

Introduction aux systèmes multiagents: un point de vue intégral

V 1.1 - 2.10.2005

Jacques Ferber

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

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

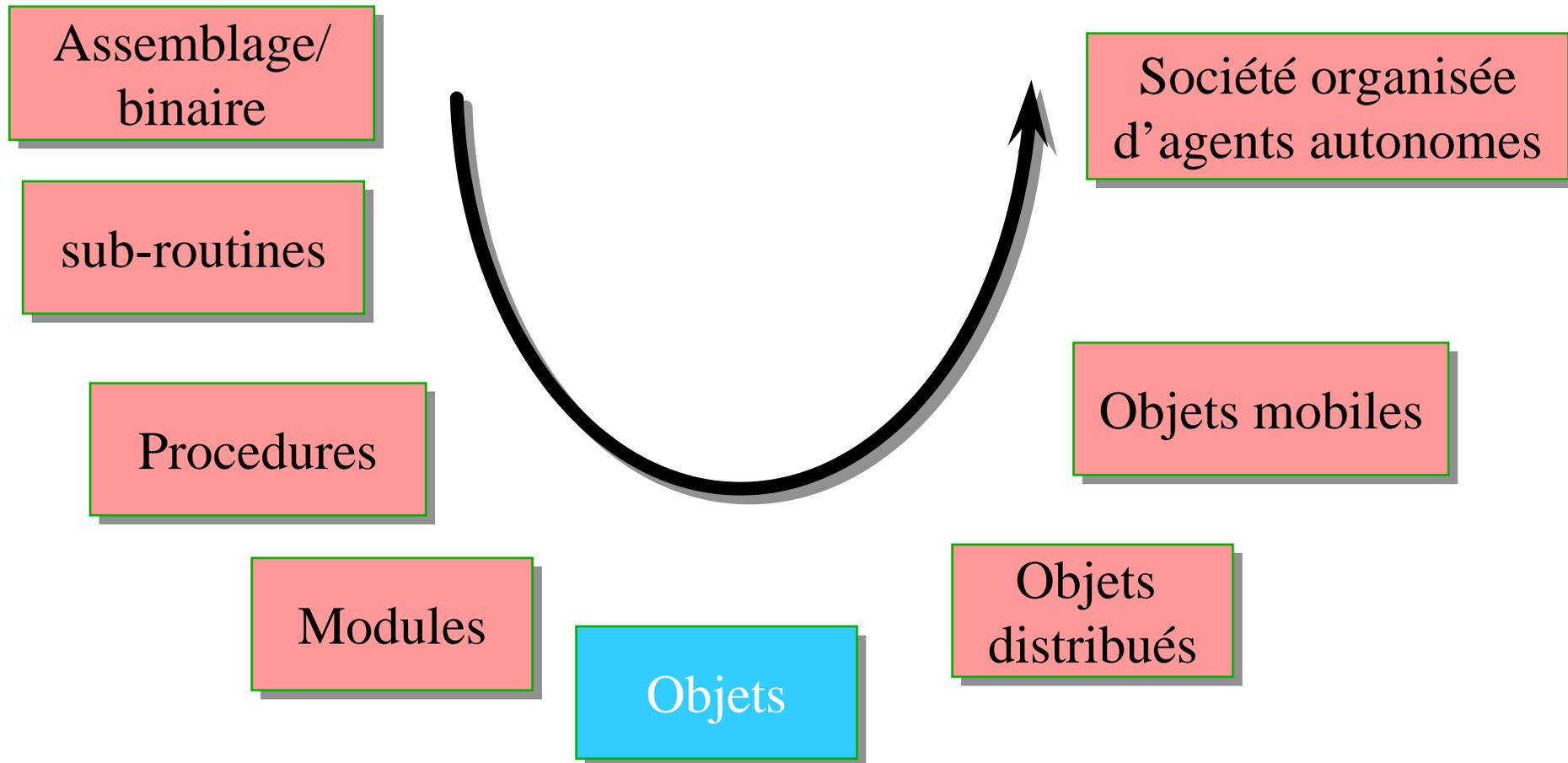
Pourquoi des systèmes multi-agents? (1)

◆ Problèmes de génie logiciel:

- Les systèmes deviennent de plus en plus complexes
 - ☞ Développer des techniques modulaires de réalisation de programmes (composants "enfichables")
 - ☞ Développer l'autonomie des entités informatiques
 - ☞ Développer des "frameworks" 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 «chaos» aux systèmes
multi-cellulaires organisés



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'entité, 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'I.A.

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

Exemples:

- ✓ 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, une communauté, ne sont pas considérés comme «intelligents».

Limites de l'approche classique (#1)

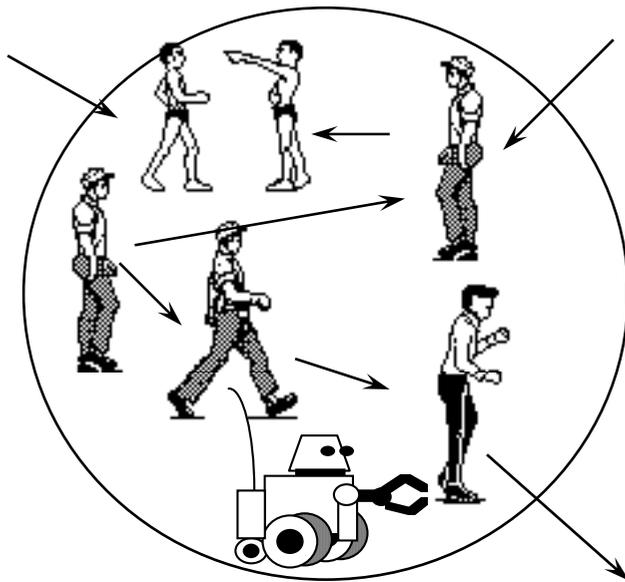
- ◆ Tous les accomplissements importants ont été réalisés par des groupes d'individus:
 - Monuments, temples, cathédrales, pyramides,...
 - Voitures, avions, bateaux ...
 - Ports, routes, ...
 - Ordinateurs, réseaux,...
- ◆ Le «Web» ne doit son intérêt qu'à son aspect collectif
 - Idée de "Global computing"
 - De cognition collective (forums, Wickipaedia, etc..)

Limites de l'approche classique (#2)

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

Systemes multi-agents

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

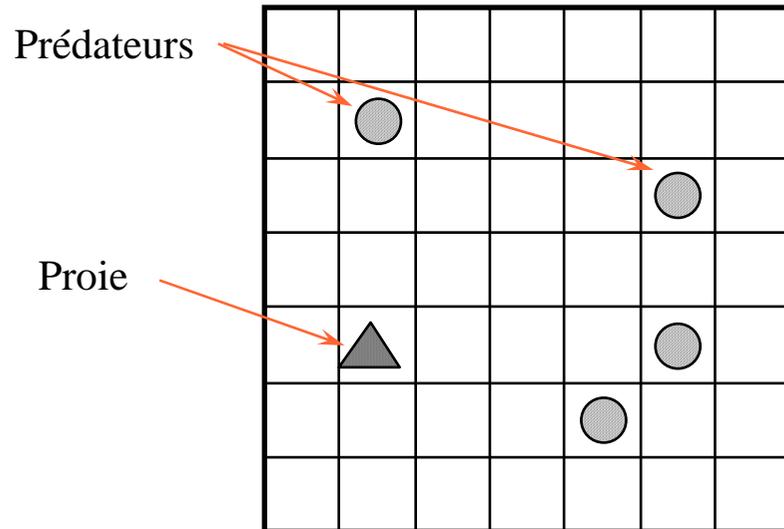


Métaphore de l'organisation sociale

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

Un exemple classique

Le problème de la poursuite (proie/prédateurs)



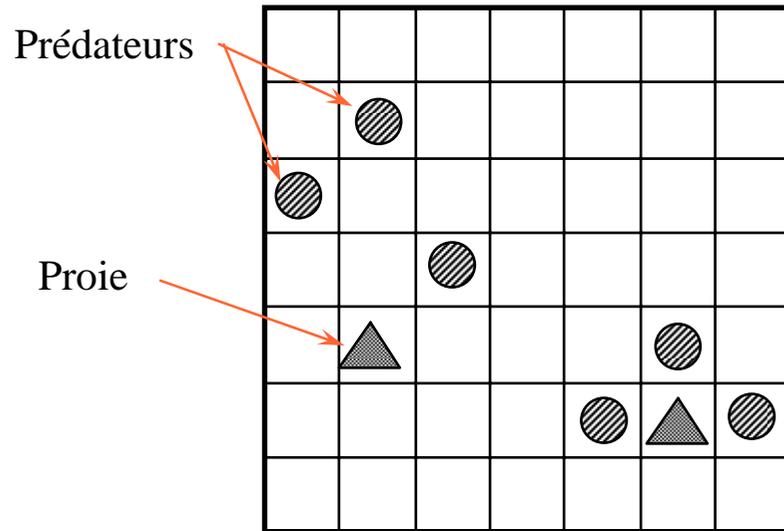
Objective:

Capter une proie en l'entourant

Problème:

Comment des actions entre tous ces prédateurs peuvent être coordonnées?

Généralisation

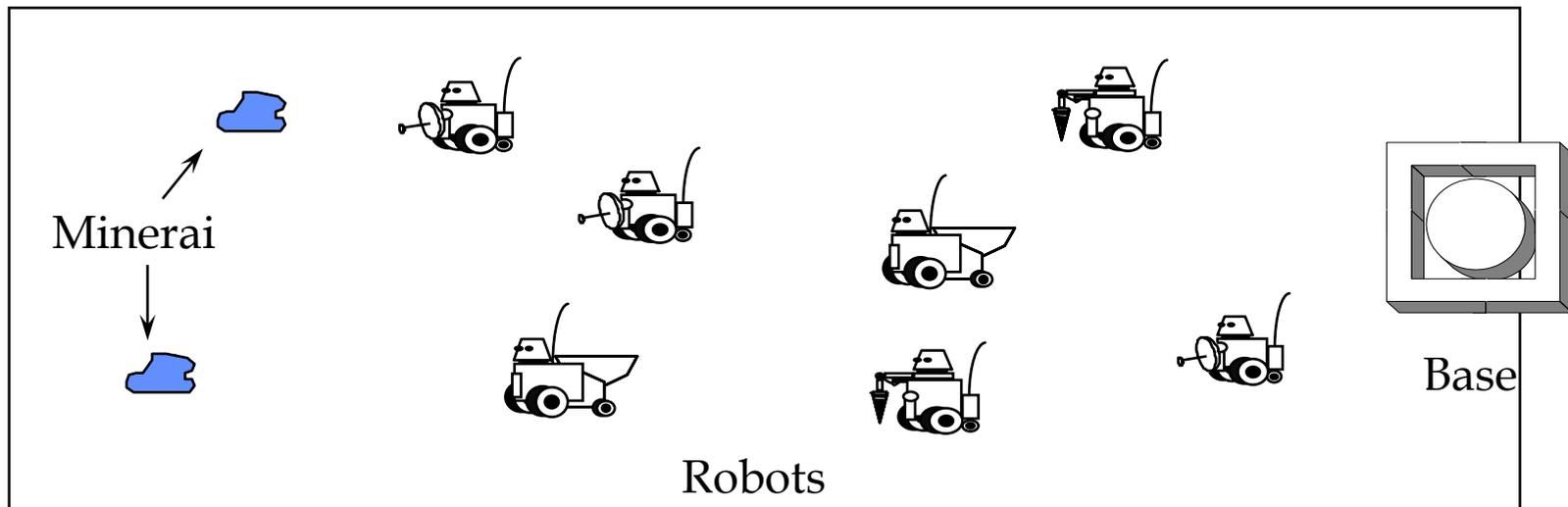


*Que se passe-t-il avec 6
prédateurs et 2 proies?
(ou plus de proies et de
prédateurs)*

interblocages possibles...

Allocation réactive de tâche

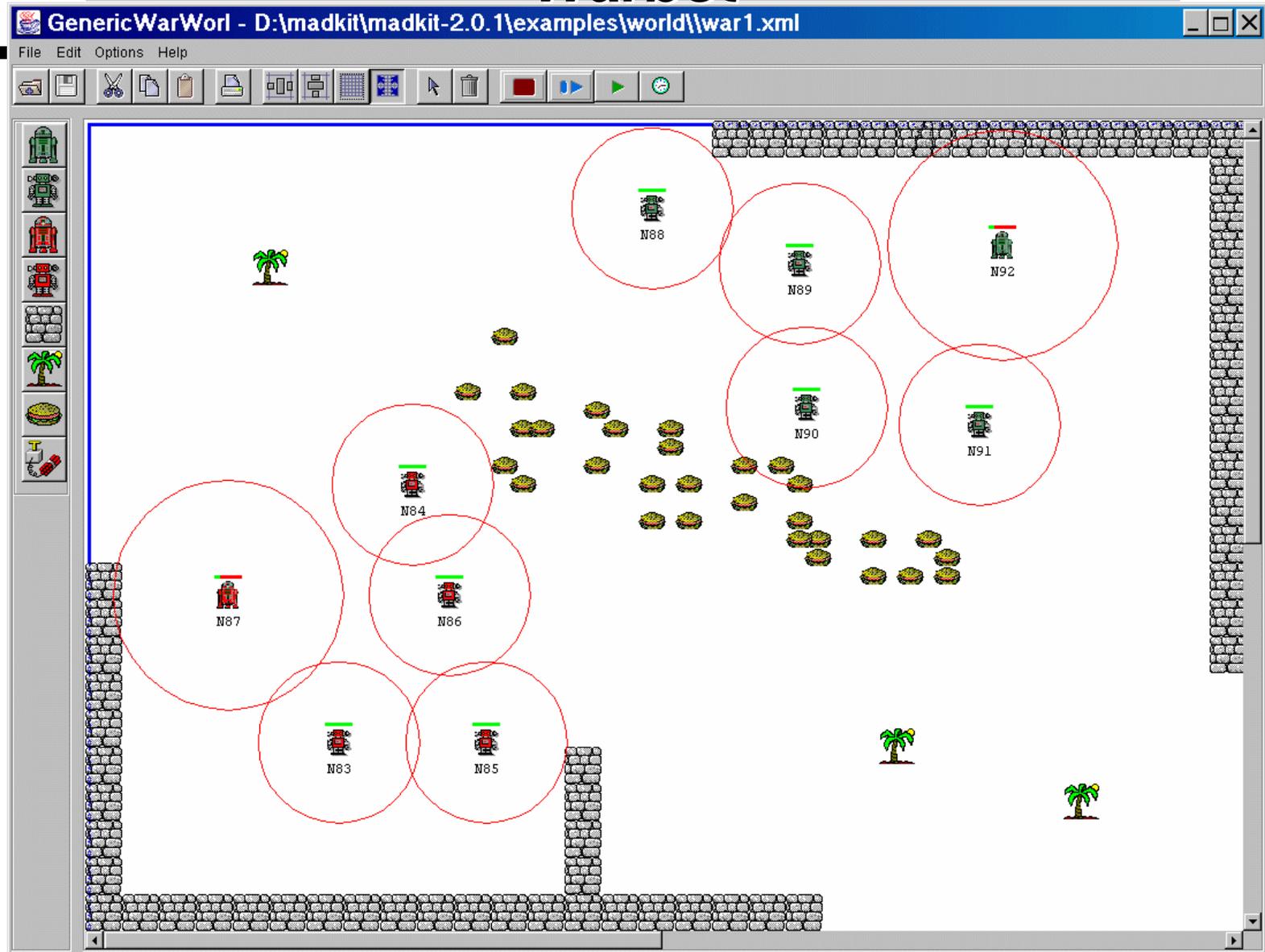
- ◆ Un ensemble de robots doivent collecter et ramener des échantillons de minerai à la base.
- ◆ **Problème:** comment décrire leur comportement et leur technique de coordination afin qu'ils remplissent leur mission, en supposant qu'ils ne disposent pas de représentations globale de leur espace.
- ◆ 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
- ◆ **Contrainte:**
 - gérer des ressources (viabilité)
- ◆ **Les règles et les données physiques des robots sont les mêmes 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



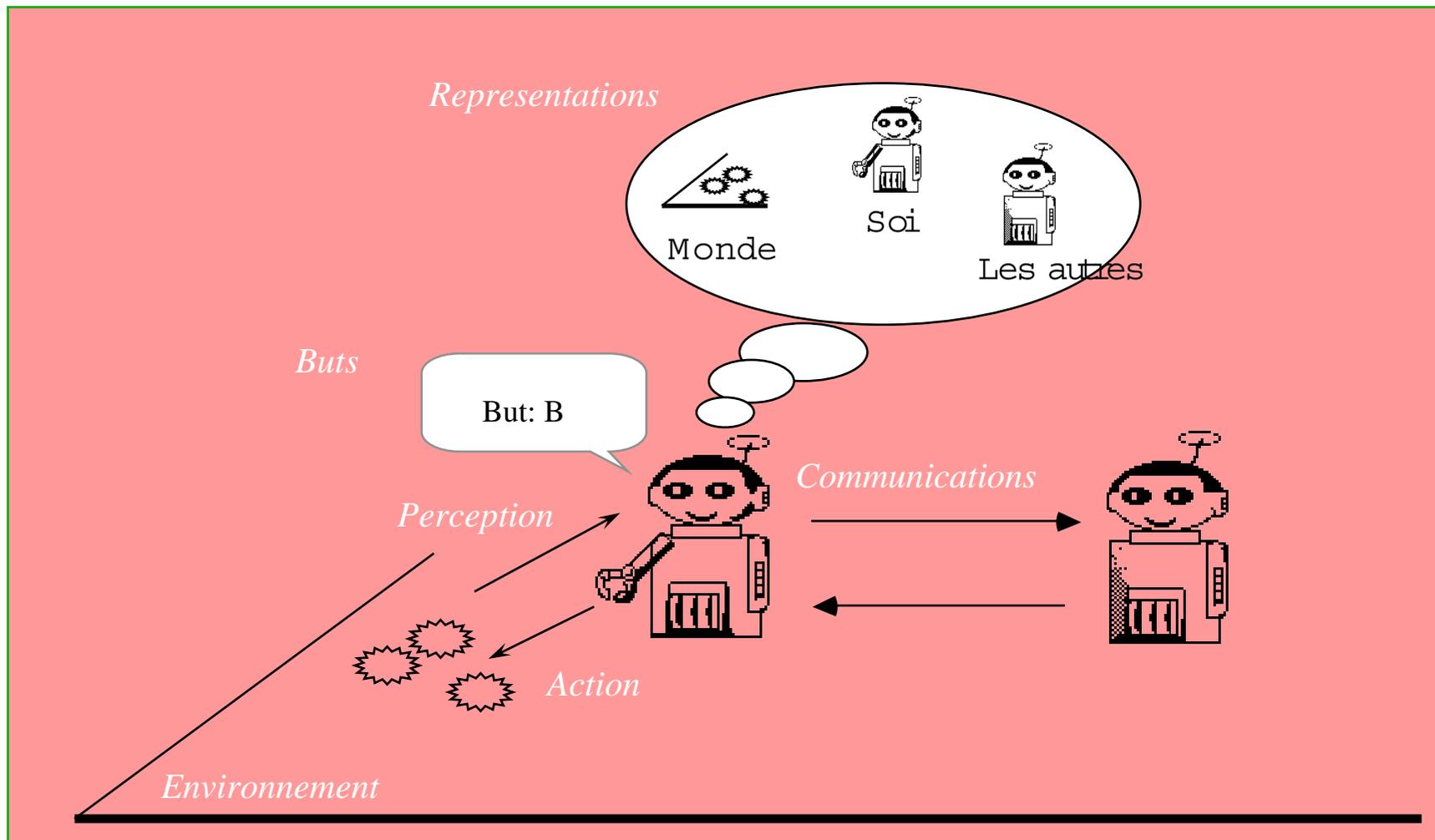
Définition d'un système multi-agents

◆ 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 $U \subseteq A$

Modèle voyelles d'Yves Demazeau

Image générale d'un système multi-agent



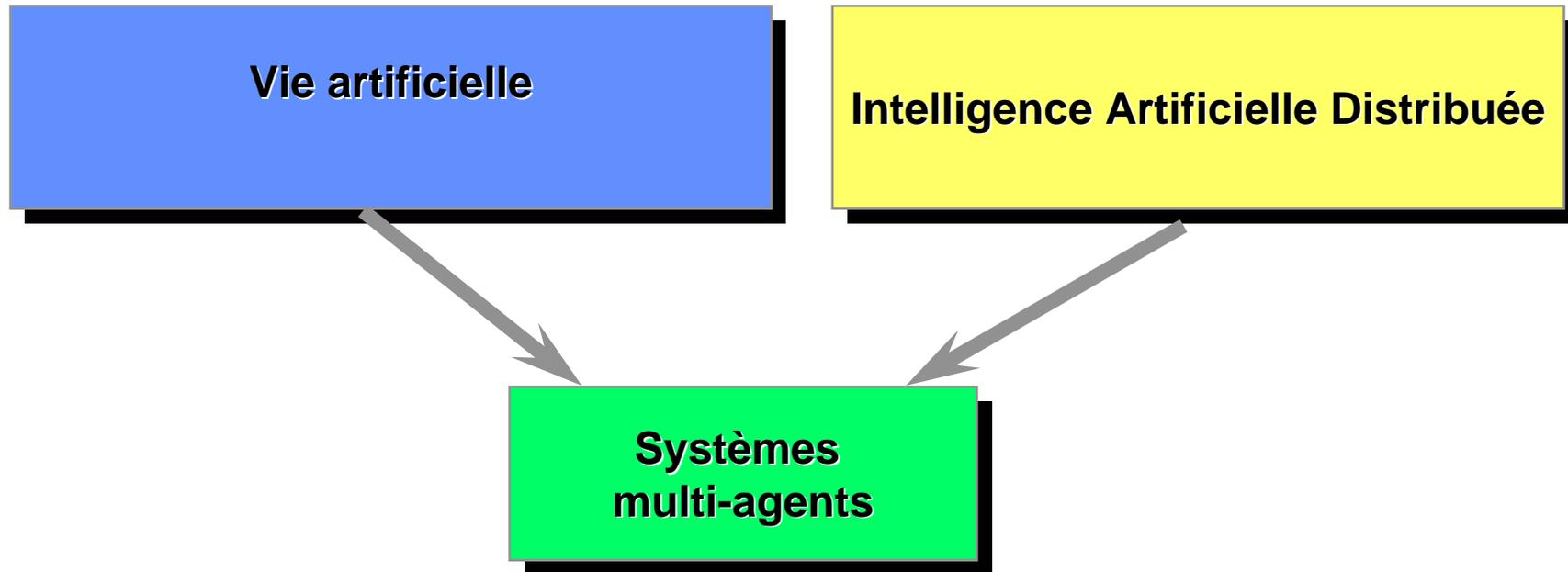
Définition d'un agent

Un **agent** est une entité physique (hard) ou logicielle (soft) située dans un environnement (réel ou virtuel) qui est capable de:

- **agir** dans son environnement
- **percevoir** and partiellement **se représenter*** son environnement (et les autres),
- **communiquer** avec d'autres agents,
- mû par se **tendances internes** (buts, recherche de satisfaction, "drives"),
- **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:

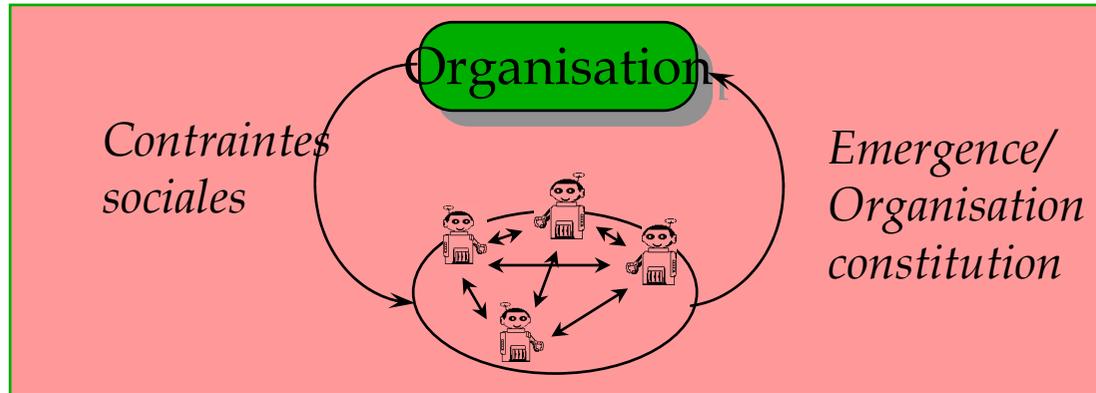
- Analyser, étudier et reproduire les mécanismes qui permettent la vie: **autonomie, adaptation, évolution**
- Comprendre les processus qui permettent l'apparition de **structures émergentes**

Intelligence Artificielle Distribuée:

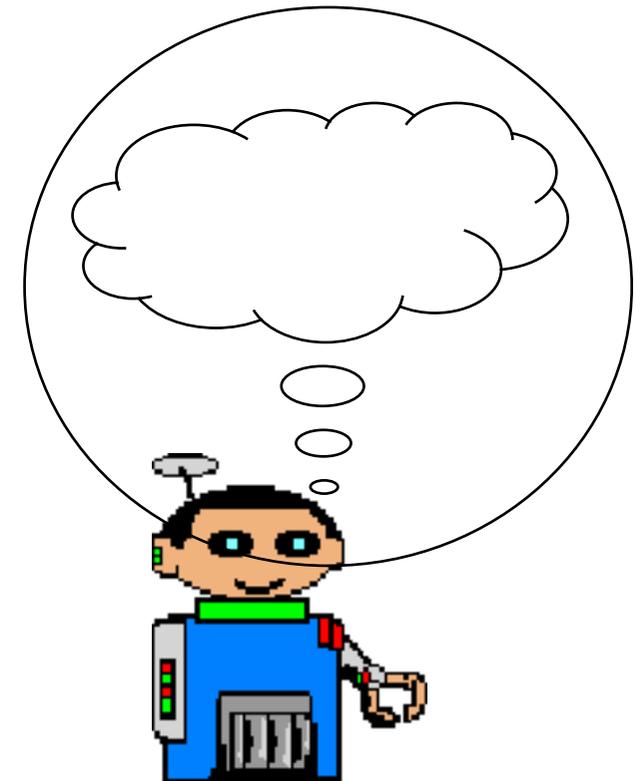
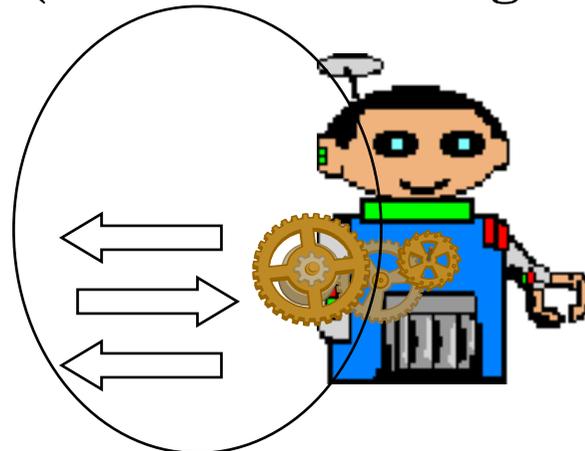
- Concevoir des logiciels et résoudre des problèmes en considérant des **sociétés d'entités informatiques autonomes (agents)**
- Etudier et définir des mécanismes permettant la **coordination d'action, la coopération, la négociation, l'allocation de tâches distribuée, etc...**

Analyser selon deux axes de perspectives

◆ L'axe individuel/collectif



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



Les quadrants

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

Les quadrants sont des points de vue sur quelque chose

Point de vue intérieur
Signification, interprétation



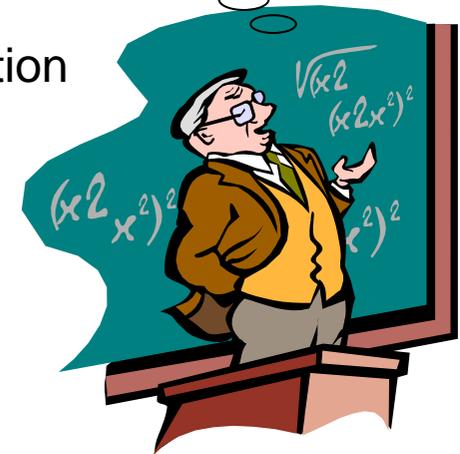
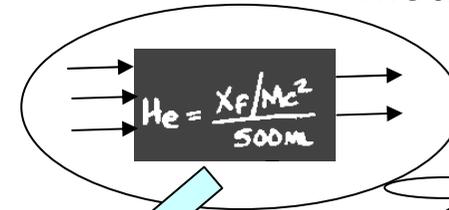
Vécu, ressenti,
Mes états mentaux, mes représentations
ma conscience, ce que je crois

Point de vue extérieur, description
Structure, fonction, dynamique



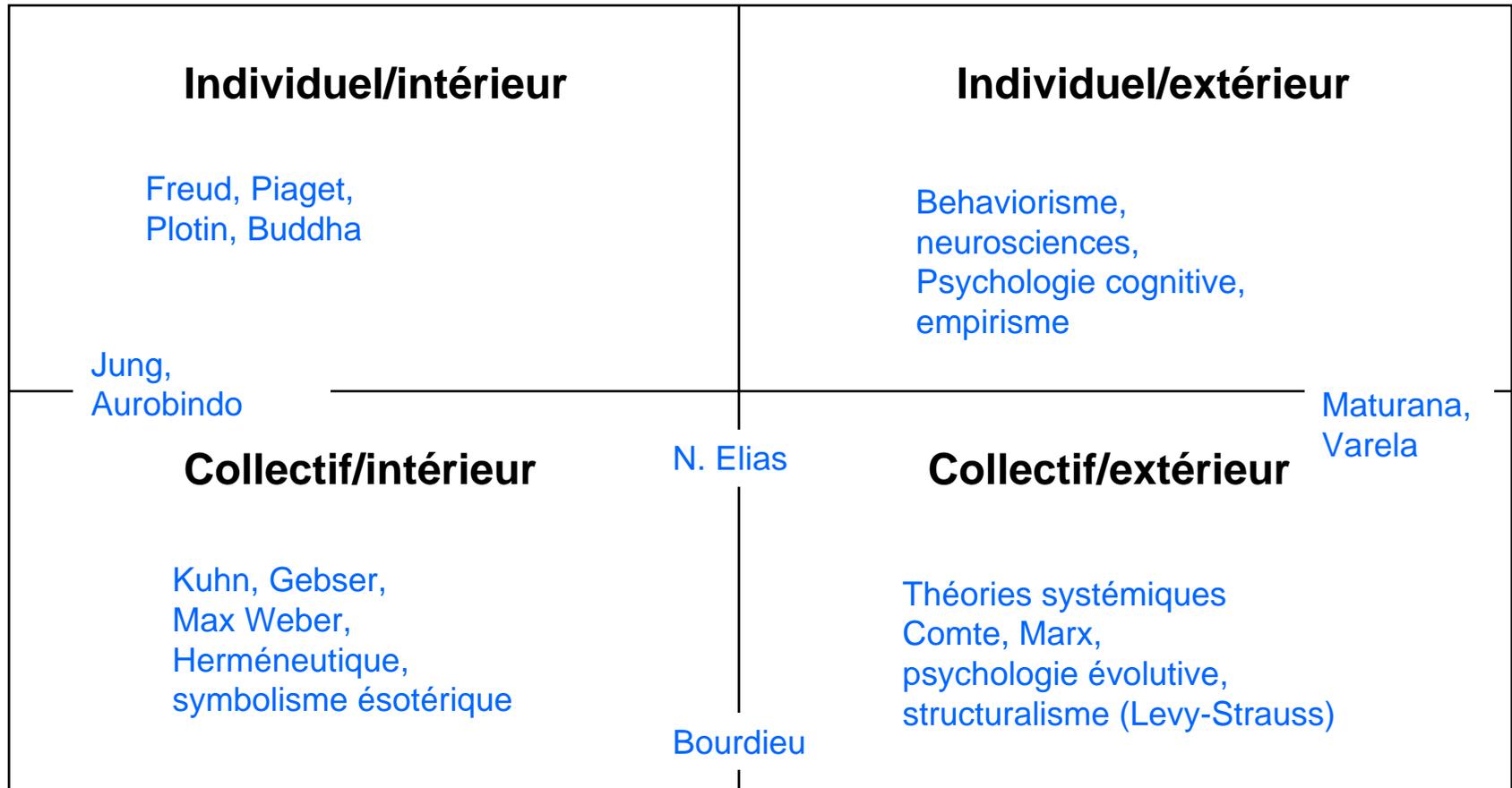
Dénotation

Modèle



Modélisateur,
scientifique

Quelques grands auteurs et les quadrants



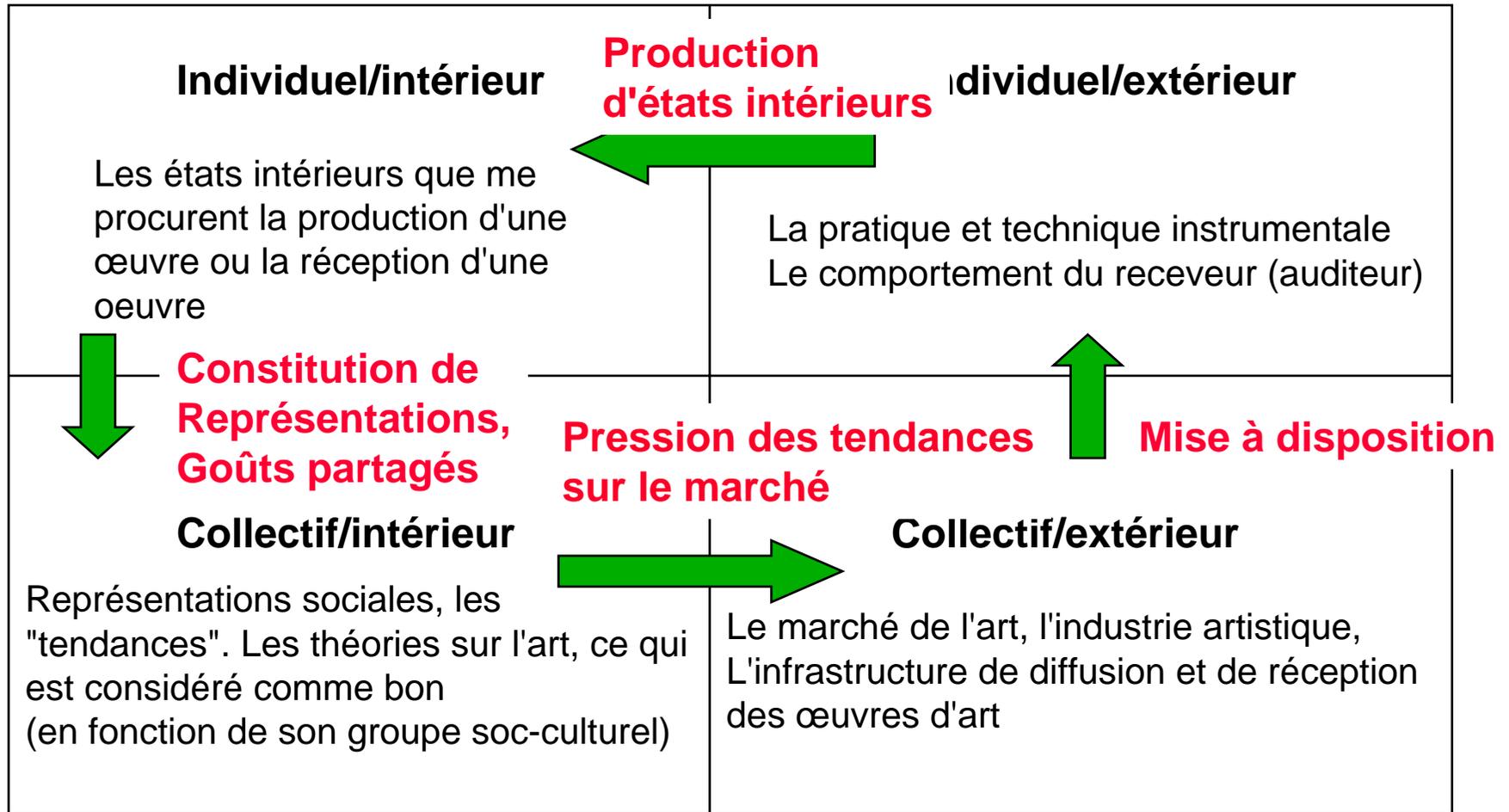
Exemple: le domaine de la santé

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

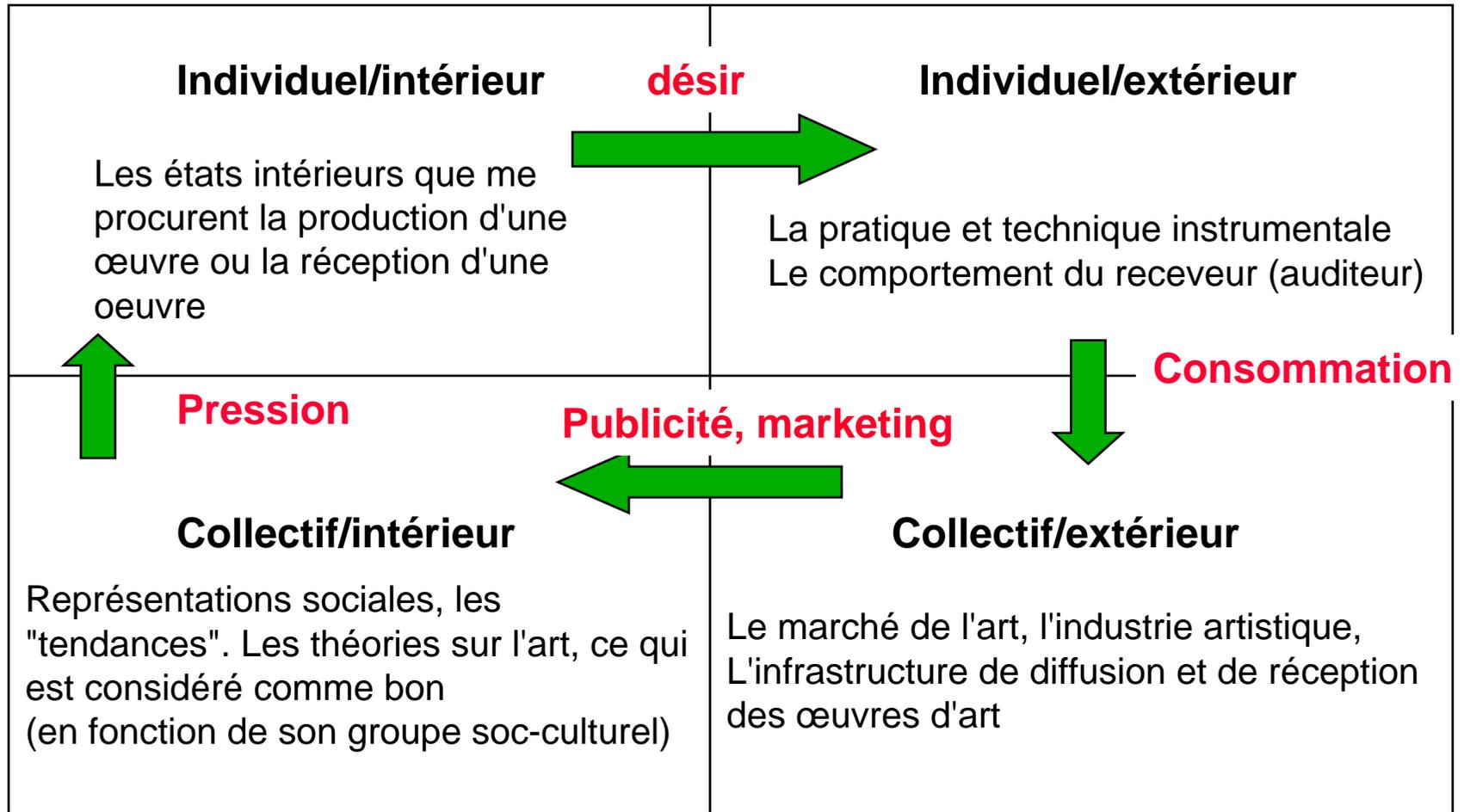
Le domaine de l'éducation

<p>Individuel/intérieur</p> <p>Le ressenti de l'apprentissage, Ce que je sais. Mon rapport aux enseignants</p>	<p>Individuel/extérieur</p> <p>Le processus d'apprentissage (comment cela se passe cognitivement), le sujet de savoir</p>
<p>Collectif/intérieur</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>Collectif/extérieur</p> <p>L'organisation sociale de l'éducation, Les écoles, collèges, lycées, universités, etc.</p>

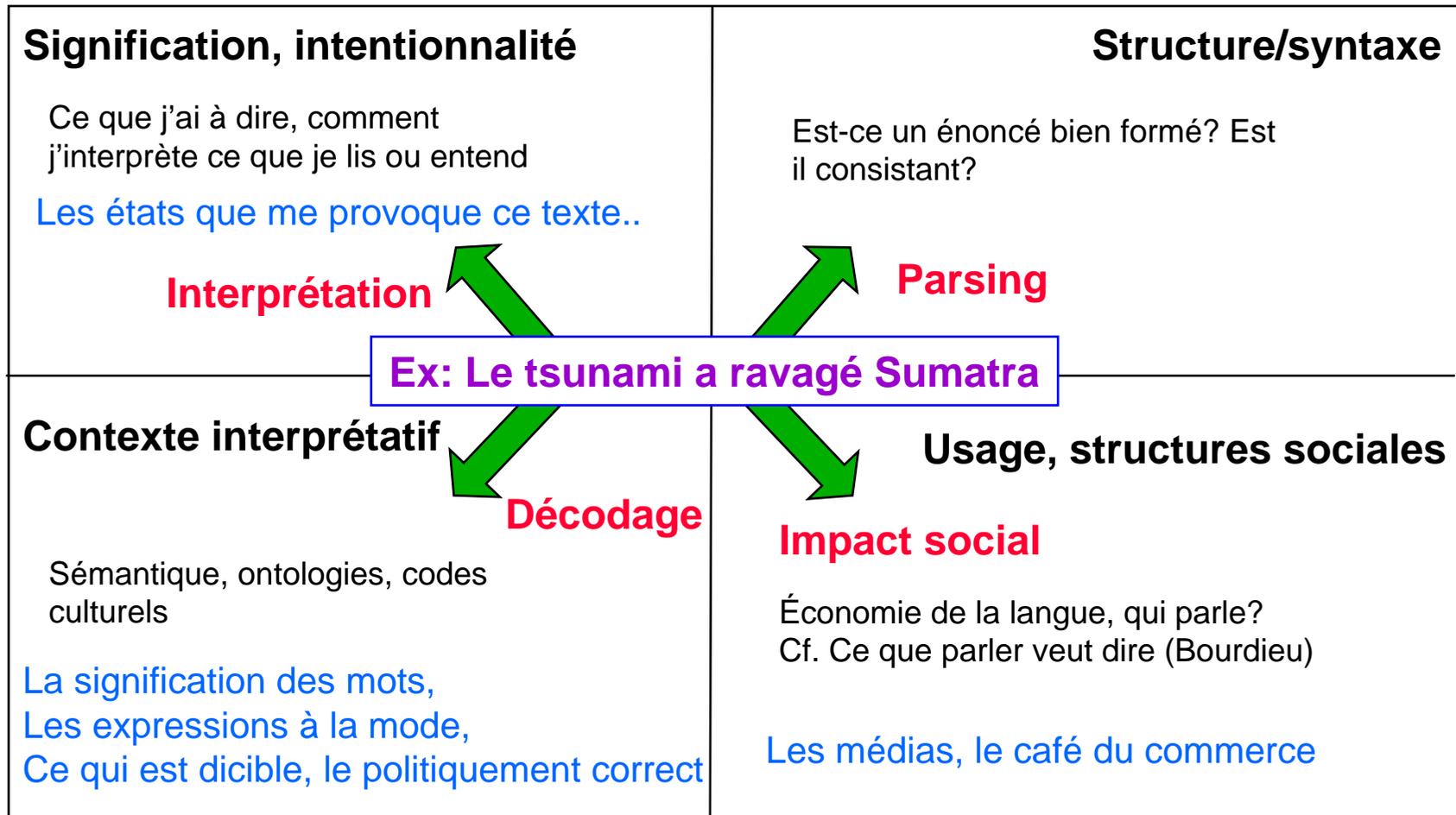
Perspective multi-point de vue de l'art en général (1)



Perspective multi-point de vue de l'art en général (2)



Signes et significations



Systemes multi-agents et pensée integrale

◆ Deux perspectives:

1. Comprendre les SMA à partir de cette conception integrale

- Voir les systemes multiagents en termes de quadrants et de niveaux

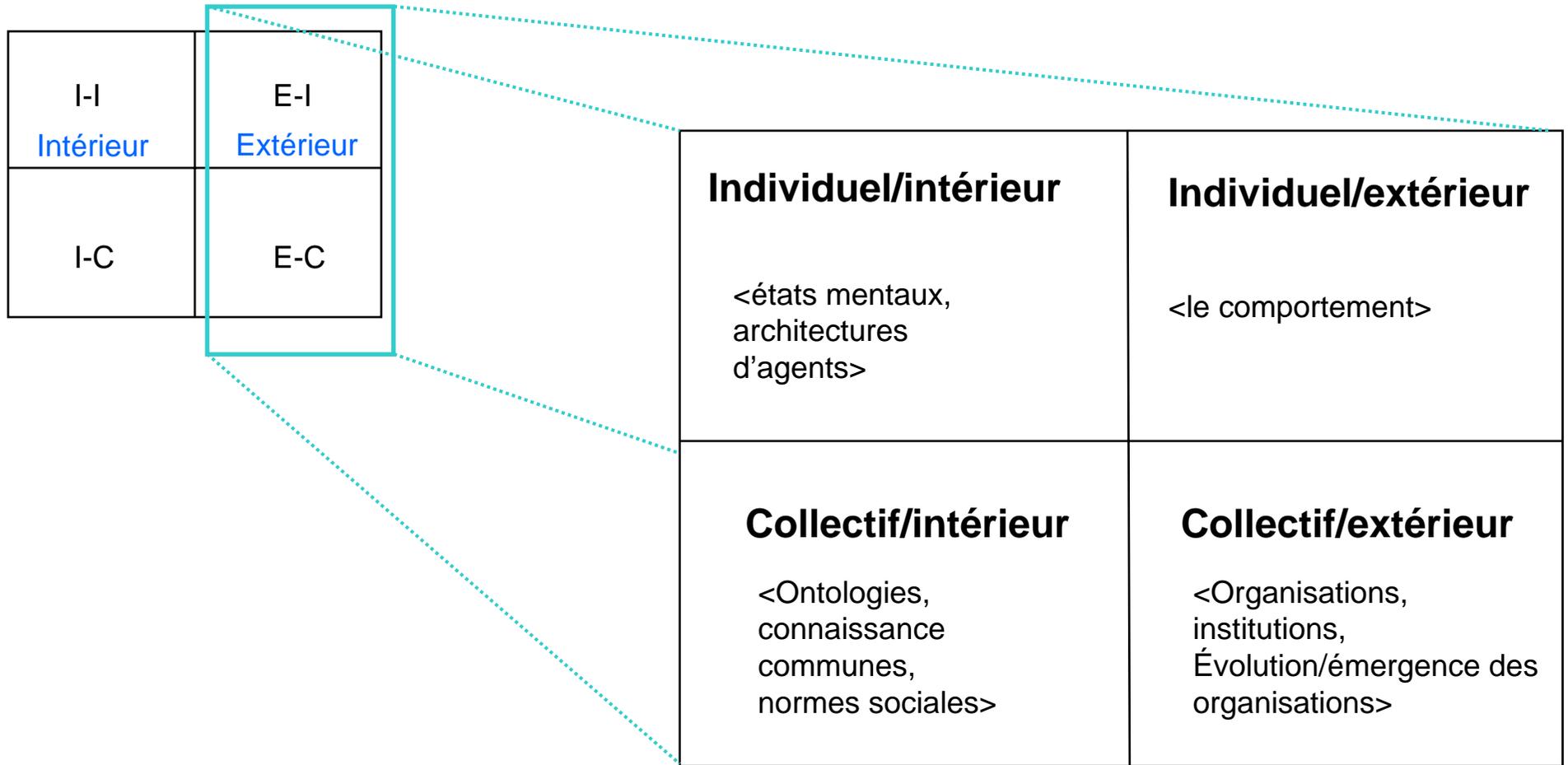
2. Utiliser les SMA pour augmenter notre perception et comprehension de « l'integralité » des systemes complexes.

- Utiliser les SMA comme framework de lecture des systemes complexes

Systemes multi-agents

<p>Individuel/intérieur</p> <p>Je <i>subjectivité</i></p> <p><états mentaux vécus, architectures d'agents></p> <p>L'intériorité</p>	<p>Individuel/extérieur</p> <p>il, Cela <i>Objectivité</i></p> <p><le comportement></p> <p>L'objet</p>
<p>Collectif/intérieur</p> <p>Nous <i>intersubjectivité</i></p> <p><Ontologies, connaissance communes, normes sociales></p> <p>La noosphère</p>	<p>Collectif/extérieur</p> <p>Eux, tout cela <i>Interobjectivité</i></p> <p><Organisations, institutions, Évolution/émergence des organisations></p> <p>La structure sociale</p>

Réduction au point de vue extérieur



Agents et interactions #2

◆ 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)

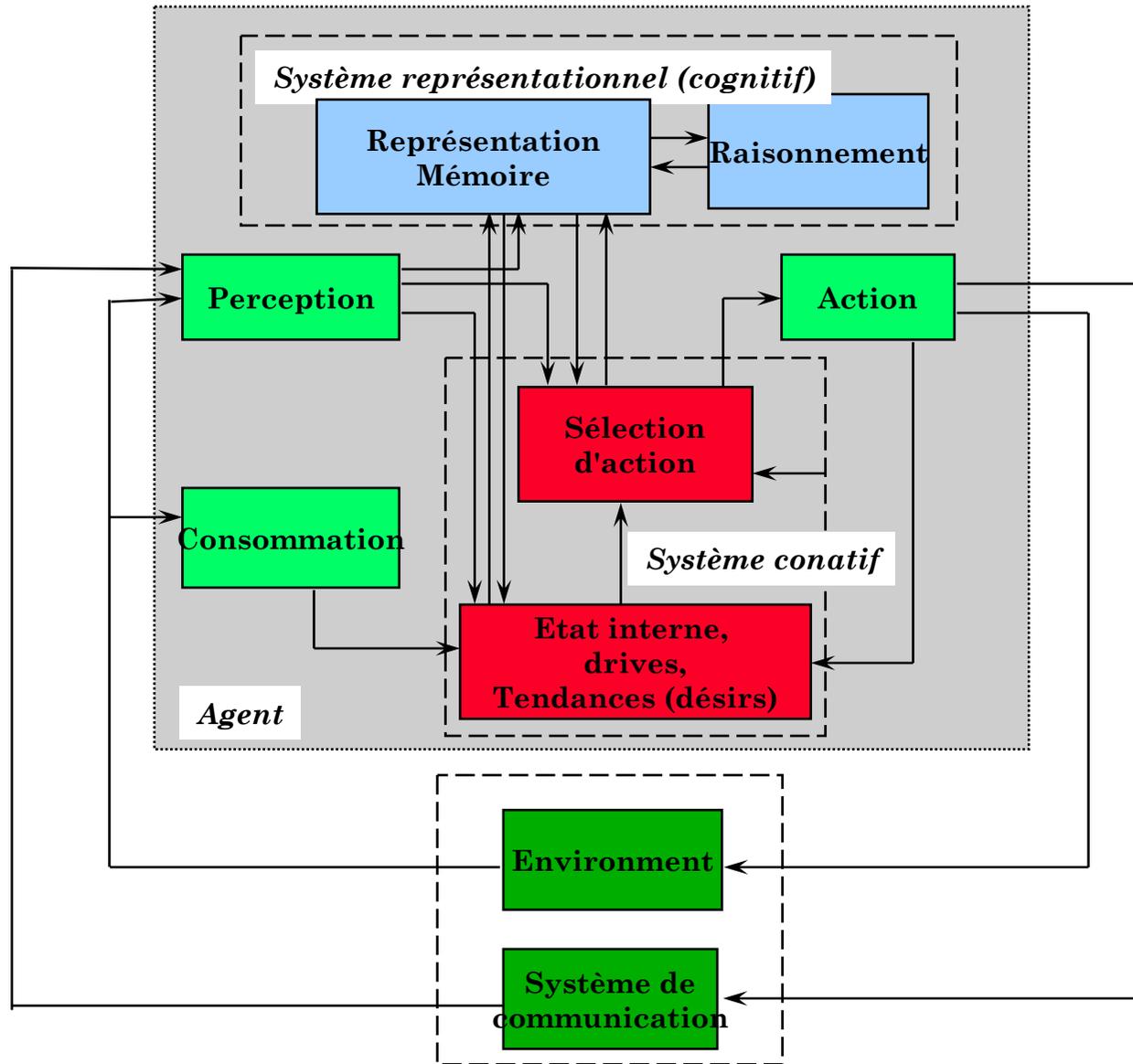
◆ Quadrant E-I:

- 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,

Architecture générale d'agents



Les niveaux: ligne conative (motivationnelle)

- ◆ **Niveau stimulus-réponse, simple. Comportement de survie individuelle.**
- ◆ **Agents réactifs collectifs.**
 - Stigmergie. Traces et phéromones comme moyen de gérer les coordinations collectives. Développement de rôles à partir de spécialisation collective.
- ◆ **Agents cherchant leur satisfaction**
 - Notion de satisfaction individuelle: conflits, luttes pour obtenir des ressources. (mode gagnant-perdant)
 - Introduction des motivations (émotions) comme éléments de structuration de l'action.
 - (modèle de l'Eco-résolution, Architecture Sat, etc.)
- ◆ **Comportement collectif lié à des rôles prédéfinis.**
 - Notions de rôles, de normes, de comportements liés à des normes.

Les niveaux: ligne conative #2

◆ Comportement rationnel

- Buts, plans et rationalité d'action
- Fonction d'utilité et choix rationnel.
- Négociations commerciales (donnant-donnant)

◆ Altruisme, prise en compte des buts de l'autre. Recherche de compromis (mode gagnant-gagnant)

☞ Très peu considéré dans la littérature sur les SMA

- Suppose une certaine « spécularité »: capacité de comprendre les intentions de l'autre
- Suppose une certaine « empathie »: capacité à ressentir et à prendre en compte les affects de l'autre

◆ Intégration de divers modes de fonctionnement.

- Pilotage de la diversité. Hétérogénéité. Adaptation du type d'architecture conative en fonction de la situation
 - ☞ Architectures hybrides, etc..

Les comportements (E-I)

◆ Comportement primitifs

- Avancer, prendre
- Acheter, vendre
- « Shooter » un ballon (shoot)
- Tirer sur une cible
- Envoyer un message

◆ Comportements secondaires

- Aller chercher de la nourriture
- Soigner, protéger un autre agent
- Attaquer, défendre
- Informer s'il existe une situation dangereuse



Les organisations (E-C)

◆ Flocks

- Bandes, amas (ex: vol d'oiseaux)

◆ Organisations à « effets de bords »

- Ex: chemin de fourmis, nid de termites.

◆ Rôles, statuts

◆ Organisations complexes

- Ensemble de groupes, de rôles et de relations entre ces groupes et ces rôles

◆ Réseaux

- Rôles locaux, relations dynamiques (patterns of activities)



Modes d'actions

◆ Actions situées:

- L'agent ne possède pas de représentation de l'environnement

◆ Cognitif

- L'agent possède des représentations de l'environnement

Actions situées

◆ Comportement est lié à l'états de l'environnement

- Pas de mémorisation de l'environnement
- Pur: perception immédiate (pas de mémoire)
- Impur (avec apprentissage): mémorisation uniquement des états internes passés..

◆ Règles d'action

- Si <état interne> and <état perçu> alors <action>

◆ Concept d'indice d'action

- Déclencheur de comportement, liés à l'environnement et aux buts
- Triggers of behavior which are relative to an agent and to its goals

Importance de l'environnement

◆ Buts

- Buts et obstacles sont dans l'environnement

◆ Communication par propagation de signaux

- Communications sélectives en fonction de la distance (décroissance des signaux) Allocation de tâches réactive

◆ Point de synchronisation des actions

- Les actions sont synchronisées par l'environnement (couplage agent/environnement)

◆ Mémoire

- Marques et inscriptions: ex. les chemins

Actions situées (cont.)

R1

Si j'ai soif et
je vois du café sur la table et
je suis loin de la table
alors je (tente de) m'approche
de la table

R2

Si j'ai soif et
je vois du café sur la table et
je suis près de la table,
alors je (tente de) prend le café

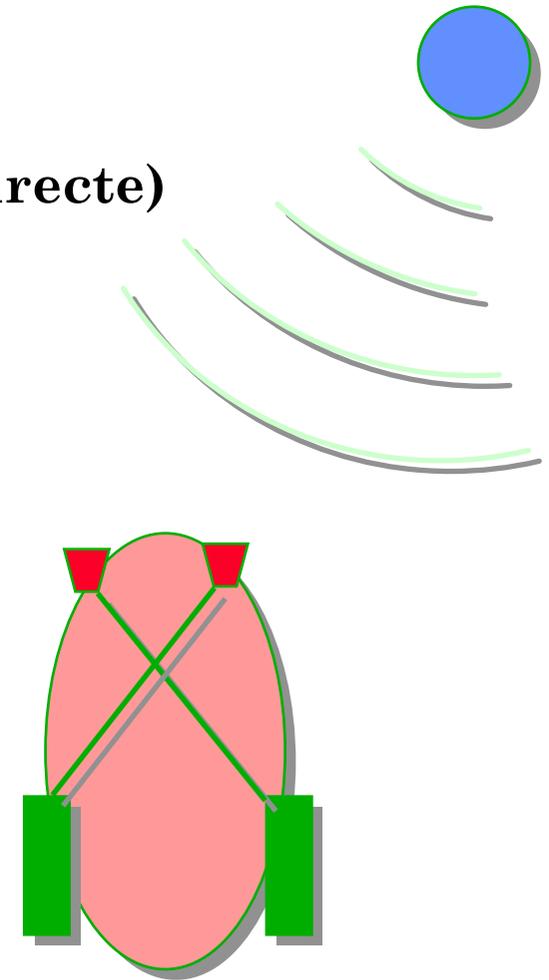
Architectures pour les agents situés

- ◆ **Neuronale (relation perception/action directe)**
- ◆ **Règles**
- ◆ **Subsommation**
- ◆ **Tâches en parallèle**

Architectures d'agents réactifs #1

◆ Architectures neuronale (perception/action directe)

- Ex: aller vers une source de lumière (Braitenberg)

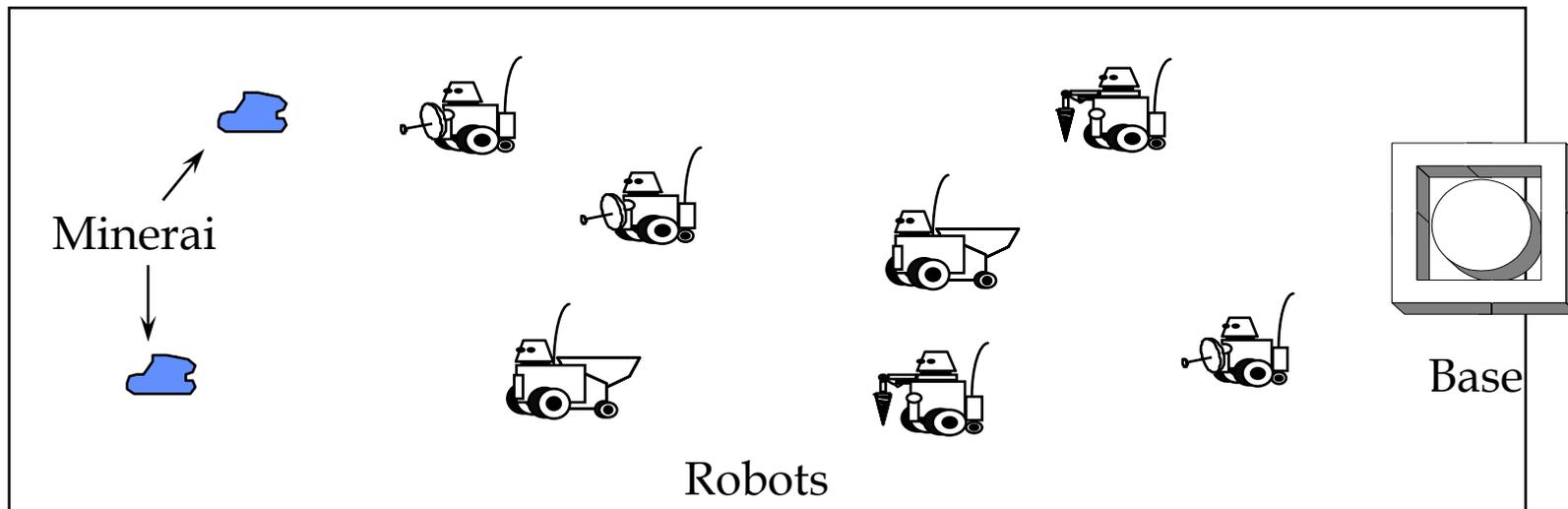


Architecture à base de règles

- ◆ **Implémentation directe de la notion d'action située:**
 - Si <perception> alors <action>
- ◆ **Les règles peuvent être mises dans une relation de priorité.**
- ◆ **La perception comprend à la fois des perceptions externes et des perceptions internes**
 - Attention: les perceptions ne sont que des simples "sensations" des stimuli!!
- ◆ **Très utilisé avec des algorithmes d'apprentissage: les "classifiers" (classeurs).**

Robots (fourmis) explorateurs

- ◆ 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.
- ◆ **Hypothèses:**
 - ◆ Ils ne peuvent pas s'envoyer des messages par radio.
 - ◆ Les robots sont tous similaires (totipotence)



Règles d'action situées: sans coordination

Premières règles

Règle d'exploration

si je ne porte rien
et je ne perçois pas de minerai
alors marche aléatoire

Règle rapporter

Si je porte du minerai
et je ne suis pas à la base
alors retourner à la base

Règle trouver

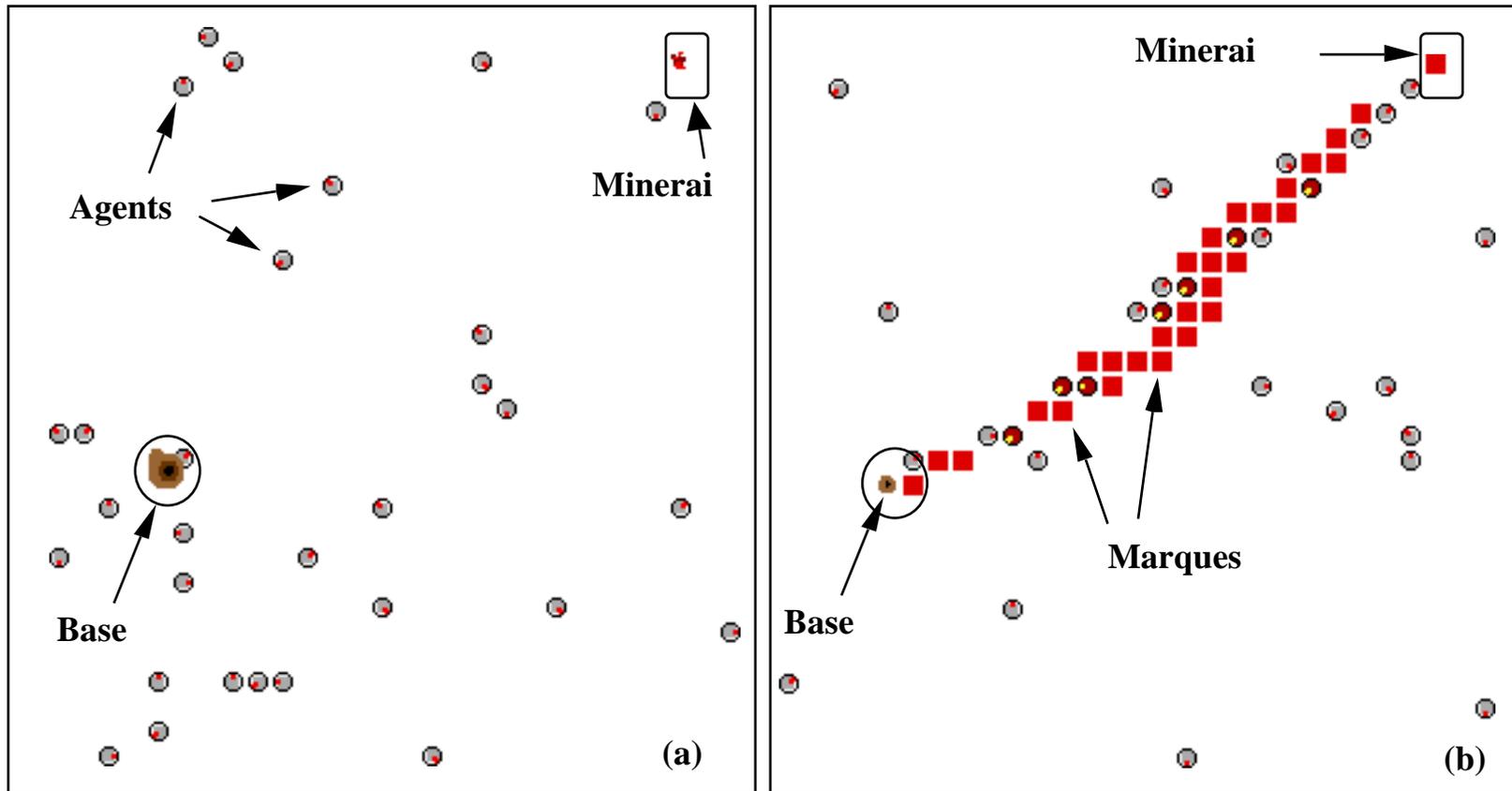
Si je ne porte rien
et je ne perçois pas de minerai
then I take a sample of it

Règle déposer

Si je porte du minerai
et je suis à la base
alors déposer du minerai

**Aucune coordination
entre les agents**

Une situation en cours



Règles d'action située: avec coordination

Idée: utiliser des marques à la manière des fourmis (et du petit poucet) pour retrouver l'emplacement du minerai

Règle explorer (**changée**)

Si je ne porte rien
et je ne perçois aucun minerai
et je ne vois pas de marques
alors marche aléatoire

Règle Rapporter (**changée**)

Si je porte du minerai
et je ne suis pas à la base
alors revenir à la base
et déposer 2 marques

Règle Suivre Marques

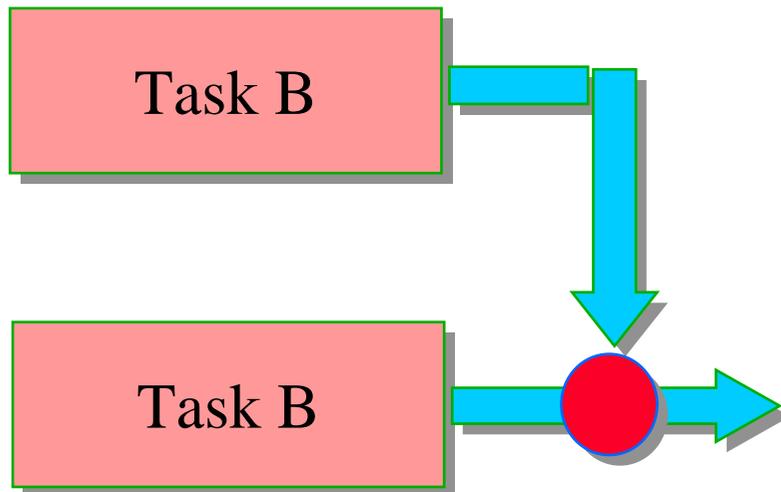
Si je ne porte rien
et je ne perçois aucun minerai
et je vois des marques
alors aller vers les marques

J.L. Deneubourg

L. Steels

Architectures d'agents réactifs #2

◆ Subsumption architecture (R. Brooks)



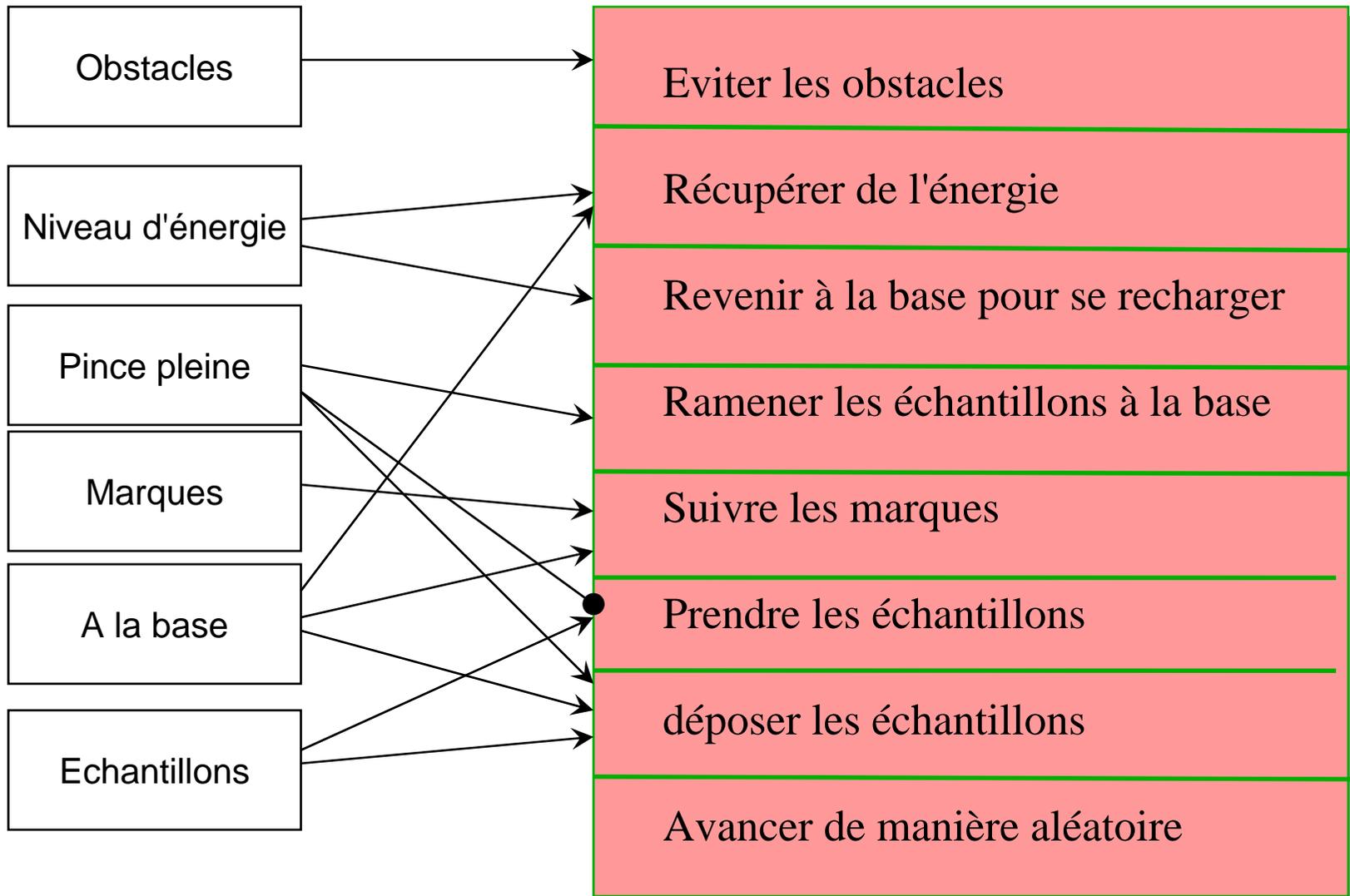
Eviter les obstacles

Maintenir un niveau
d'énergie

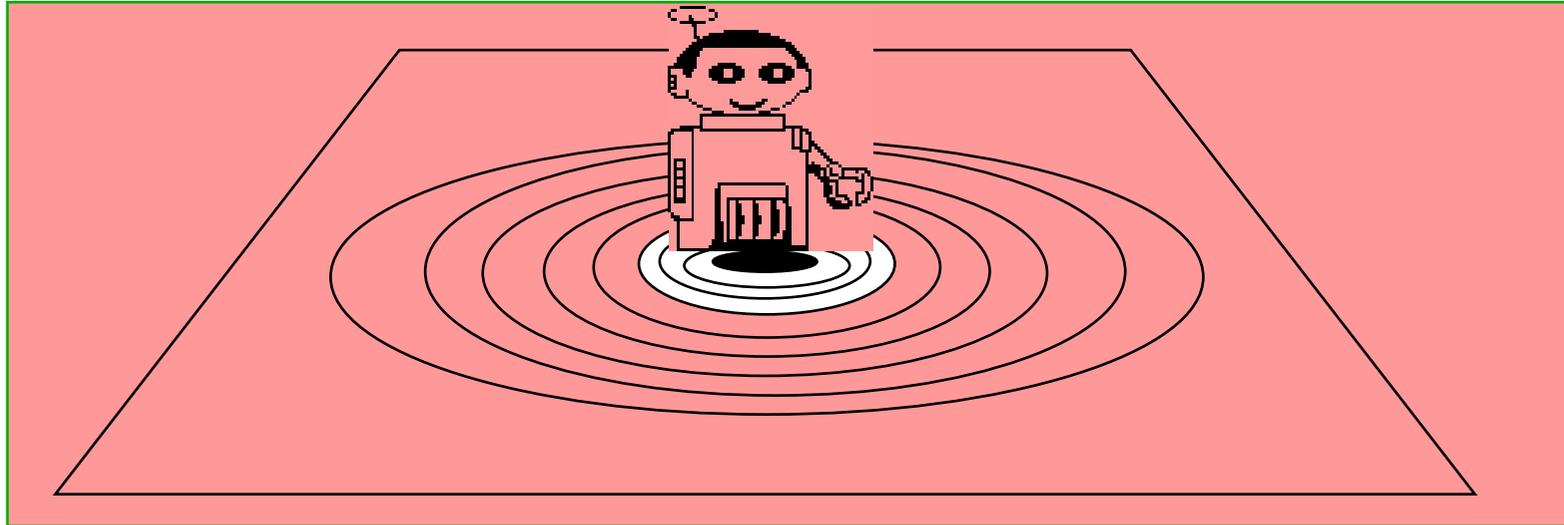
Accomplir une tâche
productive

Avancer de manière
aléatoire (comportement
par défaut)

Exemple: les robots fourrageurs



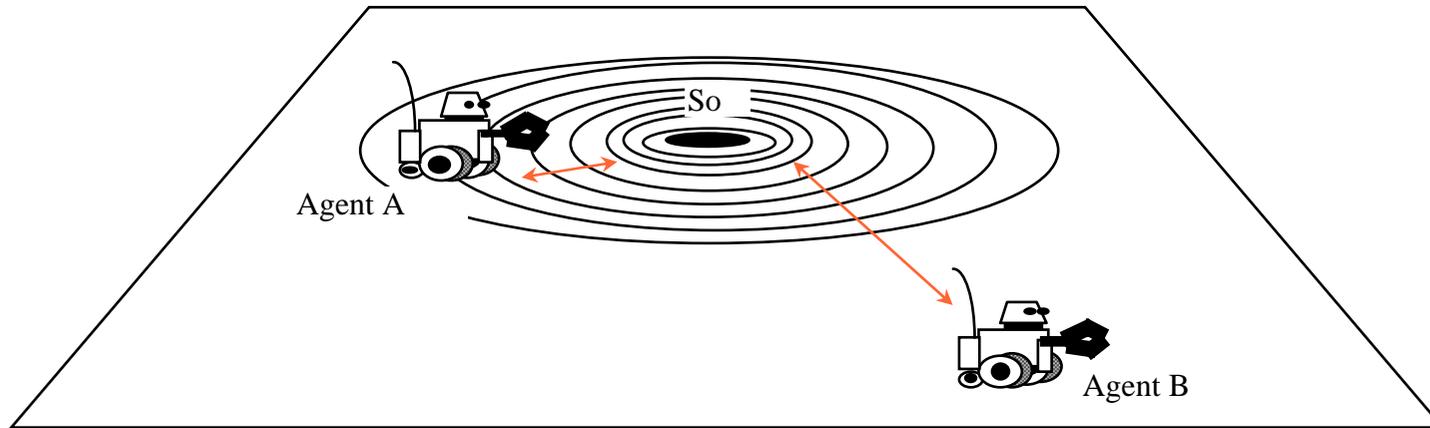
Communication par signaux



The emitter sends a signal that propagates in the environment. The signal intensity decreases as a function of distance (and time).

$$V(\mathbf{x}) = V(\mathbf{x}_0)/\text{dist}(\mathbf{x},\mathbf{x}_0)$$

Distance et signaux



L'émetteur envoie un signal qui se propage dans l'environnement. L'intensité du signal décroît en fonction de la distance (et du temps):

$$V(x) = V(x_0)/\text{dist}(x,x_0)$$

Un exemple: le projet Manta

PARIS VI
LAFORIA

PARIS XIII
Labo d'Ethologie

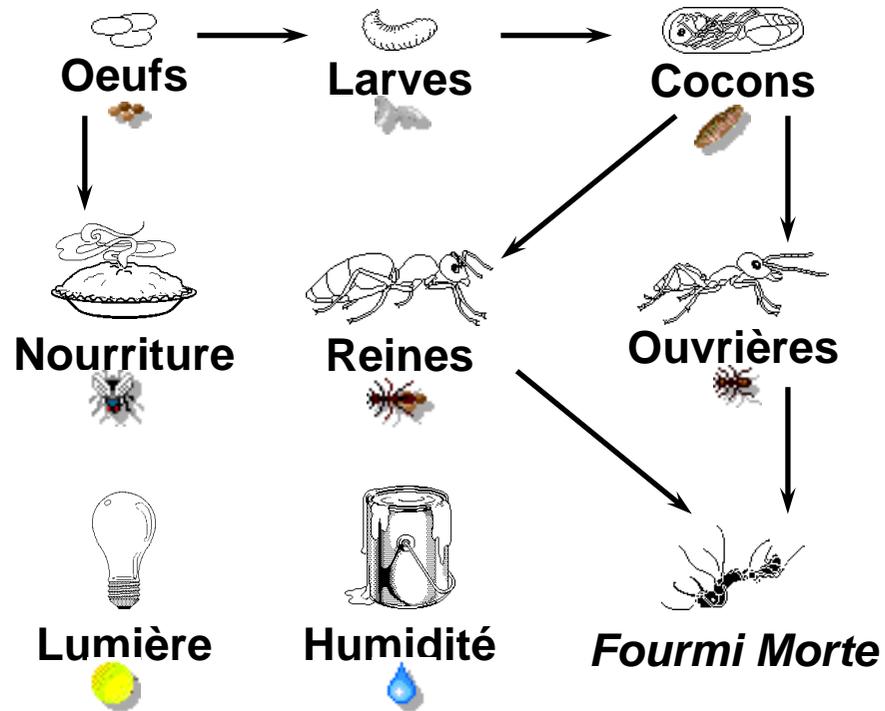
Alexis Drogoul
J. Ferber
(Steffen Lalande)

Dominique Fresneau
Bruno Corbara

MAN^TA

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

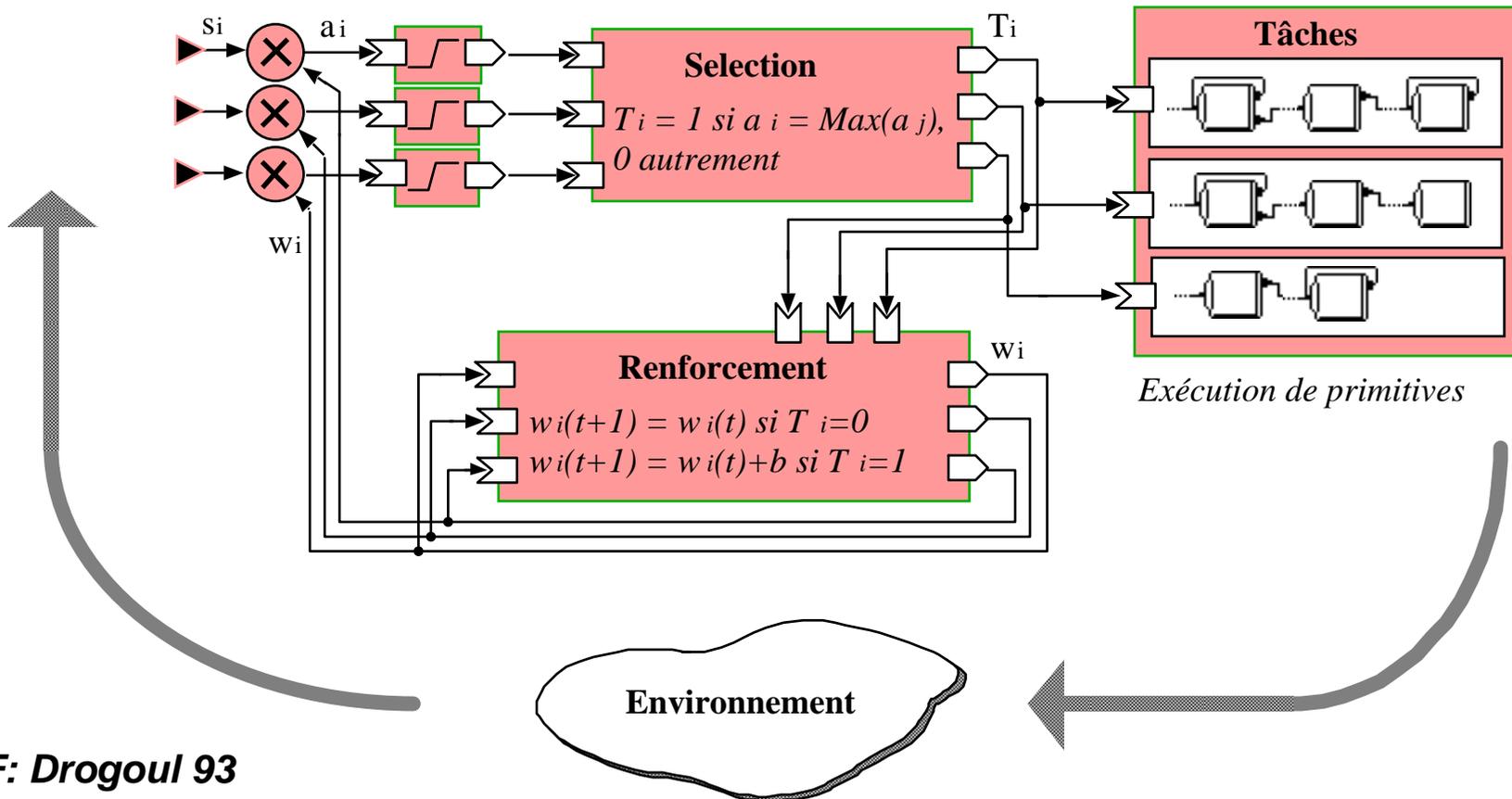
Les agents Manta



Architectures d'agents réactifs #4

- ◆ Architectures à base de tâches en compétition (cf. projet Manta)

Stimuli Seuils



EMF: Drogoul 93

Manta: le laboratoire virtuel

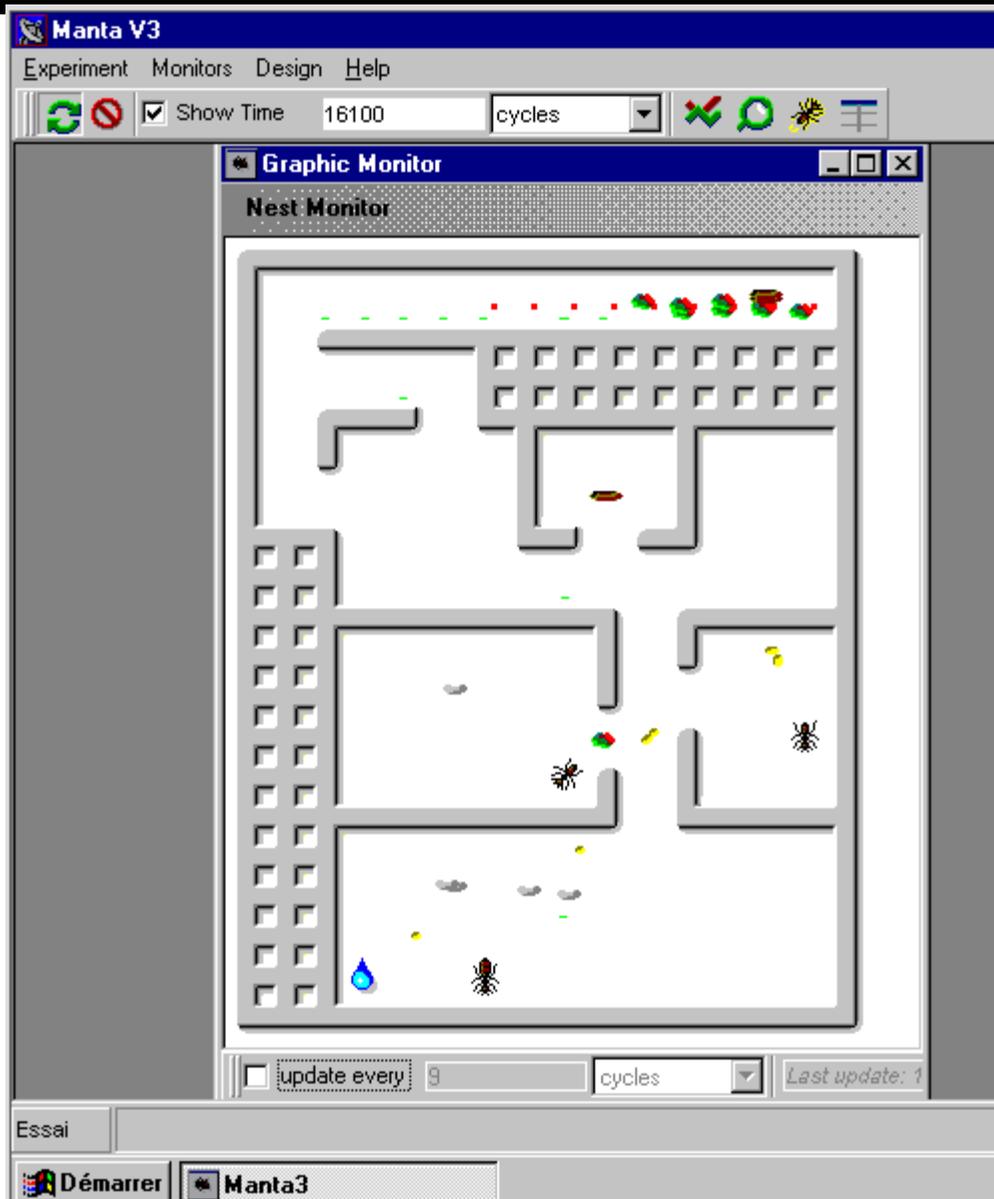
The image displays the Manta virtual laboratory interface, which is used for simulating ant colony behavior. The main window shows a simulation of ants in a maze environment. The interface is divided into several panels:

- 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 for the selected agent or stimulus.

PARAMETERS	Value
WEIGHT	4
THRESHOLD	11
INCREMENT	1
- OPERATORS:** A list of operators for defining agent behavior, including exec:with:, exec:with:then:, execWhileSucces, execWhileSucces, and exec:.
- PRIMITIVES:** A list of primitive actions including primFollow:, primPickUp:, primPutDown:, and primCure:.
- ARGUMENT:** A text field containing the word "cocoon".
- ACTIVATION:** A diagram showing the activation sequence of operators and primitives.
- END:** A diagram showing the end condition for the agent's task.

The simulation window shows a maze with ants, food, and cocoons. A toolbar on the right side of the simulation window contains various icons for interacting with the simulation, such as adding ants, food, and cocoons, and controlling the simulation (play, stop, reset).

Manta: les fourmis



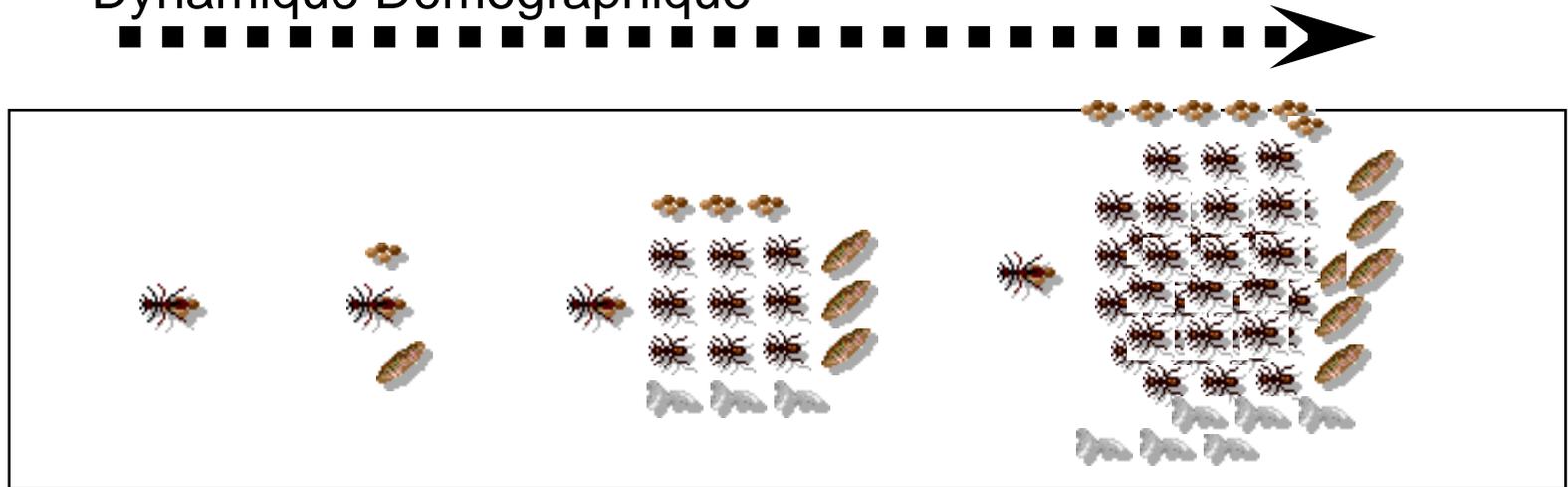
Manta : le browser

The screenshot shows the Manta Task Browser interface, which is organized into several panels:

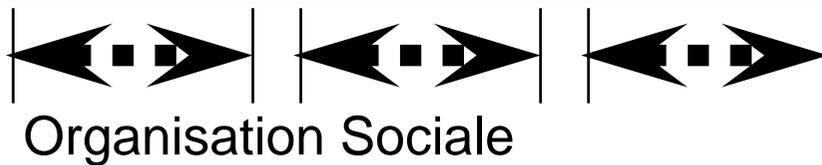
- Species:** A list containing "Ectatomma Ruidum Roger" with "Open..." and "Save as..." buttons below it.
- Classes:** A list of classes including AntClass, CocoonClass, EggClass (with sub-classes Food, FoodLocation, Humidity), LarvaClass (with sub-classes Light, Outside), and QueenClass (with sub-class Simulation). "New..." and "Modify..." buttons are at the bottom.
- Variables:** A list of variables: carryingCapacity, cureLevel, foodLevel (highlighted), and lifeTime. It includes "New..." and "Remove..." buttons. To the right, "Variable facets" are shown with input fields for Value (-1), Increment (-0.0020), Max (30), Init (16), Delta (2), and Min (3).
- Stimuli:** A list of stimuli: cure_self (highlighted), default, hungry_self, kill_egg, kill_larva, and maturing_self. It includes "New..." and "Remove..." buttons. To the right, "Range" options (Internal, External) and "Type" options (Fixed, Incremental, Normal, Threshold) are shown. The "Normal Stimulus Definition" section has "Insert variable" and "Insert Stimulus" dropdowns, and a "Value" field containing the expression `(init[cureLevel] - value[cureLevel])`.
- Tasks:** A list of tasks: kill_egg, kill_larva, light, maturing_self, move_cocoon, move_egg (highlighted), and move_larva. It includes "New..." and "Remove..." buttons. Below, "Task properties" are shown with input fields for Weight (4), Threshold (15), Weight Increment (0.1000), and Threshold Increment (1).
- Task Primitives:** A list of task primitives with icons and dropdown menus. The list includes: a refresh icon with "follow" and "move_egg"; a play icon with a truck and "carry" and "move_egg"; a refresh icon with "follow" and "move_egg humidity -move_larva"; three entries with a play icon and "(none)"; and a stop icon with a truck and "putDown" and "egg".

Manta: expériences

Dynamique Démographique



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

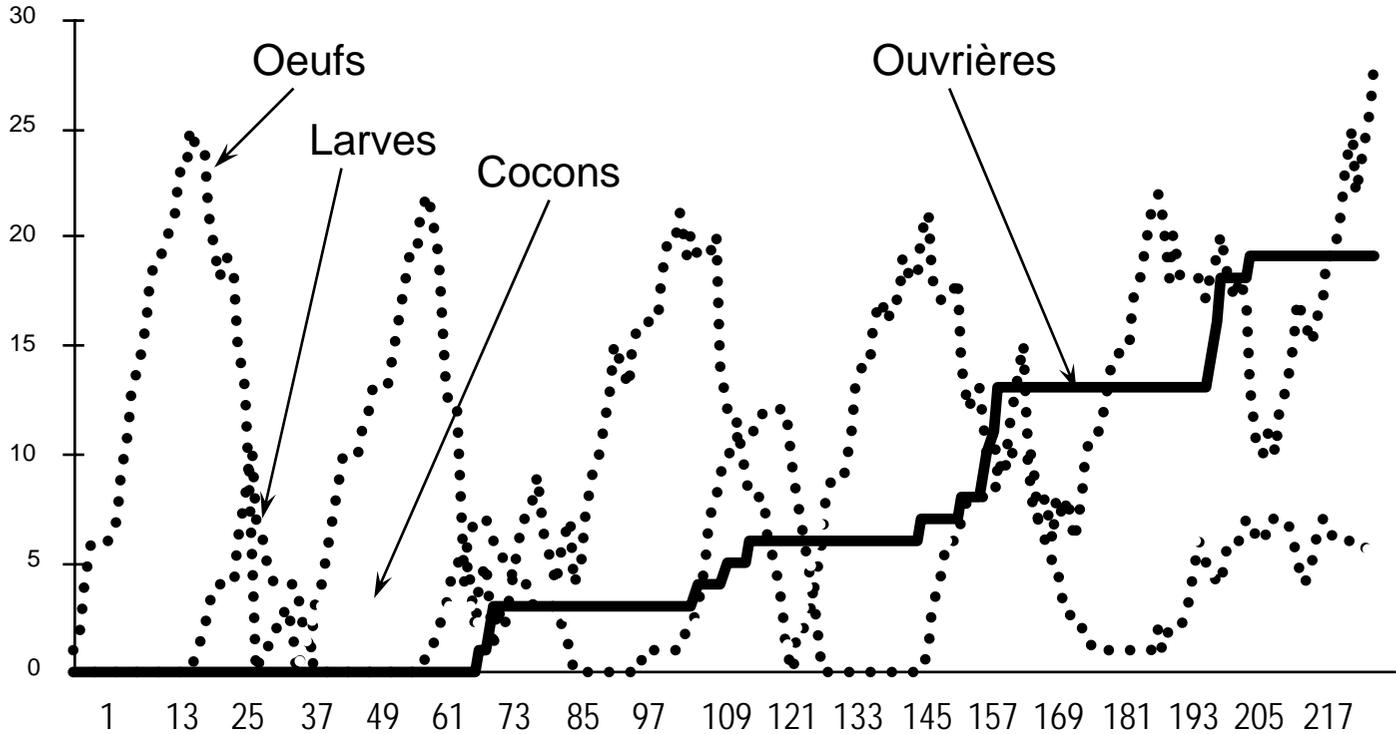


Evolution de l'Organisation

Evolution avec Restriction de la Nourriture

Evolution Polygyne (plusieurs reines)

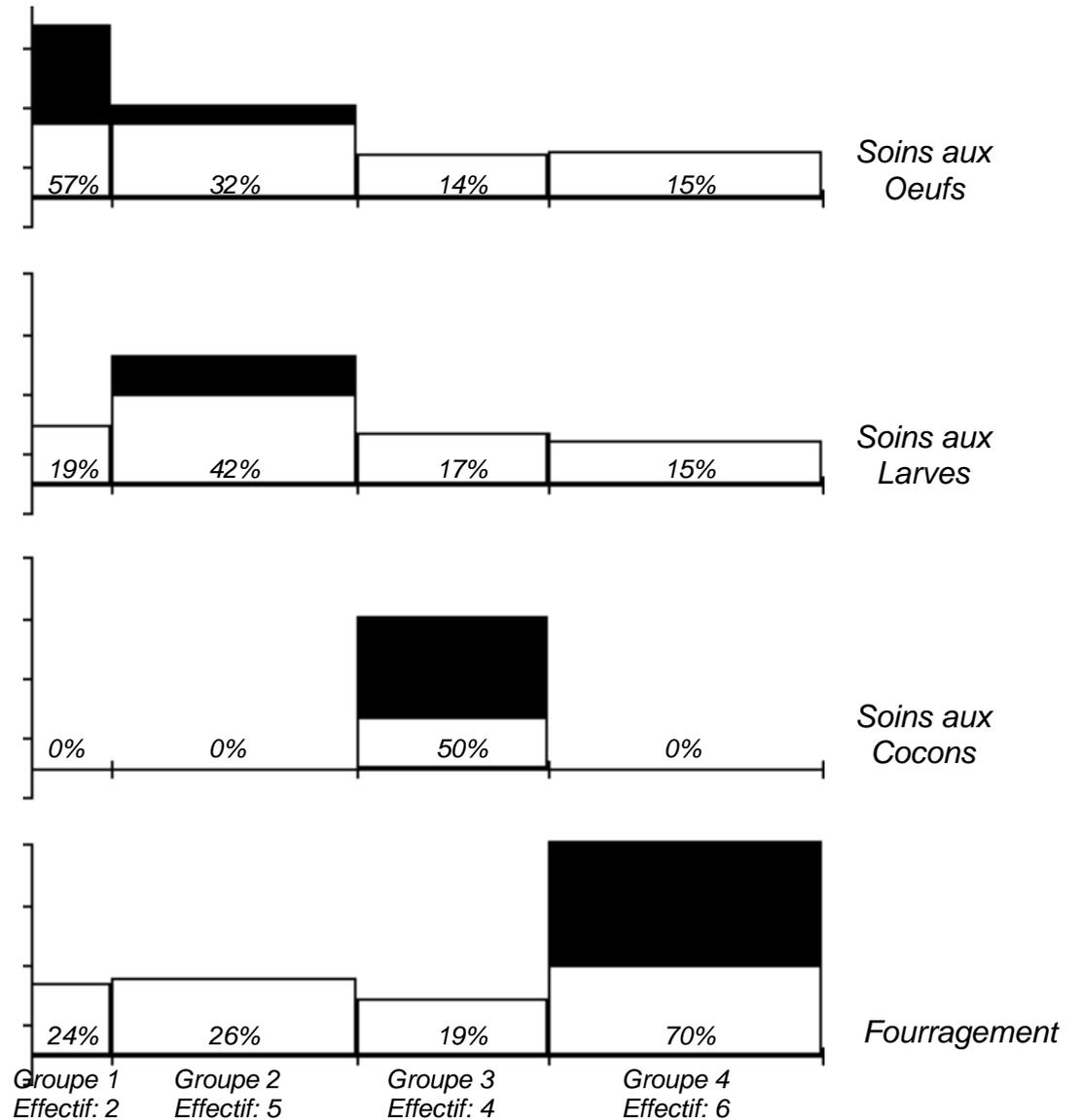
Manta: sociogénèse



Expérience P_4 (Exemple)

Manta: division du travail

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



Les interactions



Critères pour caractériser des situations d'interactions

◆ Compatibilité des buts/satisfactions

- Buts compatibles ou non entre agents?

◆ Accès aux ressources

- Les ressources sont elles suffisantes pour tous les agents.
Conflits pour obtenir ces ressources?

◆ Auto-suffisance

- Un agent a-t-il tous les moyens pour satisfaire ses objectifs?

Quelles interactions?

Satisfaction compatibles	Ressources nécessaires	Auto-suffisance	Types de situations	Categories
Compatible	Suffisantes	Yes	Independence	Indifférence
Compatible	Suffisantes	No	Partage de compétences	Coopération
Compatible	Insuffisantes	Yes	Congestion	
Compatible	Insuffisantes	No	Coordination + allocation de tâches	
Incompatible	Suffisantes	Yes	Compétition individuelle pure	Compétition
Incompatible	Suffisantes	No	Compétition collective pure	
Incompatible	Insuffisantes	Yes	Compétition individuelle pour des ressources	
Incompatible	Insuffisantes	No	Compétition collective pour des ressources	

Les problèmes

- ◆ **Comment réaliser effectivement des actions collectives (ex: se regrouper, transporter quelque chose à plusieurs, etc..)**
- ◆ **Comment déterminer de bonnes stratégies de coordination entre agents afin d'assurer un objectif?**
- ◆ **Comment évaluer des approches très différentes dans la manière d'analyser un problème SMA?**
- ◆ **Comment appréhender les choix "cognitifs" dans des situations d'interactions?**

Buts des actions collectives

- ◆ **Le but de la coordination d'action est d'améliorer les performances des agents (survie) quand le nombre d'agents et de ressources s'accroît**

**La coordination est l'ensemble des activités supplémentaires qu'il est nécessaire d'accomplir lorsque plusieurs agents sont ensemble, et qu'un seul agent n'aurait pas à accomplir.
(T. Malone 1987)**

- ☞ **La coordination est ce qui fait la différence entre un agent et plusieurs agents**

- ◆ **La coordination suppose un minimum d'organisation**

- ◆ **Doit répondre à la question:**

- **Où, quand, comment et avec qui une activité est elle (doit être) effectuée**

Actions collective

- ◆ **Une action collective est une action qui ne prend sens que pour un nombre n d'agents où $n > 1$**
- ◆ **Cette action est caractérisée par:**
 - Soit elle ne peut pas être définie pour un agent isolé (ex: se regrouper)
 - soit elle prend un sens différent pour un agent et pour plusieurs (ex: ramener un ensemble de choses, défendre à plusieurs une place, etc..)
- ◆ **Les actions collectives mettent en avant l'importance de la coordination**

Avantages des actions collectives

- ◆ **Accomplir des tâches qu'un robot seul ne peut pas accomplir par lui-même**
 - exemple: deux robots tentent de soulever un objet très lourd
- ◆ **Accroître la productivité des agents**
 - par spécialisation et économie d'échelle
- ◆ **Accroître le nombre de tâches qui peuvent être accomplies en un temps donné**
 - et rendre éventuellement la survie possible
- ◆ **Optimiser l'usage des ressources**
 - en éliminant les problèmes et les conflits

Types d'action collectives

- ◆ **Evolution collective**
 - Evitement de collision, regroupement,
- ◆ **Transport collectif**
 - Récupération d'objets, portage, tri,...
- ◆ **Construction collective**
 - Construction d'abris, de pièges, de machines,...
- ◆ **Allocation de tâches et planification**
 - Répartition de travail, de ressources, planification des actions
- ◆ **Commerce et échange entre agents**
 - Transactions commerciales, trocs, ...
- ◆ **Négociation et résolution de conflits**
- ◆ **Analyse et contrôle/décision collectif/distribué**

Techniques de coordination

- ◆ **Les techniques de coordination passent par**
 - 1) l'analyse des capacités individuelles des agents
 - 2) La définition de rôles dans la coordination
 - 2) la définition de protocoles de communication entre agents qui s'expriment en fait entre rôles.

Actions collectives dans Warbot

◆ Actions principales (opératives):

- Défendre: un agent, une base
- Détecter: une base ennemie,
- Attaquer: un agent, une base

◆ Actions secondaires (végétatives)

- Récupération et transport de nourritures
- Soins aux agents

Questions fondamentales

◆ Questions fondamentales

- Quand effectuer une action?
 - ☞ Doit-on défendre ou attaquer tout le temps?, qui détecte l'ennemi?
- Qui doit l'effectuer?
 - ☞ Est ce que tous les agents sont mis à la détection? Est ce que tous les agents sont mis à l'attaque?
- Comment l'effectuer?
 - ☞ Que signifie détecter? Doit on mémoriser certaines positions d'agents (et de base) et si oui jusqu'à quand?
- Quelle organisation?
 - ☞ Y-a-t-il un coordinateur pour certaines actions? Si oui que se passe-t-il s'il est détruit?
 - ☞ Les groupes/équipes sont elles statiques ou dynamiques, etc...



Importance de l'environnement

◆ Buts

- Buts et obstacles sont dans l'environnement

◆ Communication par propagation de signaux et marquage

- Communications sélectives en fonction de la distance (décroissance des signaux) Allocation de tâches réactive

◆ Point de synchronisation des actions

- Les actions sont synchronisées par l'environnement (couplage agent/environnement)

◆ Mémoire

- La mémoire des agents est dans l'environnement!!

Déplacement «réactif»

Les forces sont définies comme le gradient d'un champ de potentiel

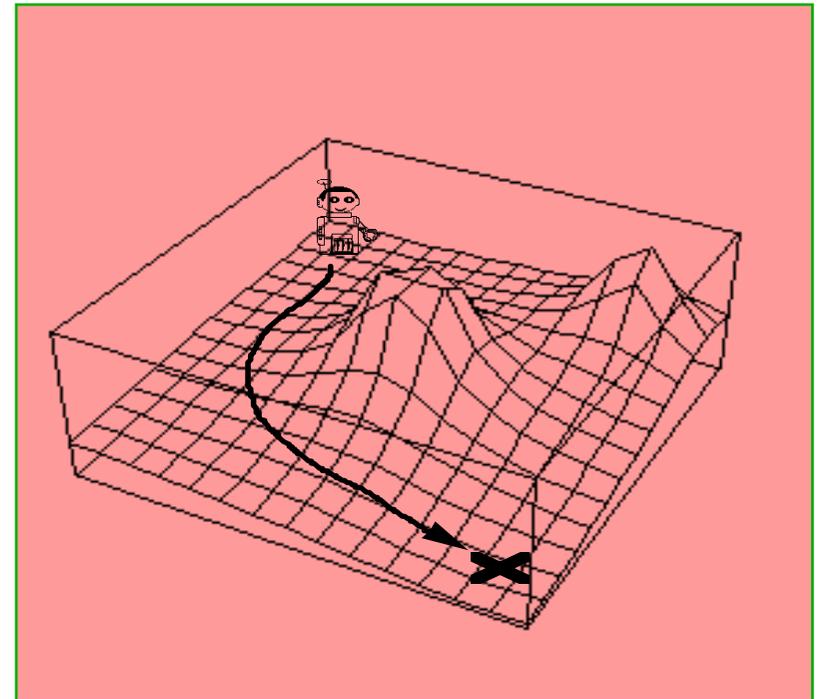
$$\mathbf{F}(\mathbf{p}) = -\text{grad}(\mathbf{U}(\mathbf{p}))$$

Les buts sont représentés comme des champs attractifs.

Les obstacles sont représentés comme des champs répulsifs

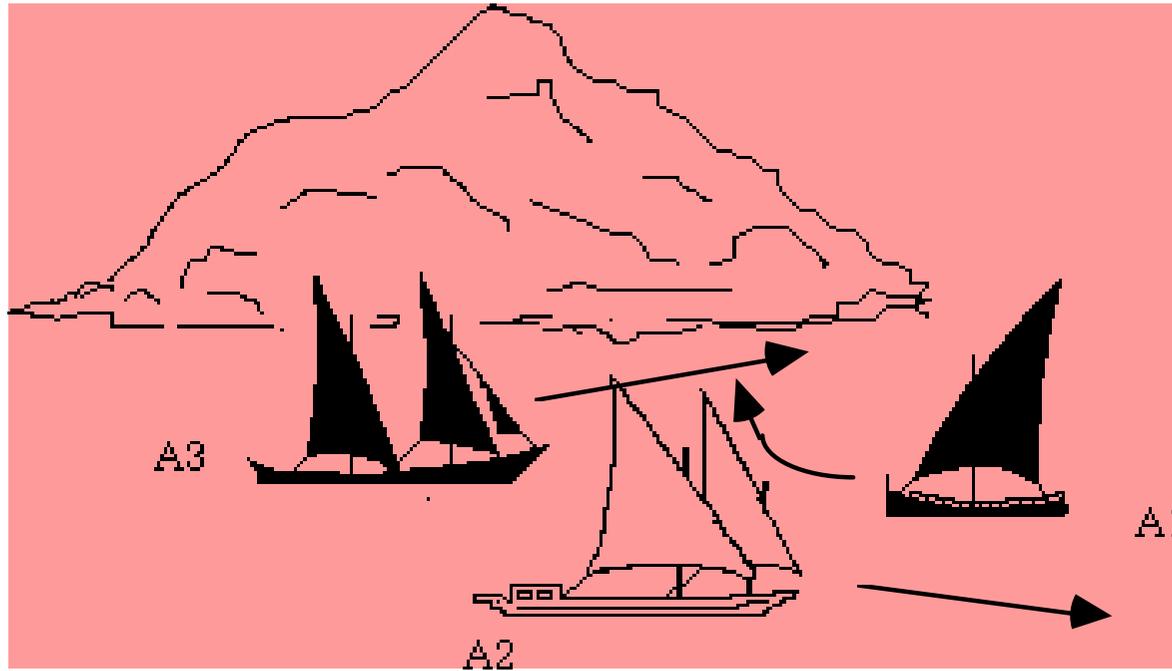
Le mouvement est obtenu par une combinaison de champs attractifs et répulsifs

$$\mathbf{U}(\mathbf{p}) = \mathbf{U}_{\text{attr}(\mathbf{p})} + \mathbf{U}_{\text{repul}(\mathbf{p})}$$



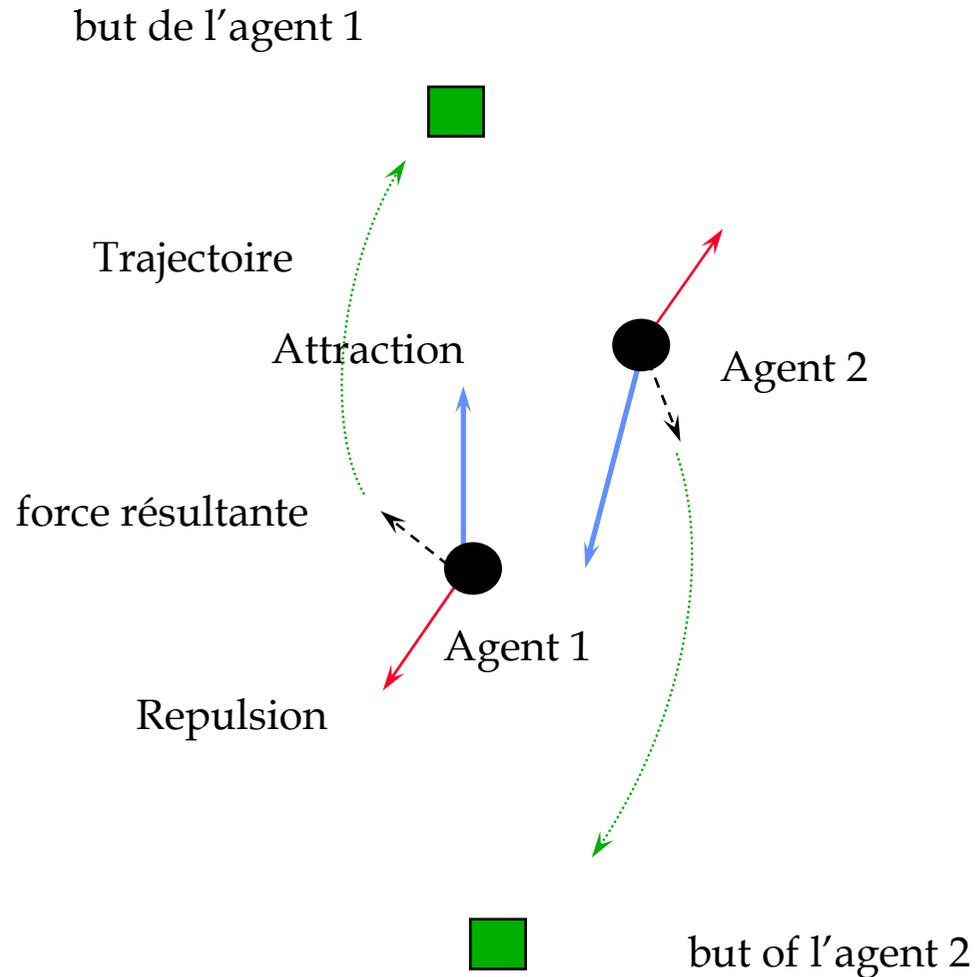
Un problème classique de coordination

◆ Evitement de collision

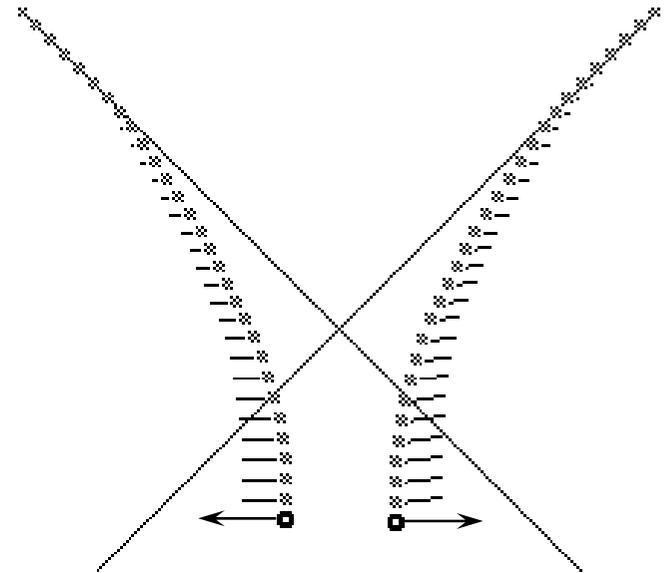
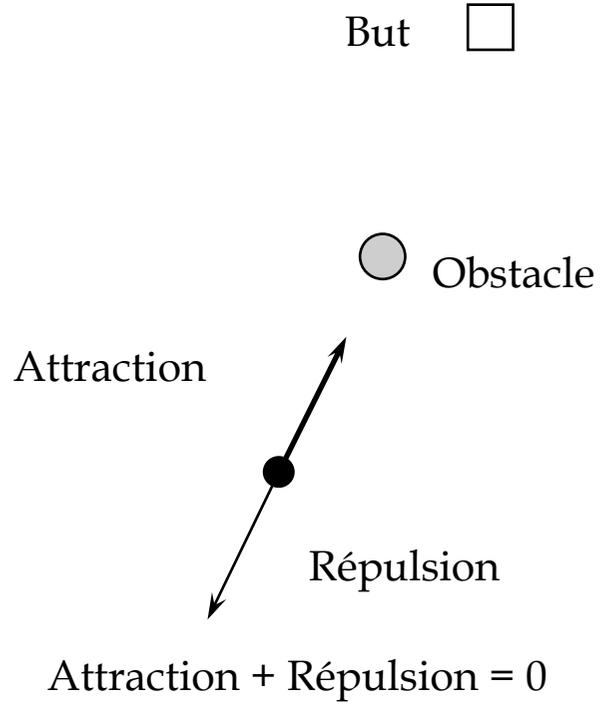


Approche par champ de force

Chaque agent est considéré comme étant un obstacle pour l'autre



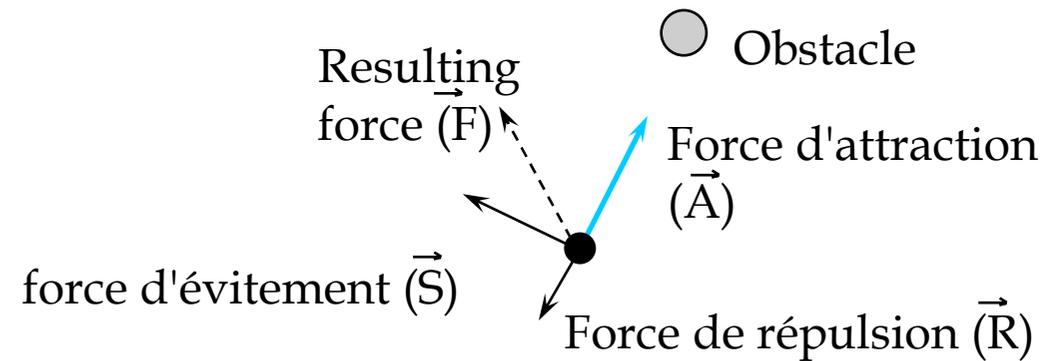
Mais la répulsion n'est pas l'évitement



Solution: utiliser des forces d'évitement

Eviter signifie rester à "bonne" distance des obstacles en se dirigeant vers le but

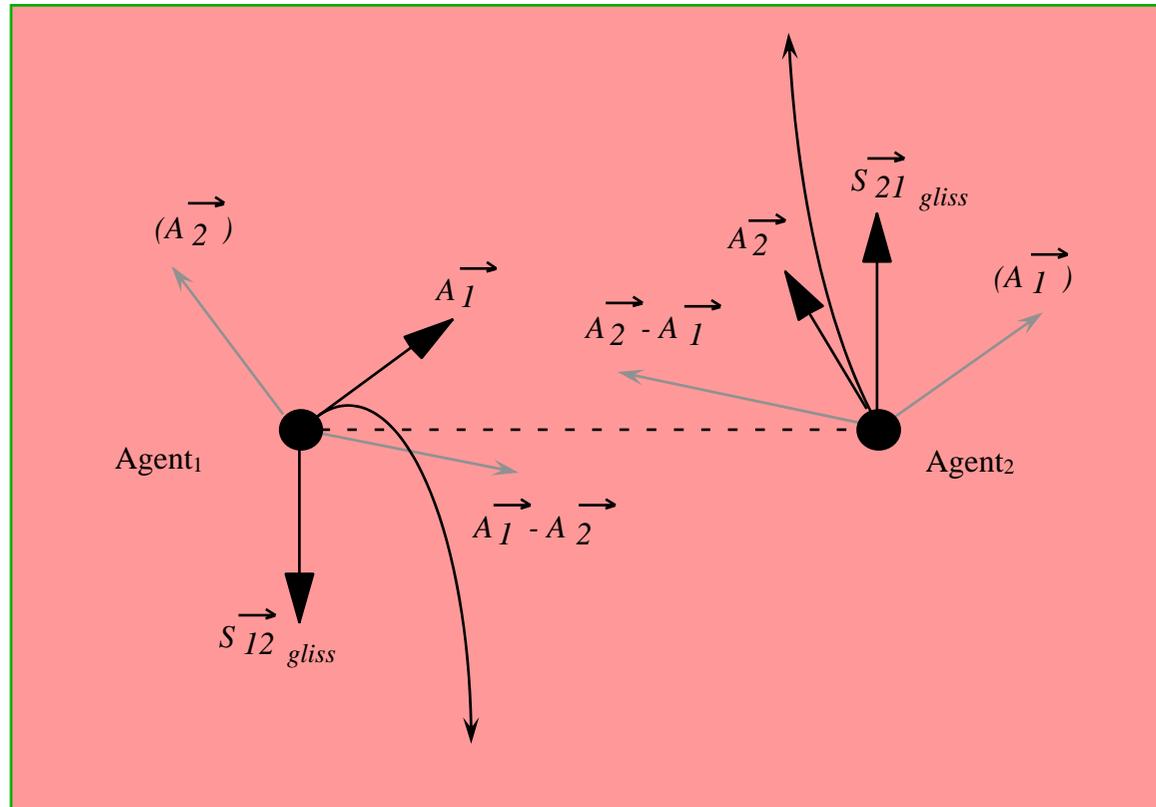
But



$S(p)$ is such that $dir(\vec{R}(p)) \cdot dir(\vec{S}(p)) = 0$

$$\vec{F}(p) = \alpha \vec{A}(p) + \beta \vec{R}(p) + \gamma \vec{S}(p)$$

Forces d'évitement symétrique



K. Zeghal, J. Ferber 1992



Agents cognitifs

- ◆ Notion d'état mental
- ◆ Théorie des états mentaux
- ◆ Architecture BDI

Agents cognitifs

- ◆ **Comportement** est dirigé par des états mentaux (ou attitudes mentales) tels que les intentions, les croyances, les buts, les peurs, etc..
- ◆ Les trois états mentaux principaux (pour les SMA) sont les **croyances**, les **intentions** et les **buts**:
 - Les intentions sont des buts persistants qui imposent à un agent d'agir
 - Les buts persistants sont des buts qui ne sont abandonnés que s'ils ont été accomplis ou que l'on croit inaccessibles.

Croyances

- ◆ **Les croyances peuvent être définies logiquement. Elles sont fondées sur de la logique modale.**
- ◆ **Leur signification est généralement fondée sur la sémantique des mondes possibles.**

Une logique modale standard pour les croyances

Axiome de distribution

$$\blacklozenge \text{Bel}(a, (p \Rightarrow q)) \Rightarrow \text{Bel}(a, p \Rightarrow \text{Bel}(a, q)) \quad (\text{K})$$

$$\blacklozenge \text{Bel}(a, p) \wedge \text{Bel}(a, (p \Rightarrow q)) \Rightarrow \text{Bel}(a, q)$$

Principe de non-contradiction

$$\blacklozenge \text{Bel}(a, p) \Rightarrow \neg \text{Bel}(a, \neg p) \quad (\text{D})$$

Introspection positive et négative

$$\blacklozenge \text{Bel}(a, p) \Rightarrow \text{Bel}(a, \text{Bel}(a, p)) \quad (4)$$

$$\blacklozenge \neg \text{Bel}(a, p) \Rightarrow \text{Bel}(a, \neg \text{Bel}(a, p)) \quad (5)$$

Modèles des buts et des intentions

◆ Relations entre buts et intentions

- Les intentions sont des buts persistants qui imposent à un agent d'agir
- Les buts persistants sont des buts qui ne sont abandonnés que s'ils ont été accomplis ou que l'on croit inaccessibles.

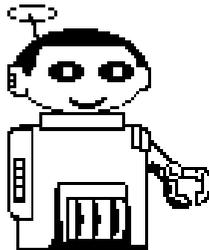
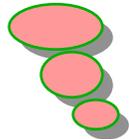
◆ Plusieurs modèles de buts persistants et d'intentions:

- Ex: *Cohen et Levesque*:
- $P\text{-Goal}(a,p) = \text{Goal}(a,\text{Later}(p)) \wedge \text{Bel}(a, \neg p) \wedge [\text{Before}(\text{Bel}(a,p) \vee \text{Bel}(a,\text{Always}(\neg p)), \neg\text{Goal}(a,\text{Later}(p)))]$
- Agent a a le but persistant que p soit vrai s'il a le but que p soit vrai plus tard, s'il croit que p n'est pas vrai pour l'instant et s'il croit qu'il sera soit vrai un jour soit qu'il sera toujours faux.

Comportement dirigé par les buts

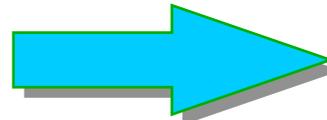
$\text{Bel}(\neg p)$
 $\text{Bel}(a \rightarrow p)$
 $\text{Bel}(\text{CanDo}(a))$

if

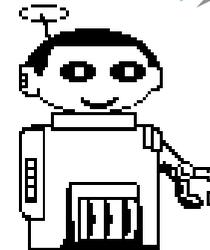


$\text{P-Goal}(p)$

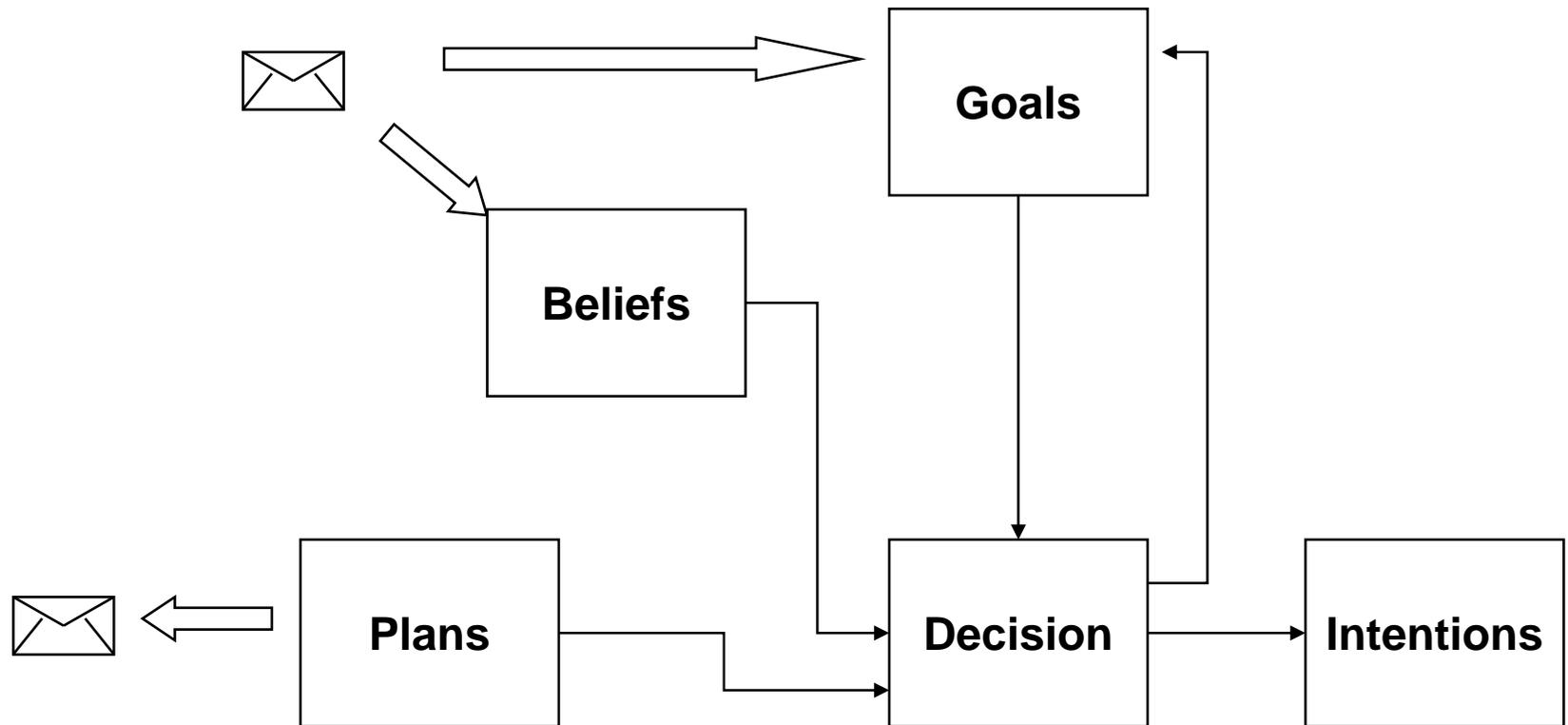
then



$\text{Intention}(a)$

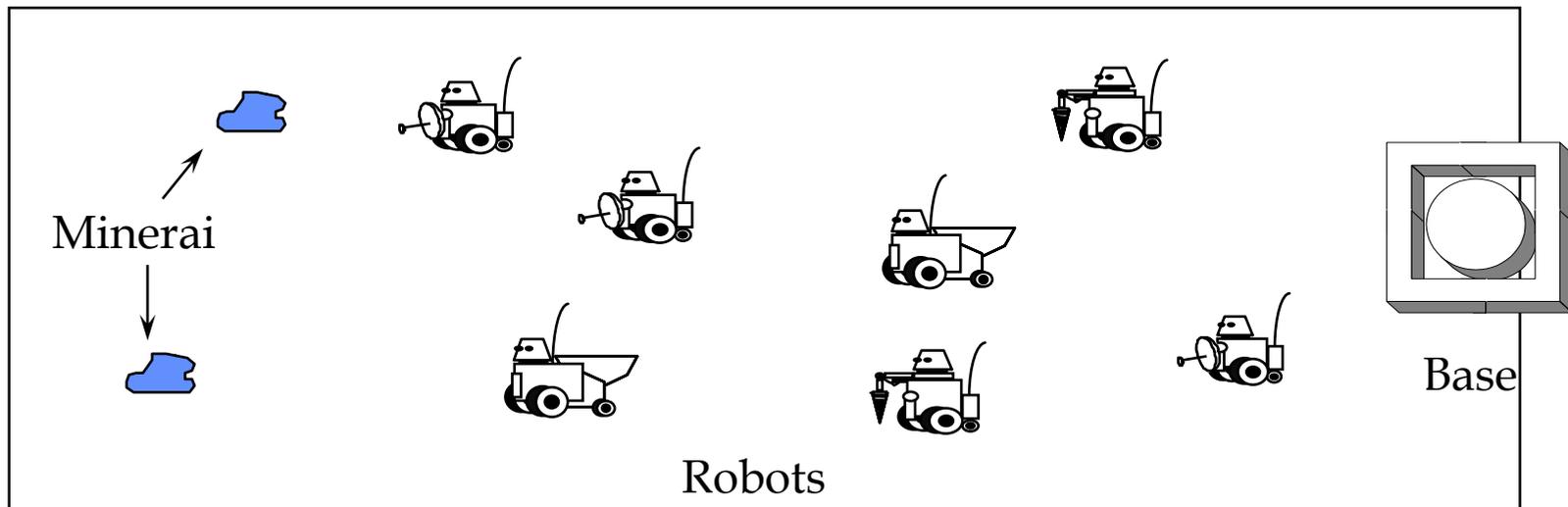


Architecture BDI



Récupération de minerai (2^{ème} partie)

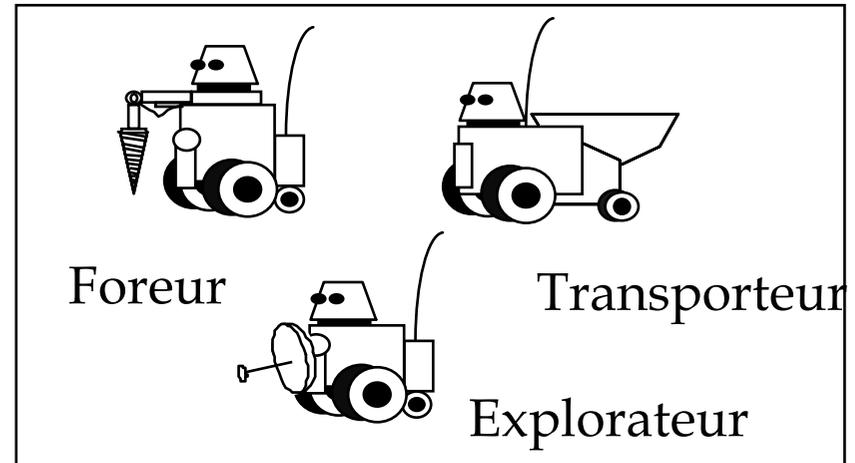
- ◆ Récupération de minerai avec agents disposant de communication directe



Une solution utilisant le réseau contractuel

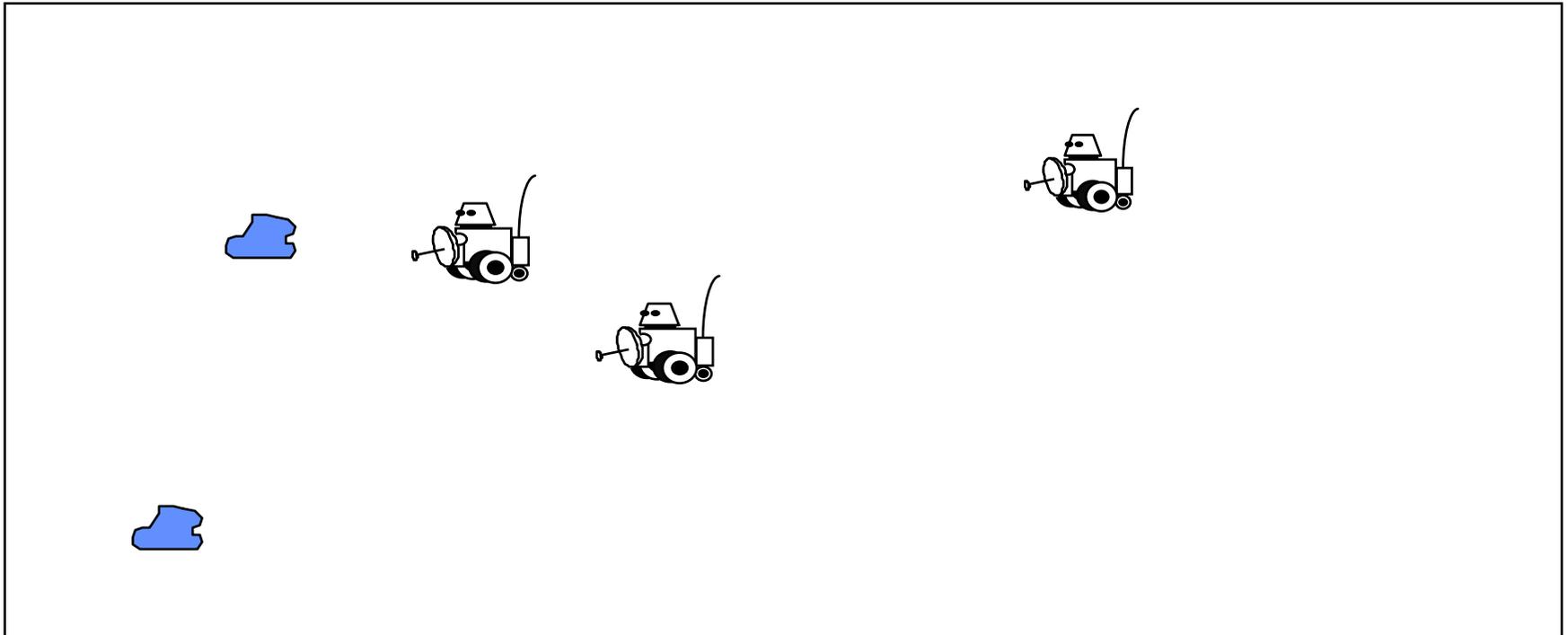
◆ **3 sortes d'agents**
(définit aussi 3 rôles de base)

- Explorateurs
- Foreurs
- Transporteurs



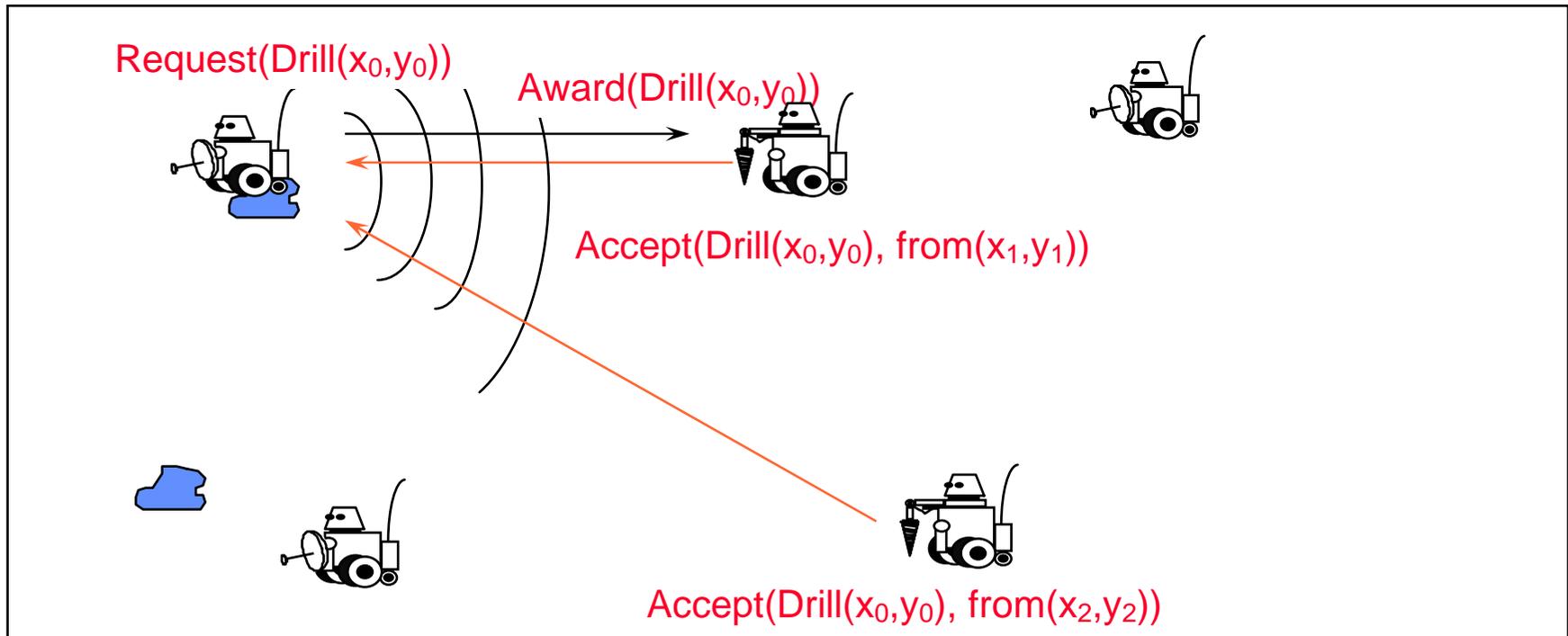
Phase 1: Exploration

- ◆ Les explorateurs cherchent du minerai



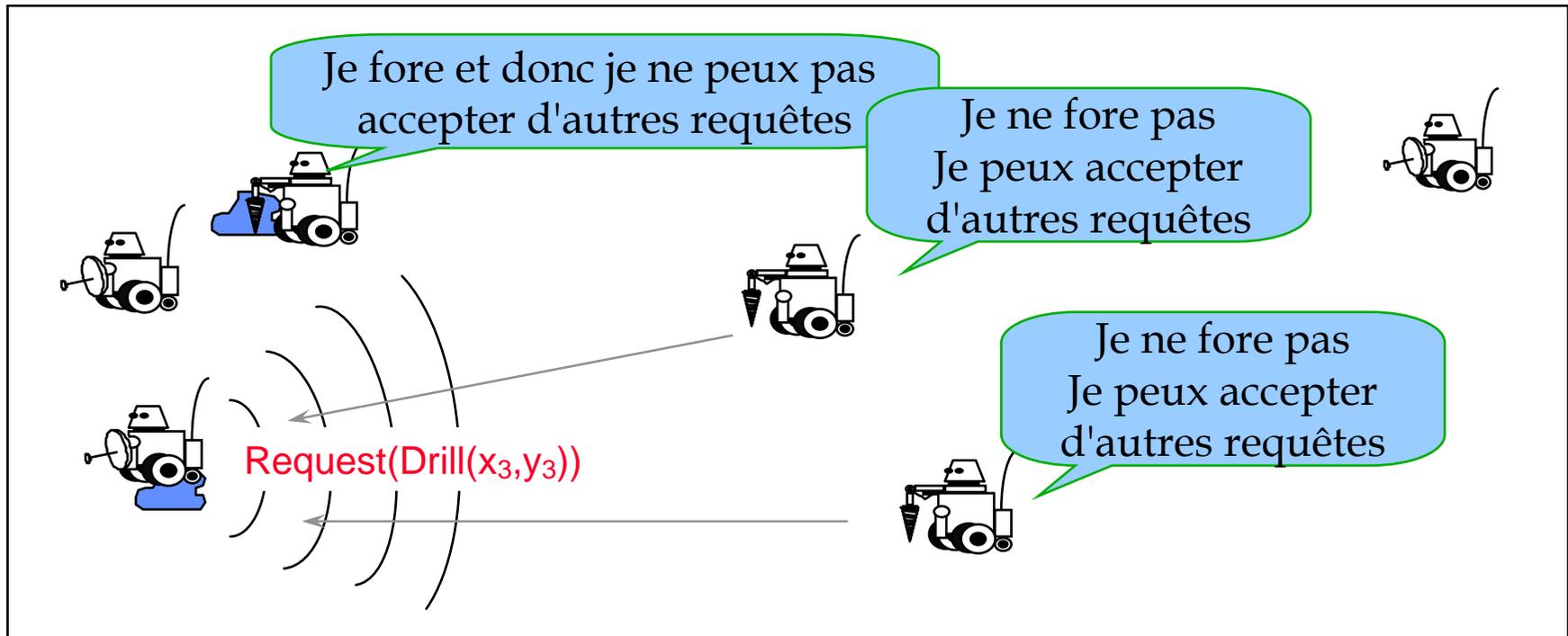
Phase 2: Appel d'offre pour forer

- ◆ Les explorateurs envoient des appels d'offres aux foreurs
- ◆ Les foreurs sont sélectionnés



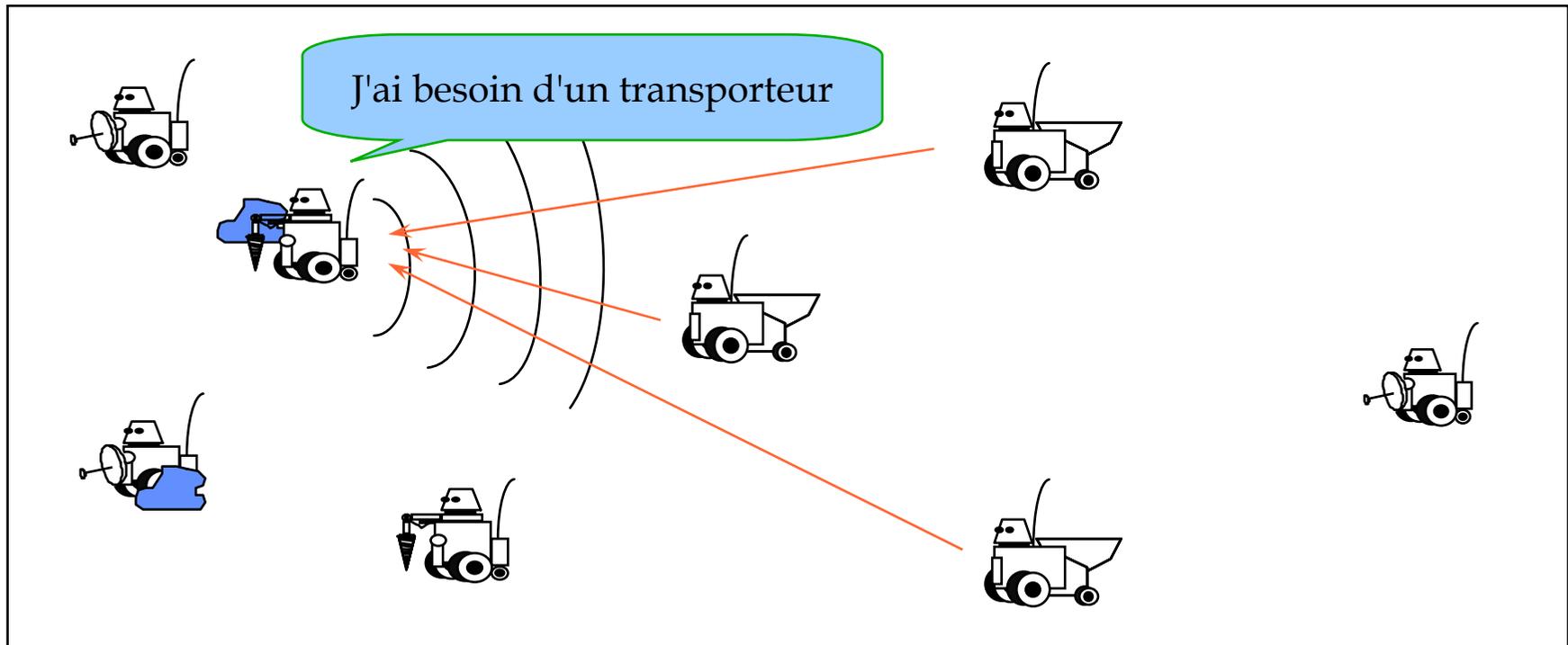
Phase 3: Les foreurs forent

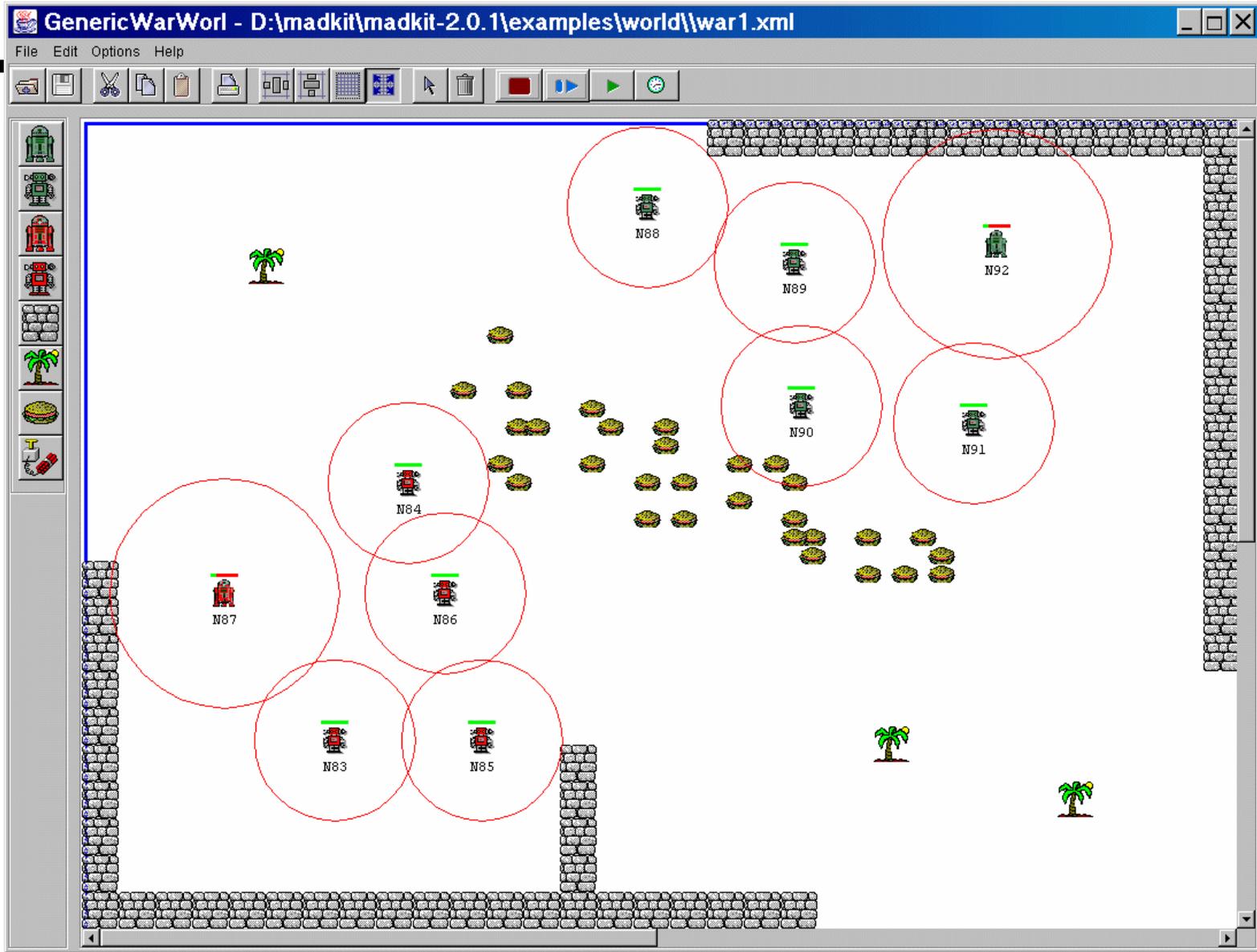
- ◆ Les foreurs ne peuvent pas accepter des requêtes provenant d'autre lieux (engagement immédiat)



Phase 4: Demander des transporteurs

- ◆ Utilisation du réseau contracteur pour demander des transporteurs
 - Les foreurs demandent de l'aide...





Techniques de coordination

- ◆ **Les techniques de coordination passent par**
 - 1) l'analyse des capacités individuelles des agents
 - 2) La définition de rôles dans la coordination
 - 2) la définition de protocoles de communication entre agents qui s'expriment en fait entre rôles.



Actions collectives dans Warbot

◆ Actions principales (opératives):

- Défendre: un agent, une base
- Détecter: une base ennemie,
- Attaquer: un agent, une base

◆ Actions secondaires (végétatives)

- Récupération et transport de nourritures
- Soins aux agents

Questions fondamentales

◆ Questions fondamentales

- Quand effectuer une action?
 - ☞ Doit-on défendre ou attaquer tout le temps?, qui détecte l'ennemi?
- Qui doit l'effectuer?
 - ☞ Est ce que tous les agents sont mis à la détection? Est ce que tous les agents sont mis à l'attaque?
- Comment l'effectuer?
 - ☞ Que signifie détecter? Doit on mémoriser certaines positions d'agents (et de base) et si oui jusqu'à quand?
- Quelle organisation?
 - ☞ Y-a-t-il un coordinateur pour certaines actions? Si oui que se passe-t-il s'il est détruit?
 - ☞ Les groupes/équipes sont elles statiques ou dynamiques, etc...