

# Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) & Systèmes Multi-Agents (SMA)



Bernard ESPINASSE  
Aix-Marseille Université (AMU)  
LSIS UMR CNRS 7296  
2012



- Introduction à l'IAD aux Agents Logiciels
- Pourquoi distribuer, motivations, problèmes et concepts majeurs de l'IAD
- Domaines d'application des SMA
- Intelligence collective
- La métaphore sociale : (agents cognitifs)
- La métaphore biologique : (agents réactifs)
- Les outils de développement de SMA

## Plan

- Introduction à l'IAD aux Agents Logiciels
- Motivations, problèmes et concepts majeurs de l'IAD
- Domaines d'application des SMA
- Pourquoi distribuer
- Intelligence collective
- La métaphore sociale : (agents cognitifs)
- La métaphore biologique : (agents réactifs)
- Limite des métaphores: simulation multi-agents
- Quelques plates-formes de développement de SMA

## Références bibliographiques (1)

### Cours et articles :

- **Drogoul A.** Cours "Intelligence collective, systèmes multi-agents et IAD", Université Paris 6 - LIP6.
- **Gleize M.P.**, Cours "Intelligence collective", Université de Toulouse, IRIT.
- **Nwama H.**, "Software Agents", Knowledge Engineering Review, vol. 11, N°3, pp. 1-40, sept 96, Cambridge University Press.
- **Esfandiari B.**, "Software Agents" Course, University of Carleton, Canada.
- **Chaïb-Draa B.**, Cours "Systèmes multi-agents", Université Laval, Québec, Canada.
- **Finin T. & Labrou Y.**, Tutorial "Agents Communication Languages", ASA/MA.
- **Florea A. M.**, Tutorial "Agents et Systèmes Multi-agents", Université de Bucarest.

## Références bibliographiques (2)

### Livres :

- **Weiss G.** - editor (00), **Multiagent Systems**, MIT Press.
- **Ferber J.** (95), **Les systèmes multi-agents**, InterEditions.
- **Singh M.** (94), **Multiagent Systems**, Springer Verlag.
- **Conte R., Castelfranchi C.** (1995), **Cognitive and Social Action**, UCL Press.
- **Haddadi A.** (95), **Communication and Coopération in Agent Systems**, Springer Verlag.
- **O'Hare G.M.P. & Jennings N.R.** - editors (96), **Foundations of Distributed Artificial Intelligence**, Wiley-Interscience.
- **Bradsham M.** - editor (97), **Software Agents**, AAAI Press - The MIT Press.
- **Huhns M.N. & Singh M.P.** - editors (97), **Readings in Agents**, Morgan-Kaufmann.

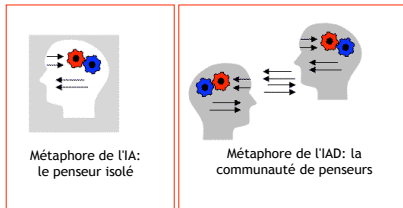
*Comme toute production de connaissance, ce cours s'inspire de nombreuses contributions existantes. Que leurs auteurs, malheureusement pas toujours cités, en soient sincèrement remerciés.*

## Introduction : de l'IA à l'IAD

- IAD s'intéresse aux domaines pour lesquels sont inappropriés :
  - un seul résolveur de problème
  - une seule machine
  - ou un seul lieu de traitement

**IA:** modéliser le savoir des agents (compétence)  
**+ Distribution :** modéliser leurs interactions (organisation sociale)

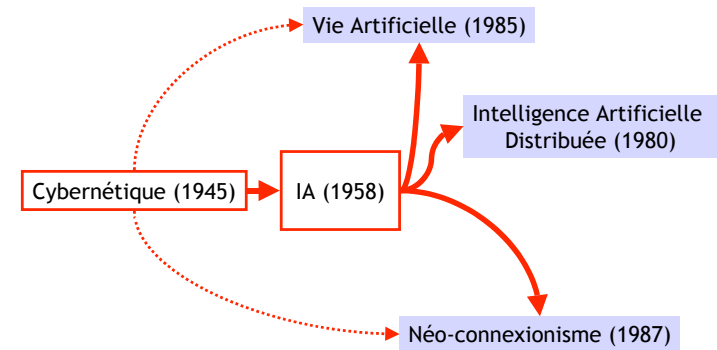
- la connaissance est à la fois **cognitive** et **sociale**



**L'IAD s'intéresse à des systèmes dans lesquels des agents artificiels opèrent collectivement et de façon décentralisée pour accomplir une tâche**

## Emergence de l'IAD

**dans les années 80, émergence de 3 domaines majeurs :**

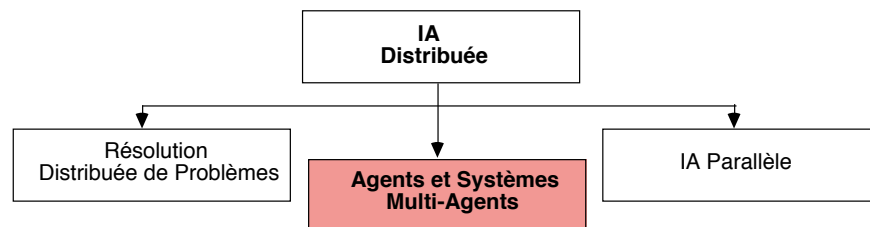


## De l'IAD aux Agents Logiciels

### A l'origine des agents : les acteurs

Carl Hewitt's actor model (1977)

"a self-contained, interactive and concurrently-executing object, with some encapsulated internal state and which could respond to messages from other similar objects"



## Motivations de l'IAD

### Domaines à connaissances multiples et limites des systèmes experts (1960):

- construction de programme informatique capable d'exécuter des tâches complexes
- concentration de l'intelligence dans un système unique
- base de connaissances + moteur d'inférences

**=> difficultés :**

- expertise, compétences d'individus différents qui, dans la réalité
- communiquent et collaborent à la réalisation d'un but commun

### Evolution des technologies :

- multiprocesseurs
- machines parallèles
- machines distribuées et réseaux de machines
- techniques et langages concurrents

## Motivations de l'IAD

### Problèmes réels complexes et ouverts :

- géographiquement ou logiquement distribués
- asynchrones
- changements continus
- autonomie locale
- interdépendance
- inconsistance

### Modélisation de systèmes sociaux ou naturels

### Compréhension des interactions entre les humains simulations comportementales

**=> distribuer l'intelligence" dans différentes entités**  
**=> système multi-expert**  
**=> IAD, SMA**

## L'IAD : un domaine pluridisciplinaire

### Domaines de l'informatique concernés :

- **intelligence artificielle distribuée (IAD) et systèmes multi-agents (SMA)**
- **vie artificielle (métaphore biologique)**
- réseau de neurones

### Autres disciplines concernées :

- psychologie sociale
- sociologie
- dynamique des groupes
- systémique
- biologie
- éthologie
- ergonomie
- ...

## Problèmes et concepts majeurs de l'IAD

### Les problèmes majeurs de l'IAD :

- décomposition et allocation de tâches
- interaction et communication
- modélisation des autres
- coordination / cohérence
- reconnaître et réduire les différences
- implémentation et évaluation

### Les concepts majeurs de l'IAD :

- l'interaction
- l'organisation
- la coopération
- la communication
- la représentation des autres et de soi
- ...

## Domaines d'application des SMA

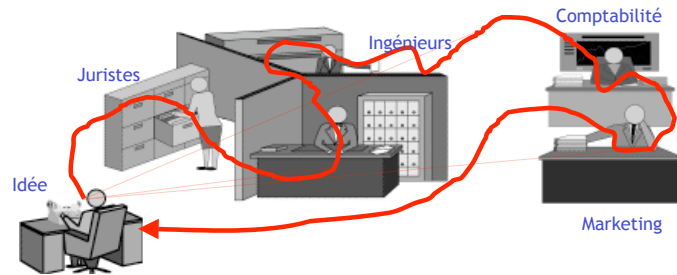
- **Systèmes de production** : ordonnancement d'ateliers, conduite de processus industriels, systèmes multi-capteurs, ...
- **Diagnostic** : diagnostic à multiples niveaux
- **Tâches de contrôle** : contrôle du trafic routier, trafic aérien, distribution d'énergies, ...
- **Tâches d'interprétation** : 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**
- ...

**"in 10 years time most new IT development will be affected, and many consumer products will contain embedded agent-based systems" [Guilfoyle 95]**

## Pourquoi distribuer

### Distribution fonctionnelle :

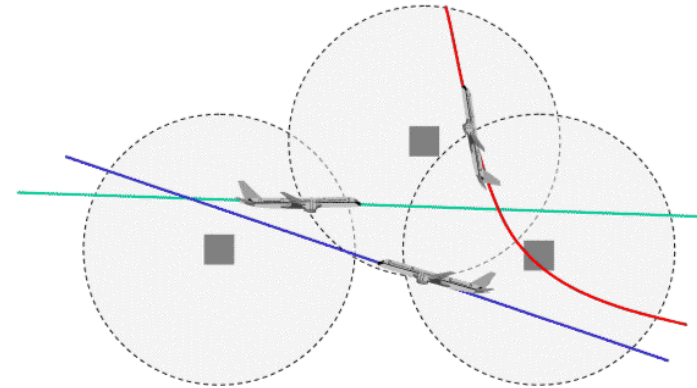
- multi-expertise / points de vue multiples
- décomposition des problèmes



## Pourquoi distribuer ?

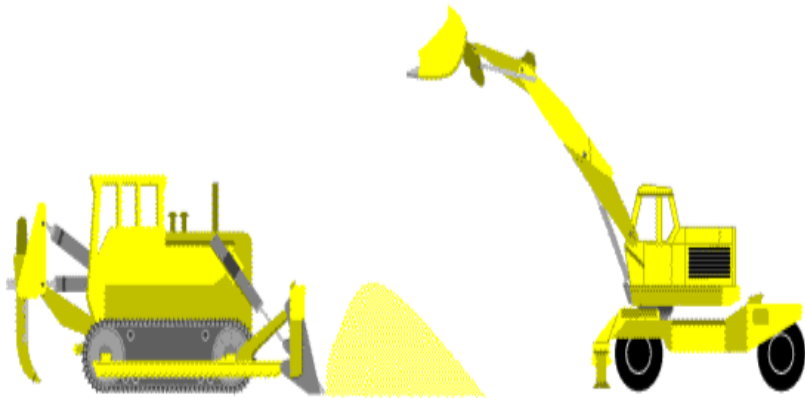
### Distribution physique :

- problèmes intrinsèquement distribués: réseaux, **contrôle aérien**, ...
- robotique, ...



## Pourquoi distribuer ?

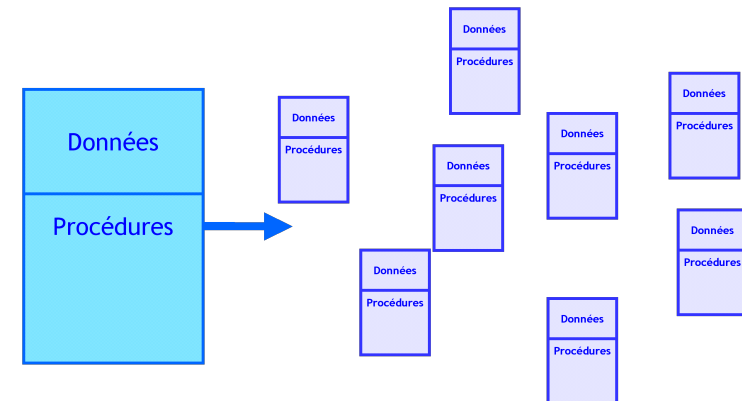
### Exemple de problème fonctionnellement et physiquement distribué:



## Pourquoi distribuer ?

### Distribution informatique:

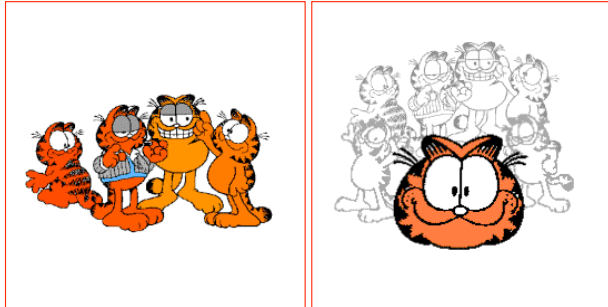
- développement des machines **parallèles**
- développement des **langages objets/acteurs**



## Pourquoi distribuer ?

### Nouveaux points de vue sur le fonctionnement de l'esprit et de l'intelligence :

- Intelligence sociale, théories des organisations
- Théories de l'esprit : Bateson, Minsky



⇒ **Intelligence collective**

## Intelligence collective

### Associée à :

- l'activité **d'experts humains**
- l'activité **d'entreprises**
- l'activités de **sociétés animales** : fourmis, abeilles
- l'activité de **robots**
- ...

### 2 métaphores principales :

- la **métaphore sociale** : la sociologie fournit des métaphores d'organisation
- la **métaphore biologique** : la biologie fournit des métaphores d'organisation

## La métaphore sociale : SMA

- "**Systèmes Multi-Agents**" : systèmes dans lesquels les agents devront interagir pour :

- **coopérer** (contrôle)
- **collaborer** (allocation de tâches)
- **négocier** (résolution de conflits)
- **se coordonner** (synchronisation)

**Contrôler des modules } donner à des agents les moyens de s'organiser**

- 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 réunion de travail, une colonie de fourmis)
- **hétérogène** : des agents de modèles différents, de granularité différentes (ex: un écosystème)

**Termes empruntés à la sociologie } éclairage nouveau sur des notions classiques.**

## La métaphore sociale : l'agent

### Entité réelle ou virtuelle :

- **évoluant** dans un **environnement**,
- **capable de le percevoir** et **d'agir** dessus,
- pouvant **communiquer avec d'autres agents**,
- exhibant un **comportement autonome**, lequel peut être vu comme la conséquence de:
  - ses **connaissances**
  - ses **interactions** avec d'autres agents
  - des **buts** qu'il poursuit.

### Une entité devient un agent aussitôt qu'elle est capable :

- d'exercer un **contrôle local sur ses processus** :
  - de **perception**,
  - de **communication**,
  - d'**acquisition de connaissances** et de **raisonnement**,
  - de **prise de décision** ou d'**exécution**.

## Métaphores sociales : conséquences

### Conception d'un SMA nécessite une vision :

- **locale** : chaque agent devient responsable :
  - de ses **connaissances** (encapsulation) et de ses **actions** (autonomie)
  - de l'**organisation** qu'il met en place avec d'autres agents  
**aucun agent n'a de vue globale du SMA tout entier.**
- **décentralisé** :
  - on s'efforce d'**éliminer tout contrôle central**
  - **taches et compétences** nécessaires sont **distribuées** sur les agents
  - permet une **grande modularité**

### Nouvelles techniques informatiques inspirées du monde du social :

- **protocoles de conversation**, de **coopération**, de **négociation**, ...
  - **appels d'offres**, passation de **marchés**, **enchères**, ...
- Ex: *Contract net (réseau contractuel)*, *Persuader (argumentation)*, *Speech acts (actes de langage)*, ...

## Cas de la logistique opérationnelle : perception centralisée

### Gestion centralisée (US)

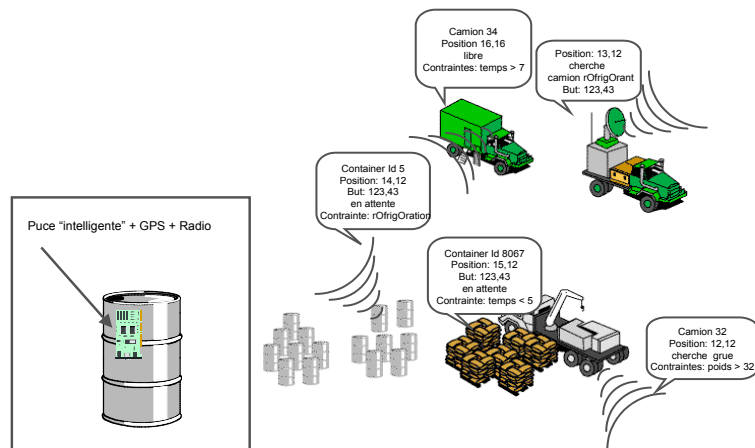


### Pendant la guerre du Golfe (opération Desert Storm), 45% des containers:

- ne sont pas partis des Etats-Unis
- sont partis mais pas arrivés
- ne sont pas arrivés à destination
- arrivés dans de mauvaises conditions
- arrivés et repartis
- arrivés et repartis plusieurs fois

## Cas de la logistique opérationnelle : perception distribuée

### Une vision "purement" agent



## Cas d'allocation de tâches par appel d'offres

### Plusieurs solutions possibles:

- **allocation centralisée** : classique en informatique
- **allocation par accointances** : vient des langages d'acteurs
- **allocation par appel d'offres** : inspirée de méthodes réelles et permet de résoudre un problème informatique, l'allocation dynamique de tâches, par une analogie avec les mécanismes d'appels d'offres dans les marchés publics :

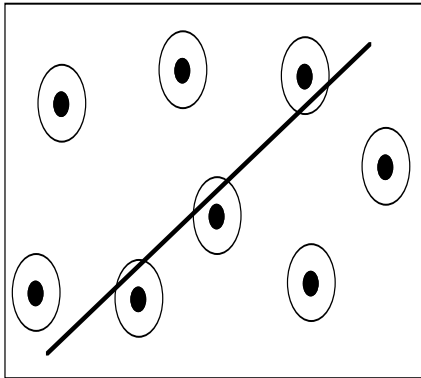


On est passé de comment répartir des tâches ? à comment un agent choisit-il ses collaborateurs ?

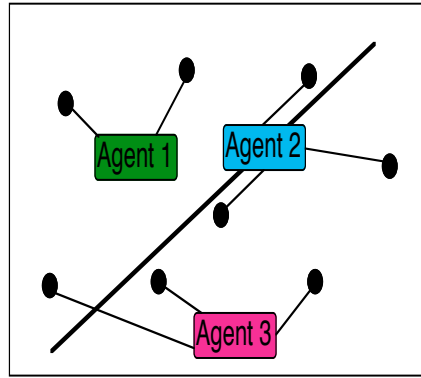
**=> l'allocation de tâches est devenue la collaboration**

## Cas d'interprétation distribuées

Problème d'interprétation

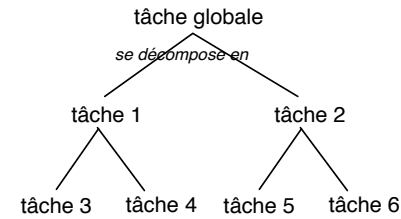


Distribution (géographique) de l'interprétation

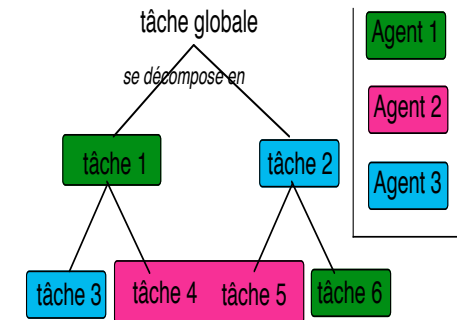


## Cas d'allocation de tâches distribuées

Problème de hiérarchie de tâches



Distribution de tâches



## Résolution de conflits & Négociation

- usage de schémas de négociation entre agents pour résoudre les conflits d'objectifs et de ressources par la **recherche d'un accord**

*Ex: par analogie avec les médiations dans les conflits syndicats/entreprises (Persuader, Sycara 89):*

- *génération d'une proposition,*
- *d'une contre-proposition,*
- *développement d'une argumentation*
- en fonction des **buts** (avoués ou cachés) des agents
- pour que les agents participent à des **simulacres de processus sociaux**, il faut les doter de **capacités** :
  - de **communication**
  - de **représentation de soi et des autres**
  - de **planification et révision du comportement**
  - de manipulation de **croyances**, d'**intentions**, et de **buts**.

## Communication

- **Pourquoi communiquer ? :**

- support de l'**interaction** et de la **coopération**

- **Comment communiquer ? :**

- description des éléments de la communication

- **théorie des actes de langage**

- **KQML**

- **Que communiquer ?**

- **Avec qui communiquer ?**

- problème de **contrôle** (dépendant du domaine?)

- **notion d'accointance**: on ne s'adresse pas à tout le monde de la même manière (MACE, [Gasser 87])

## La représentation des autres

**Pourquoi représenter ?** pour raisonner sur les interactions avec les autres agents

**Quelles sont les abstractions pertinentes ?** que doit-on représenter de l'autre pour pouvoir interagir? notions de **croiances** et de **connaissances communes**

**Types de représentation nécessaire à la coopération :**

- **qui sait faire quoi** : les compétences
- **qui fait quoi** : les tâches exécutées
- **qui sait quoi** : l'information disponible
- **qui souhaite quoi** : les intentions, les buts
- **qui est engagé à quoi** : les engagements

**Travaux sur la définition de modèles d'agents :**

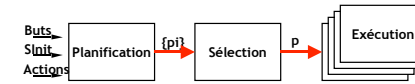
- approche "**logique**" [Cohen et Levesque 90] , [Shoham 93]
- approche "**comportementale**" (planification d'actions) [Conry 89] [Hayes-Roth 92]
- approche "**Beliefs-Desire-Intentions**" [Georgeff 85]

**Nouvelles logiques pour représenter croyances et intentions:**

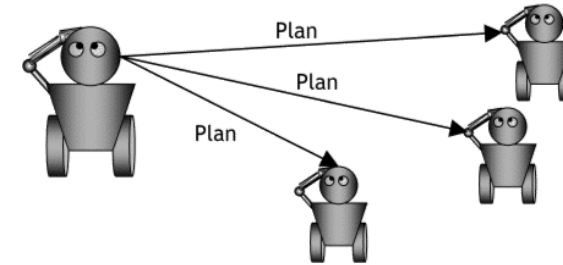
- logique modale basée sur sémantique des mondes possibles [Hintikka 62] [Kripke 63]

## Planification centralisée

- un **système (ou agent) central planifie et distribue les plans aux agents**, en résolvant les problèmes de synchronisation et d'allocation de ressources :



- **les autres agents sont simplement des exécutants**

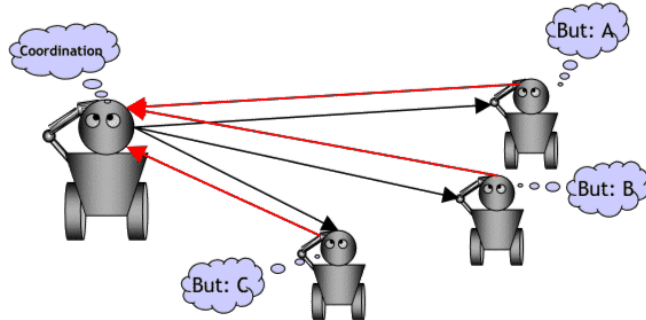


## Coordination centralisée (1)

- la **planification est distribuée**, mais la **coordination des plans individuels est centralisée** :

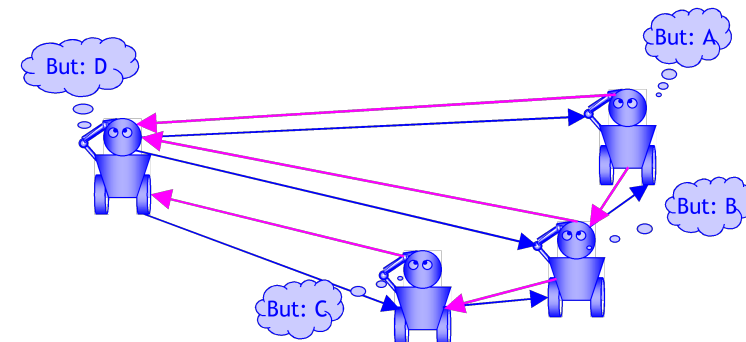


- **fusion de plans partiels** :



## Coordination Distribuée

- la **planification, comme la coordination des plans, sont distribués** :





## Coordination Distribuée

### Questions :

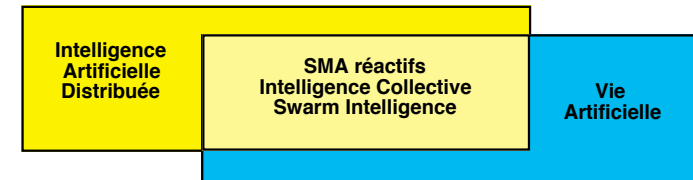
- **avec qui** coordonner ses plans?
- **quand les** coordonner?

### Problèmes :

- détecter les **synergies** et les **conflits**
- **convergence** des plans

*Ex : système PGP (Lesser, Durfee, Decker,...)*

## La métaphore biologique : les SMA réactifs

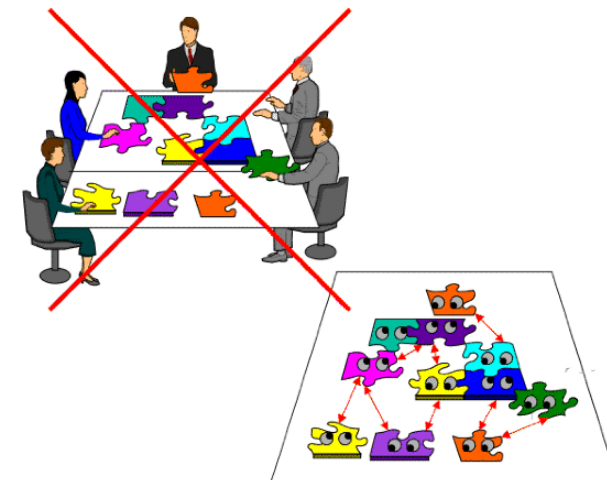


- les agents ne possèdent **pas de représentations explicites et symboliques d'eux-mêmes**, de leur **environnement**, des **autres agents**
- **l'organisation** des agents entre eux :
  - n'est qu'un **effet induit de leur activité et de leurs interactions** (émergence, auto-organisation, stigmergie, etc.)
  - **n'est explicitée à aucun niveau dans le système** (n'est pas une donnée du problème)

## La métaphore biologique : les SMA réactifs

- **décomposition structurelle** plutôt que fonctionnelle
- **architectures minimales d'agents** :  
*par ex. stimulus/réponse*
- **redondance importante** entre les agents
- **communication simple** :  
*par ex. propagation de signaux*
- **importance de l'environnement**
- **mémoire faible** : pas de mémoire partagée et peu de mémoire individuelle

## La métaphore biologique : les SMA réactifs



## La métaphore biologique : principales métaphores

- **Insectes sociaux :**
  - fourmis (*Ant*), termites, abeilles, guêpes
- **Mammifères sociaux :**
  - loups, rats, primates
- **Autres animaux sociaux :**
  - oiseaux, poissons
- **Eco-systèmes**
- **Phytosociologie**
- **Processus physico-chimiques**
- ...



## Exemple d'application: RoboCup

- Construire des groupes de robots capables de jouer à un sport collectif (ressemblant au football):



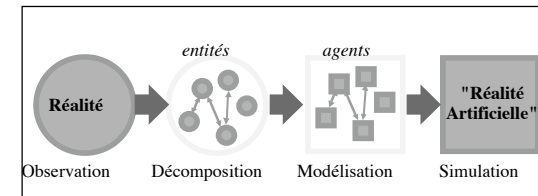
## Intérêts de cette approche

- Passerelle vers les domaines de la **Vie Artificielle** et du **néo-connexionisme**.
- Offre la possibilité de confronter, au sein du même domaine (IAD), différentes théories de la cognition (sociale, individuelle).
- A régénéré le débat sur l'interprétation du fonctionnement d'un système :  
un système multi-agents peut-être interprété comme **coopératif sans que les agents aient été pourvus de la moindre capacité explicite de coopération**.
- Mais les métaphores sociologiques ou biologiques immédiatement applicables :
  - ne sont **pas inépuisables**
  - il est **difficile de les enrichir** car elles sont souvent **intuitives** (Contract Net...)

Développement d'une activité de **simulation multi-agents** à destination des sciences de l'homme et de la vie pour "**découvrir**" de **nouveaux modèles**.

## Limite des métaphores: simulation multi-agents

- appelée **IBM** (Individual Based Modeling) ou **ABS** (Agent Based Simulation)
- représentation et simulation de phénomènes complexes par la modélisation, sous forme d'agent, des entités qui les composent :



- chaque **agent** est doté de **capacités de comportements, d'interactions, de communication** et de **perception** qui sont le reflet le plus fidèle possible de celles présentes au sein de l'entité dont il est le modèle informatique.
- permet de **reproduire "in vitro"** des **phénomènes difficilement appréhendables** de manière **analytique**
- constitue un **outil puissant de simulation**, mais aussi **méthode pour découvrir** de nouvelles règles d'interaction sociale ou d'organisation.

## Systemes historiques de l'IAD

---

- **Hearsay II** (Hayes-Roth 73) : architecture de tableau-noir (black-board)
- **Actors** (Agha 73) : langage de programmation "parallèle"
- **Beings** (Lenat 75), Society of Mind (Minsky 78) : premières structures d'agents autonomes
- **Contract Net** (Smith 82) : contrôle hiérarchique décentralisé
- **DVMT** (Lesser & Corkill 84) : organisation distribuée
- **MACE** (Gasser *et al.* 87) : plate-forme multi-agents
- **MICE** (Durfee & Montgomery, 1989)
- **MCS** (Doran *et al.*, 1990)
- the **contract network** coordination approach (Smith, 1980; Davis & Smith, 1983)
- **MAS/DAI** planning and game theories (Rosenschein & Zlotkin, 1985, 1989, 1994)
- **DRESUN** (Carver *et al.*, 1991; Carver & Lesser, 1995)
- **ARCHON** (Wittig, 1992; Jennings *et al.*, 1995), ...
- ...

## Principaux environnements de programmation

---

- **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 interpreteur 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 Broker" pour des agents Java.