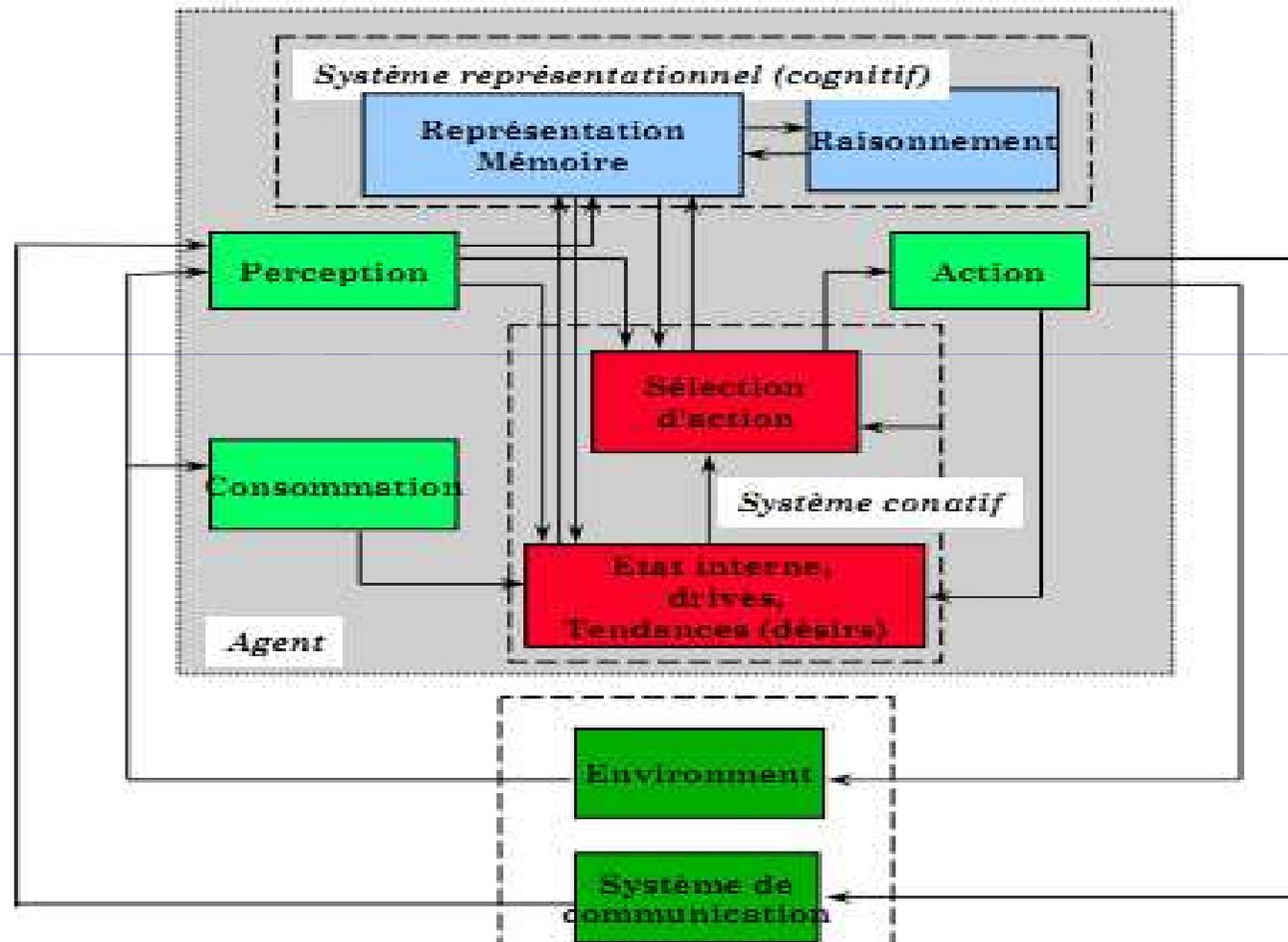
- Agent purement communiquant:
  - il n'y a pas d'environnement au sens physique du terme,
  - les agents n'ont pas d'ancrage physique,
  - ils communiquent via des informations qui circulent entre les agents

# Situé ou communiquant (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



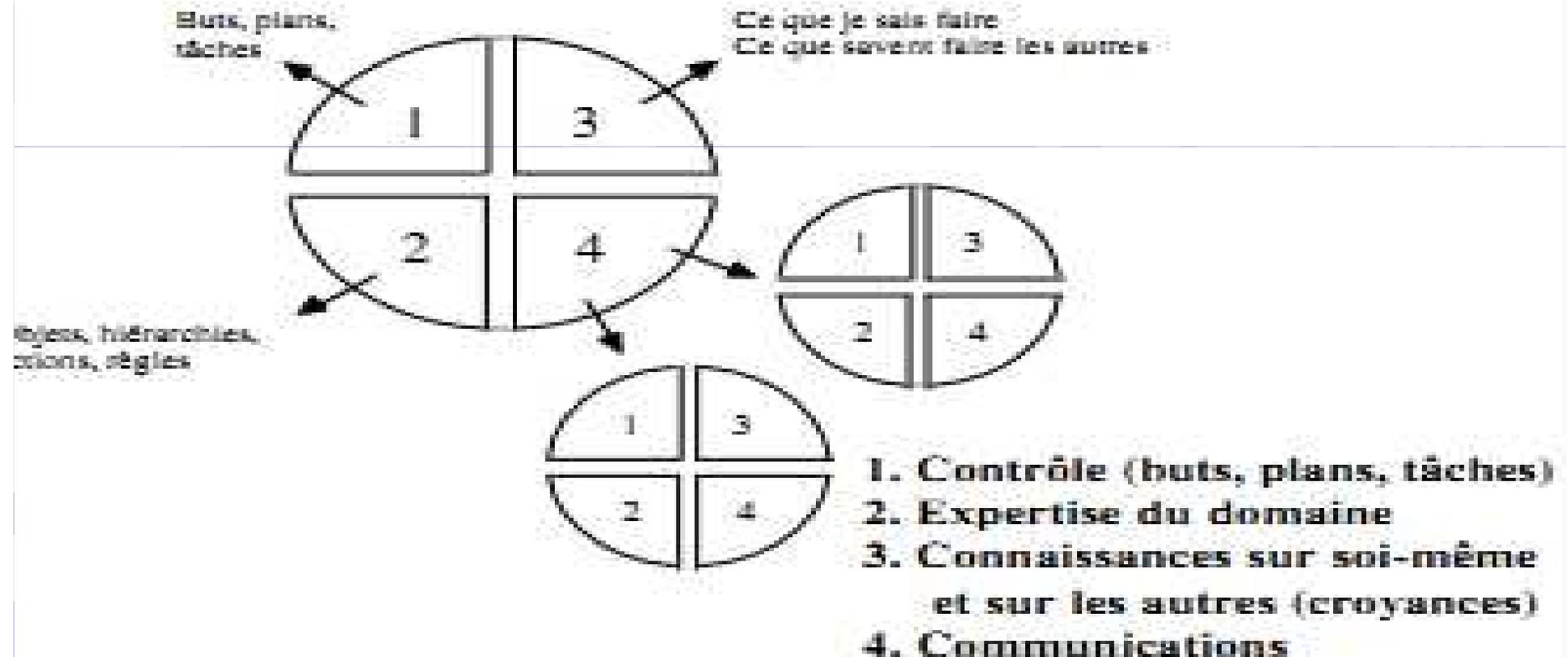
# Architecture générale d'agents



# 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

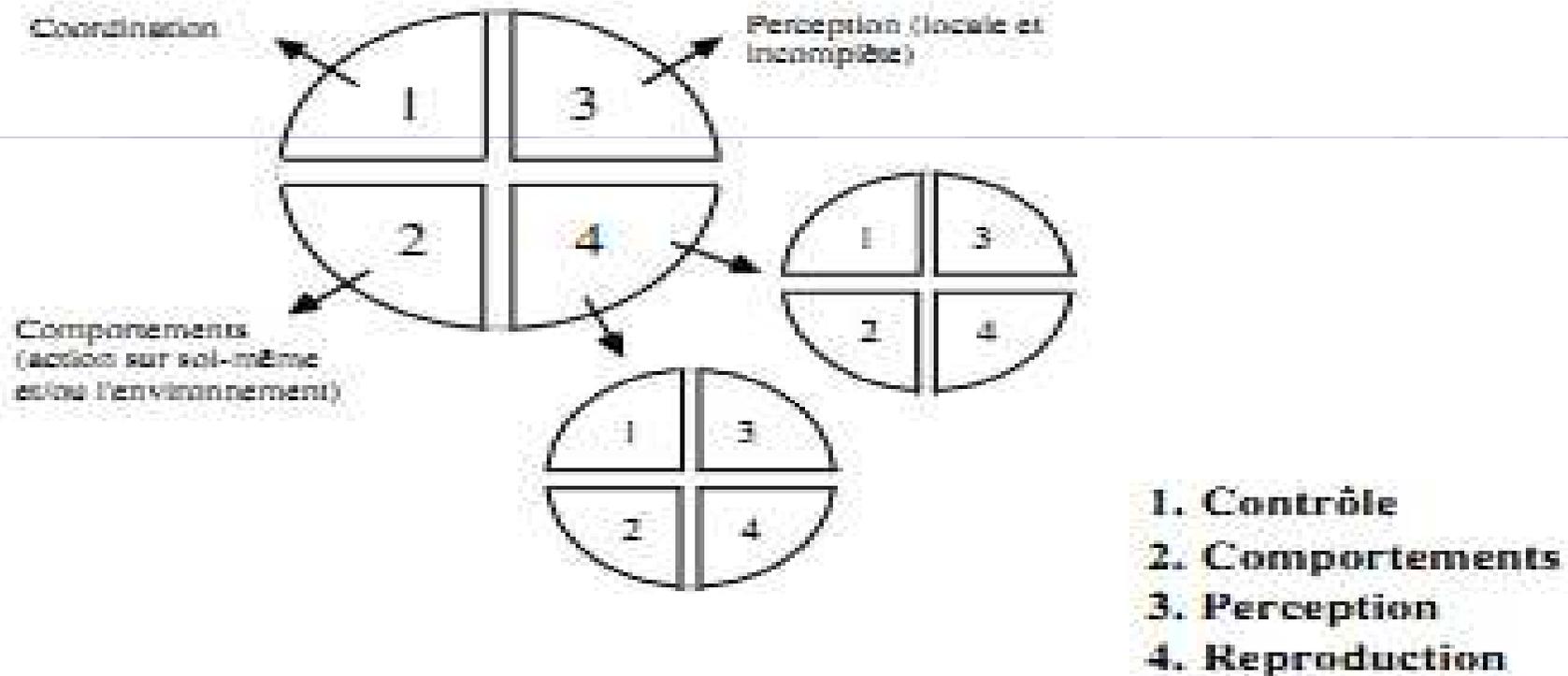
# Agents Cognitifs



# Cognitifs ou réactifs (2)

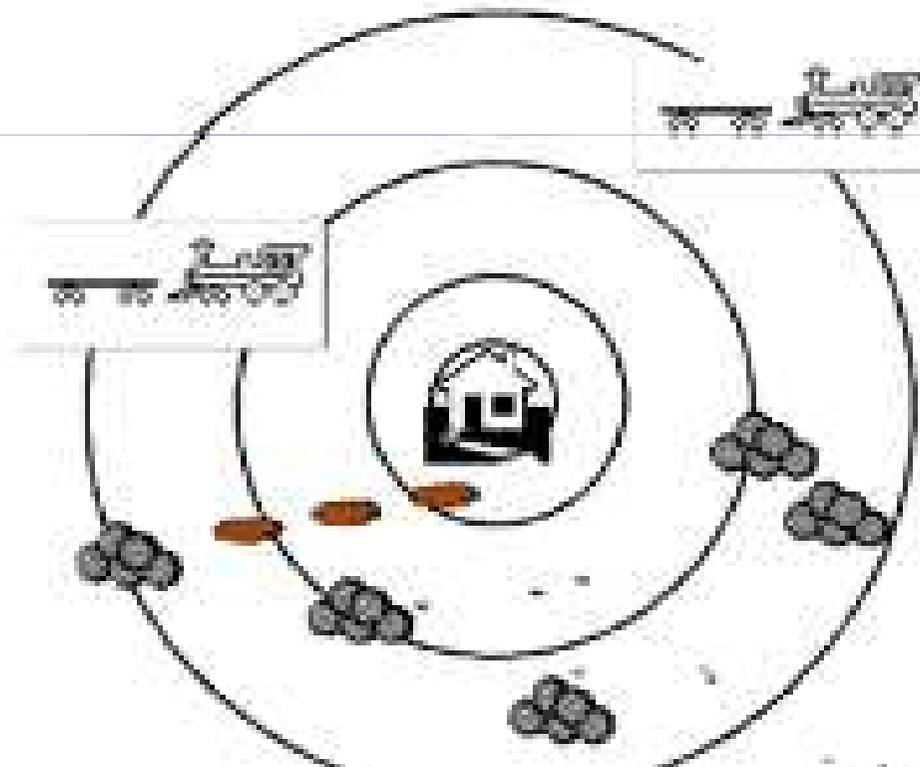
- Agent réactif:
  - pas de représentation explicite de l'environnement
  - pas de mémoire de son histoire, ni de but explicite
  - comportement de type stimulus réponse
  - mode "biologique" d'organisation
  - grand nombre d'agents (>100), homogènes à grain fin
- La structure du système émerge des comportements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

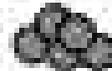
# Agents Réactifs



# Agents Réactifs (exemple)

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



<i>Légende</i>	
	Robot
	Base
	Minerai
	Marque

# Règles de comportement

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

# Les agents hybrides

Chaque type d'agent possède ses points forts et faibles, ses avantages et ses inconvénients. Une approche consiste donc souvent dans la réalité à bâtir des agents hybrides. Un agent hybride consiste en la combinaison de plusieurs caractéristiques au sein d'un même agent ; ces caractéristiques concernent la mobilité, la collaboration, l'autonomie, la capacité à apprendre, etc. L'utilisation d'agents hybrides reste toujours guidée par le souci de minimiser les faiblesses et d'augmenter les forces de tel ou tel type d'agents que l'on mettrait en œuvre dans une application.

# Principaux environnements de programmation (1)

- **MACE** [Gasser] : différents modèles d'agents, écrit en LISP
- **MAGES** [Bouron] : écrit en Smalltalk
- **DIMA** [Guessoum] : framework de création de SMA, écrit en Smalltalk
- **JESS "Java Expert System Shell"** : CLIPS en Java, permettant de construire des agents qui raisonnent
- **JASON** : un interpréteur pour une version étendue de AgentSpeak, développé par Jomi F. Hübner and Rafael H. Bordini.
- **JADE "Java Agent Development Framework"** est une plate-forme multi-agents développée en Java par Telecom Italia.
- **JAT "Java Agent Template"** et **JAT-Lite (Stanford Univ.)**: permet à de simples agents en java de communiquer avec KQML sur un réseau local
- **ABE "Agent Building Environment"** (proposé par IBM)
- **Open Agent Architecture (SRI)** : les agents peuvent communiquer avec un langage de communication basé sur une logique déclarative, utilise Corba
- **MADKIT (Ferber et Gutneck - LIRMM, Univ. de Montpellier)** : en Java, permet le développement de SMA réactifs
- **VOYAGER (ObjectSpace Inc.)** : un "Object Request Brooker" pour des agents Java.

# Principaux environnements de programmation (2)

**NetLogot** plateforme de simulation écrite en  
Java

# Domaines d'application des SMA

- **Systemes de production** : ordonnancement d'ateliers, conduite de processus industriels, systèmes multi-capteurs, ...
- **Diagnostic** : diagnostic à multiples niveaux
- **Taches de contrôle** : contrôle du trafic routier, trafic aérien, distribution d'énergies, ...
- **Taches d'interprétation** : interprétation de signaux, reconnaissance de la parole, cristallographie, reconnaissance et compréhension des formes, ...
- **Télécommunications, systèmes de transports, réseaux** : routage, équilibrage de charges, recouvrement d'erreurs, management et surveillance de réseaux, ...
- **Travail collaboratif assisté par ordinateur** : agents assistants, agents médiateurs, workflows, gestion des rendez-vous, personal digital assistants (PDA), ...
- **Robotique distribuée** : planification multi-robot, robots autonomes mobiles, ...
- **Télématique (Internet)** : agents "intelligents", agents d'interface, agents mobiles, ...
- **Simulation de systèmes complexes** : simulation individu-centrée, ...
- **Commerce électronique**
- **Data Mining**
- ...