

# Les Systèmes Multi-Agents

---

Rémy  
Courdier

## Systèmes Multi-Agents

### Partie 2

### *Agents et Systèmes Multi-Agents*

@Web : @Web : <http://lim.univ-reunion.fr/staff/courdier/> - @mail : [Remy.Courdier@univ-reunion.fr](mailto:Remy.Courdier@univ-reunion.fr)

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Sommaire

---

### Partie 2 : Agents et Systèmes Multi-Agents

- **La notion d' Agents**
  - ✓ *Vers la distribution d' entités autonomes*
  - ✓ *Agent et « distributed intelligence »*
  - ✓ *Définition*
  - ✓ *l' Agent face à l' Objet*
  - ✓ *Propriété d' un agent*
- **La notion de Système Multi-Agents**
  - ✓ *Pour une intelligence collective*
  - ✓ *Objectifs et cadre de travail*
  - ✓ *Approche*
  - ✓ *Définition*
  - ✓ *Principe*
  - ✓ *Exemple*
- **Typologie d' agents dans un SMA**
  - ✓ *Agent Réactif*
  - ✓ *Agent Cognitif*
  - ✓ *Agent Hybride*
  - ✓ *Exemple*
- **Concepts**
  - ✓ *Interaction*
  - ✓ *Schéma d' interactions*
  - ✓ *Organisation*
  - ✓ *Environnement*
- **Applications**
  - ✓ *Pourquoi distribuer l' intelligence ?*
  - ✓ *Résolution de problèmes*
  - ✓ *Conception logiciel et Robotique*
  - ✓ *La simulation*
- **La simulation multi-agents**
  - ✓ *Cadre*
  - ✓ *Principe*
  - ✓ *Exemple*
- **Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA**

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## La notion d'agent / Sommaire

---

### Partie 2 : Agents et Systèmes Multi-Agents

- La notion d'Agents
  - ✓ *Vers la distribution d'entités autonomes*
  - ✓ *Agent et « distributed intelligence »*
  - ✓ *Définition*
  - ✓ *l'Agent face à l'Objet*
  - ✓ *Propriété d'un agent*
- La notion de Système Multi-Agents
- Typologie
- Concepts
- Applications
- La simulation multi-agents
- Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

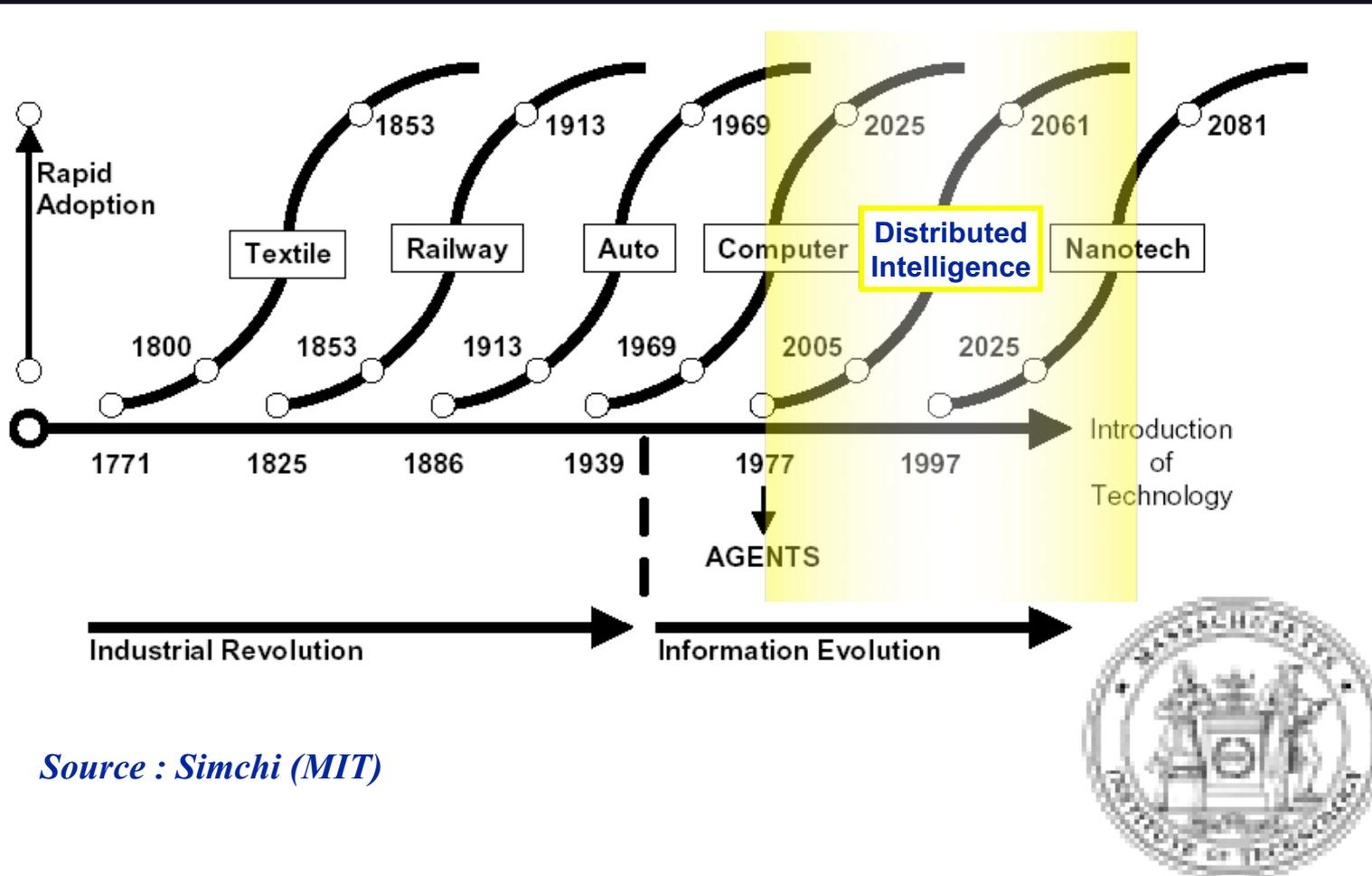
## L' Agent / Vers la distribution d' entités autonomes

---

- Tendances des systèmes automatisés
  - ✓ *L' informatique se veut communicante distribuée*
  - ✓ *Multiplication et décentralisation des systèmes possédant de l' intelligence*
  - ✓ *Les logiciels changent de concepts – composants dynamiques communicants*
  - ✓ *Les logiciels intègrent de plus en plus d' intelligence et d' autonomie (négociation automatique, partage de ressources, ...)*
- Exemple :
  - ✓ *Domotique, jeux, robot d' exploration spatial ou sous marin, satellite ou sonde spatiale, robot militaire, ...*

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## L' Agent / Agent et « distributed intelligence »



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## L' Agent / Définition

---

- On appelle agent une entité physique ou virtuelle qui possède tout ou partie des fonctionnalités suivantes :
  - ✓ *est capable d'agir dans un environnement*
  - ✓ *peut communiquer avec d'autres agents*
  - ✓ *est mue par un ensemble de tendances*
  - ✓ *possède des ressources propres*
  - ✓ *est capable de percevoir son environnement*
  - ✓ *possède des compétences et offre des services*
  - ✓ *Dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs.*

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## L' Agent / l' Agent face à l' Objet (1)

---

### ■ Des similarités

- Dispose d' un «état interne»,
- Comprend des structures de comportement modulaires (méthodes/compétences),
- Communiquent par envoi de messages,
- Agissent pour modifier leur état

### ■ Des différences

#### ✓ *L' objet*

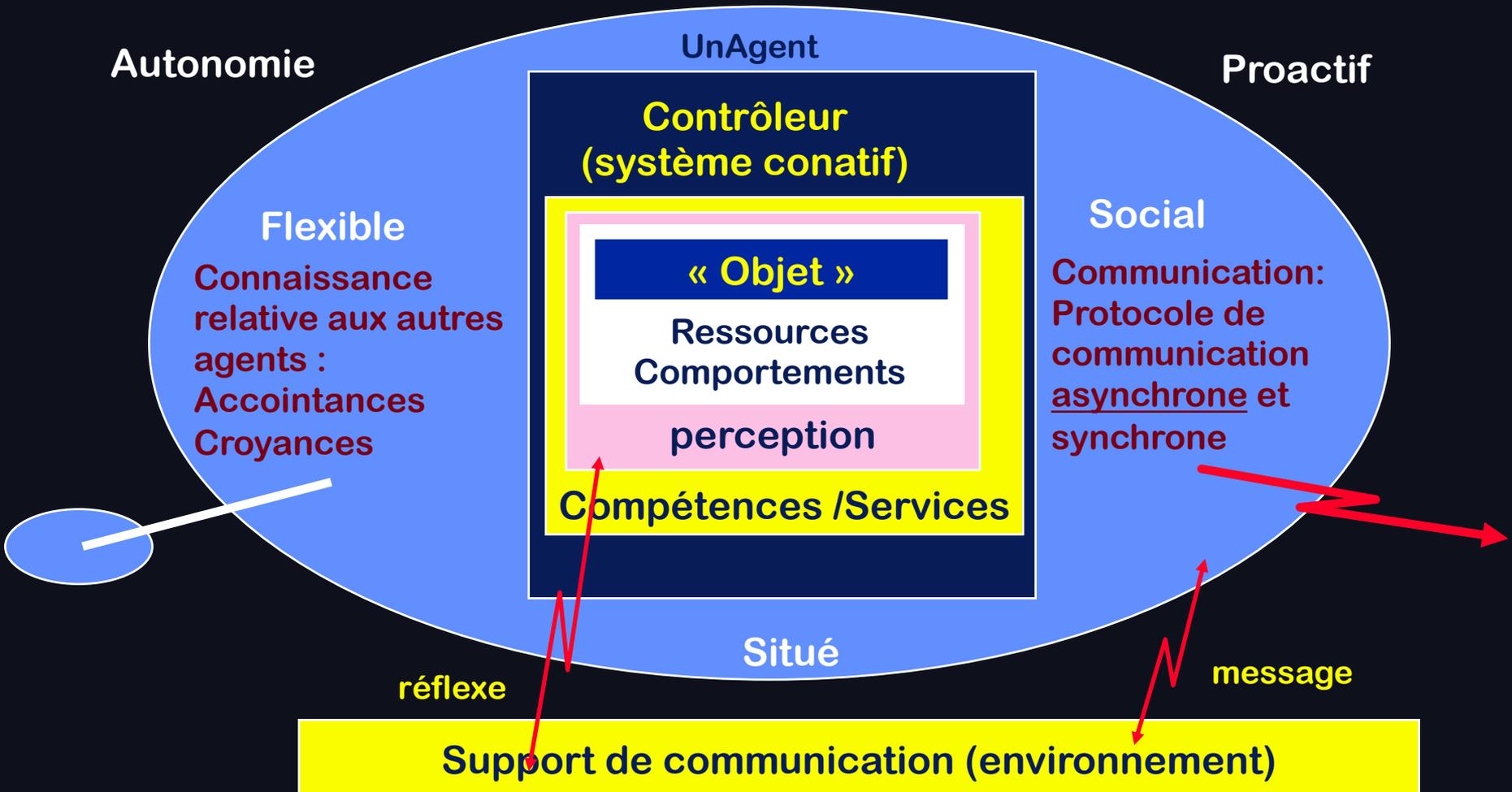
- Pas d' autonomie: l' objet est invoqué par un appel de méthode qu' il ne peut refuser (pas de réactivité )
- Faible niveau de socialité: interaction simple et rigide (pas d' évolution dans le temps)

#### ✓ *L' agent*

- Autonomie de contrôle : l' agent décide de son comportement en fonction de son état, croyances, connaissances, perceptions de l' environnement, requêtes des autres
- Socialité : composante très importante, complexité des interactions, des organisations
- Notion d' environnement : importante et complexe

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

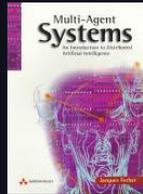
## L' Agent / l' Agent face à l' Objet (2)



# Cours Systèmes Multi-Agents

## Propriétés d'un agent

« An *agent* is a computer system that is *situated* in some *environment* and that is capable of *autonomous action* in this environment in order to meet its delegated objectives »  
M. Wooldridge



NR Jennings, M Wooldridge, G Weiss, J Ferber, LS Sterling, ...

- **Autonomous**  
No super controller can control an agent from outside
- **Proactive**  
Ability to take initiatives to meet its **goals**.
- **Flexible**  
Ability to adapt its behavior to its perception of its environment
- **Social**  
Ability to interact to achieve its **goals** or to help other agents in their activities
- **Situated**  
Ability to perceive the environment through a metric space and time in which it can act in a limited way

### An Agent



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Propriétés d'un agent (en fr)

---

### ■ Autonome

- Son comportement est fonction de ses perceptions qui agisse sur son état, et de sa représentation de l'environnement dans lequel il évolue. Aucun super contrôleur ne peut le piloter de l'extérieur.

### ■ Proactif

- Il peut prendre des initiatives afin de satisfaire ses buts. Pour se faire, il n'est pas soumis à l'invocation d'une autre entité pour agir mais peut agir sur sa propre initiative.

### ■ Flexible

- Il adapte son comportement à sa perception de son environnement et peut participer à des organisations (groupe) afin de mieux satisfaire son but

### ■ Social

- Il a la capacité d'interagir pour atteindre ses buts ou pour aider d'autres agents dans leurs activités

### ■ Situé

- Capacité à percevoir un l'environnement au travers de métriques spatio-temporels dans lequel il peut agir de façon limitée

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## SMA /Sommaire

---

### Partie 2 : Agents et Systèmes Multi-Agents

- La notion d' Agents
- La notion de Système Multi-Agents
  - ✓ *Pour une intelligence collective*
  - ✓ *Objectifs et cadre de travail*
  - ✓ *Approche*
  - ✓ *Définition*
  - ✓ *Principe*
- Typologie d' agents dans un SMA
- Concepts
- Applications
- La simulation multi-agents
- Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## SMA / Pour une intelligence collective

---

- de l' IA vers l' organisation artificielle...
  - Toute activité simple ou complexe (résolution de problème, diagnostique, aide à la décision,...) est le fruit d' une interaction entre entités relativement autonomes et indépendantes appelées *agents*
  - Ces agents travaillent au sein de communautés selon des modes parfois complexes de coopération, de conflit et de concurrence, pour survivre et perpétuer
  - Des structures organisées peuvent émerger suite aux interactions et en retour contraindre et modifier le comportement des agents

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## SMA / Objectifs et cadre de travail

---

- Travailler sur l'interaction

- ✓ *L'interaction est au centre de la problématique des logiciels et systèmes complexes*

- Objectifs de travailler qu niveau d' un système d' agents :

*Définir et Maîtriser différents modes d'interaction entre agents applicables dans la résolution de nombreux problèmes*

- ✓ *La coexistence*
- ✓ *La coordination*
- ✓ *La coopération*
- ✓ *La collaboration*
- ✓ *La compétition*
- ✓ *L'émergence*

### Cadre SMA

---

- Fonctionnement asynchrone
- Pas de systèmes central de contrôle
- Des données distribuées
- Agents à compétences restreintes

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## SMA / Approche

---

- L'approche SMA ne s'intéresse **pas** la recherche de solution optimales.
  - ✓ *Elle recherche des solutions satisfaisantes pour des problèmes complexes du type :*
    - Systèmes ouverts aux structures instables
    - Système travaillant sur des environnement distribués et évolutifs
    - Problèmes avec coopération, négociation
    - Système intégrant des aspects spatio temporels
  - ✓ *Le point clé consiste à proposer des solutions informatiques **robustes** supportant la dynamique des systèmes constitués d'entités autonomes et hautement communicantes*

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## SMA / Définition

---

### ■ Système Multi-Agents (SMA)

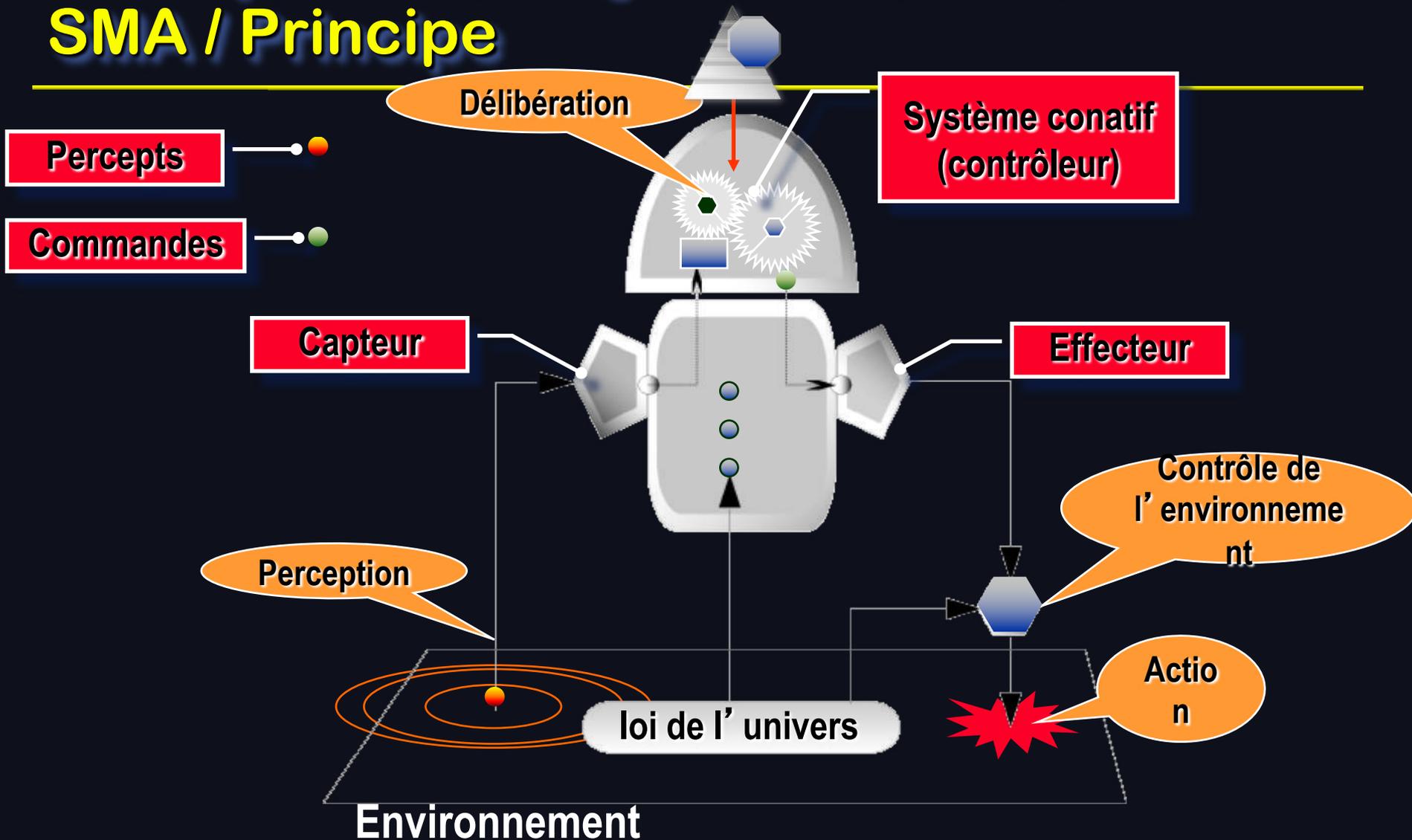
*ensemble d'agents qui interagissent dans un environnement commun*

### ■ Un système composé des éléments suivants :

- Un environnement  $E$
- Un ensemble  $O$  d'objets
- Un ensemble  $A$  d'agents ( $A$  inclu dans  $O$ )
- Un ensemble de relations  $R$  qui unissent des objets entre eux
- Un ensemble d'opérations  $Op$  permettant aux agents  $A$  de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de  $O$ .

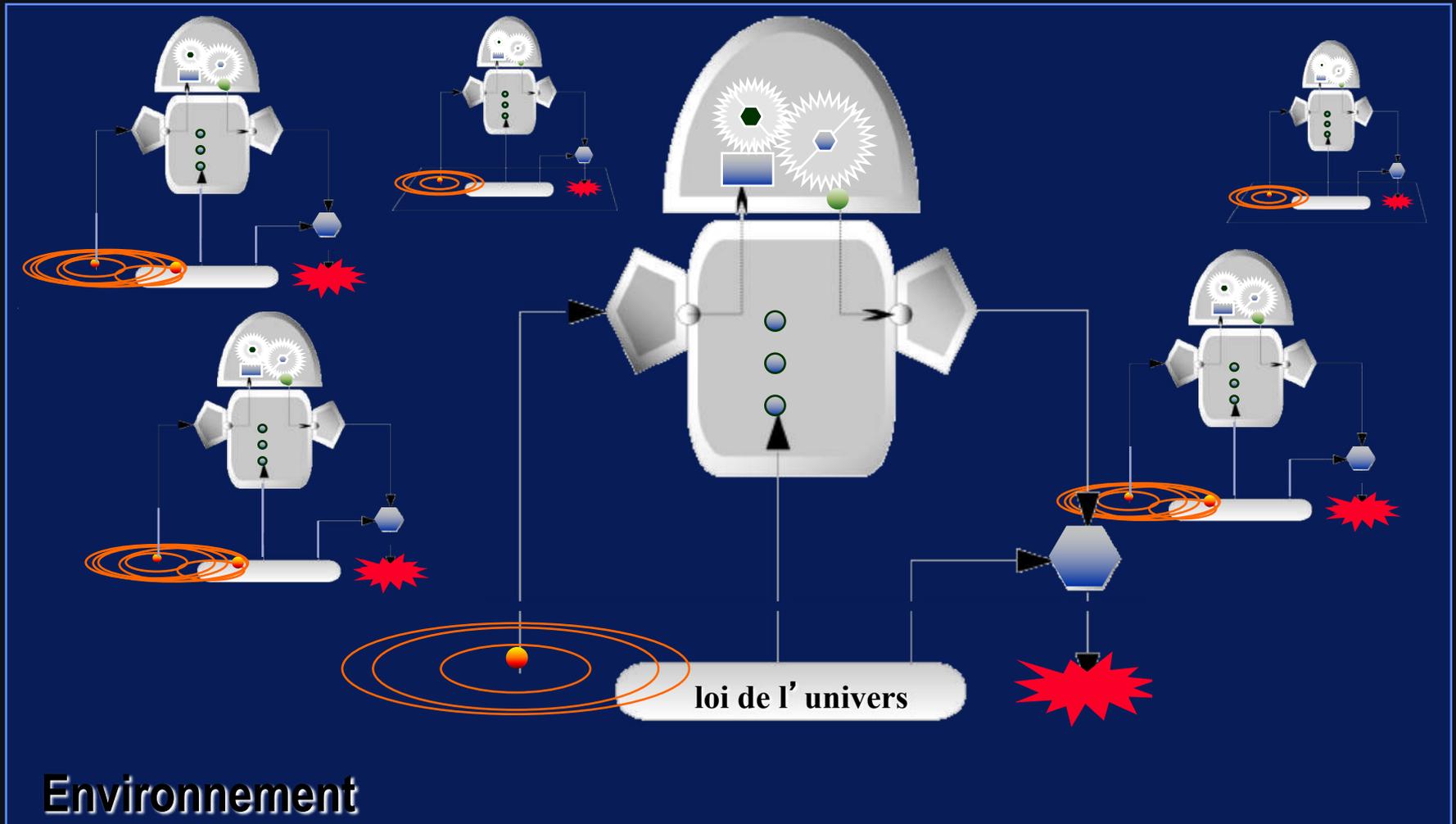
# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## SMA / Principe

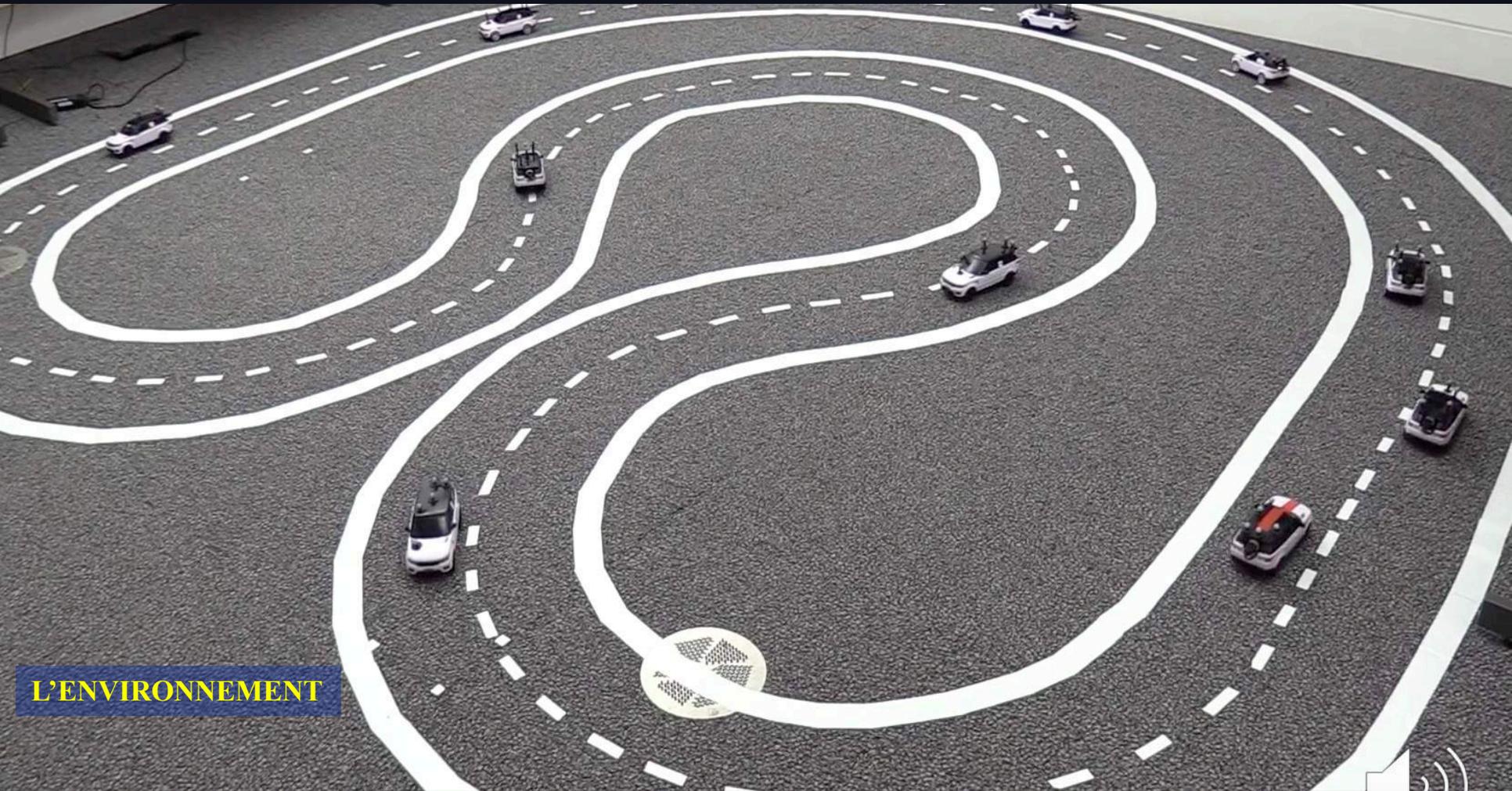


# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## SMA / Principe



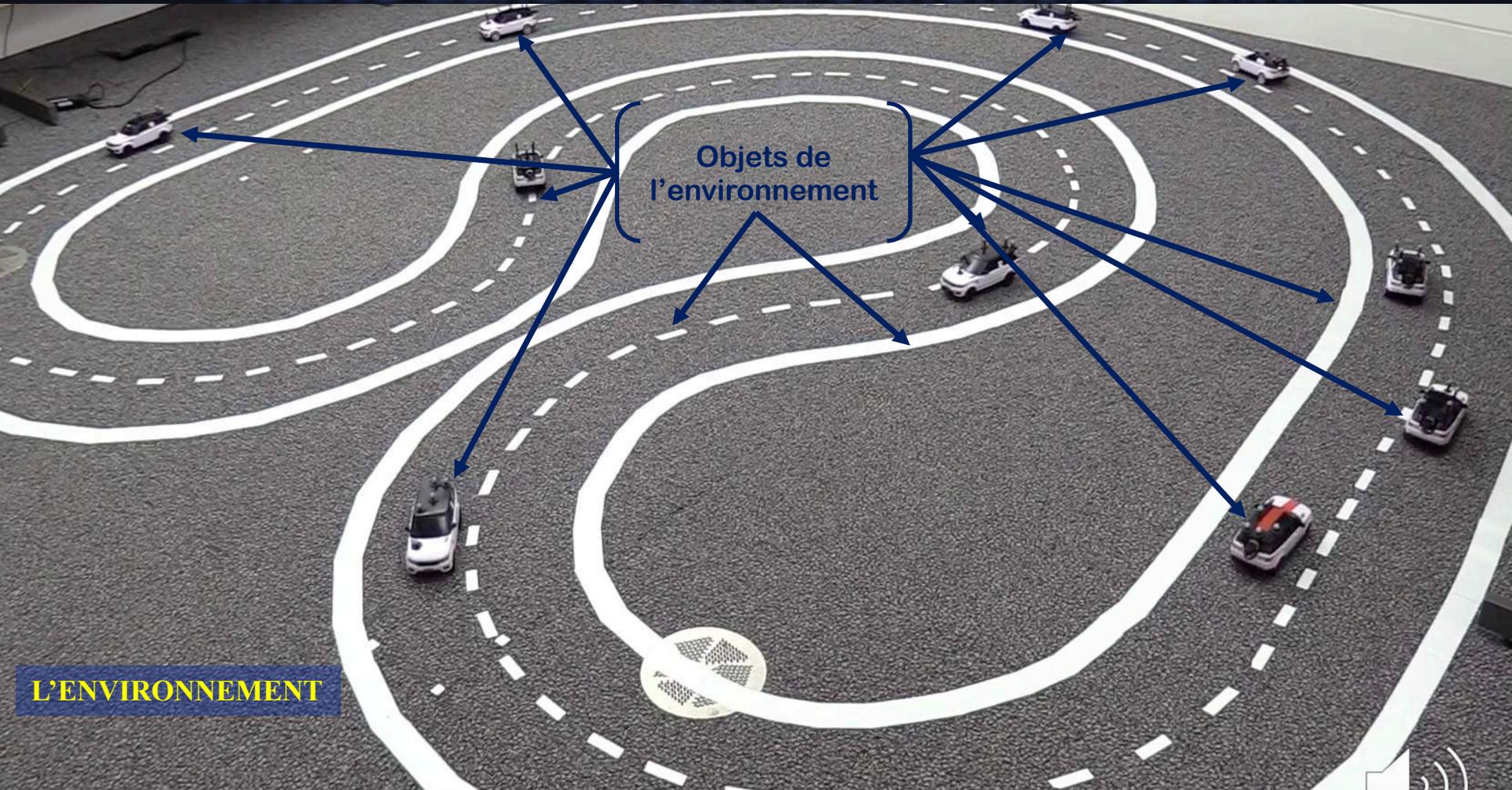
# Illustration du fonctionnement d'un SMA



L'ENVIRONNEMENT



# Un SMA est composé d'un ensemble d'objets situés dans un environnement défini



L'ENVIRONNEMENT

# Un agent est une entité qui perçoit son environnement

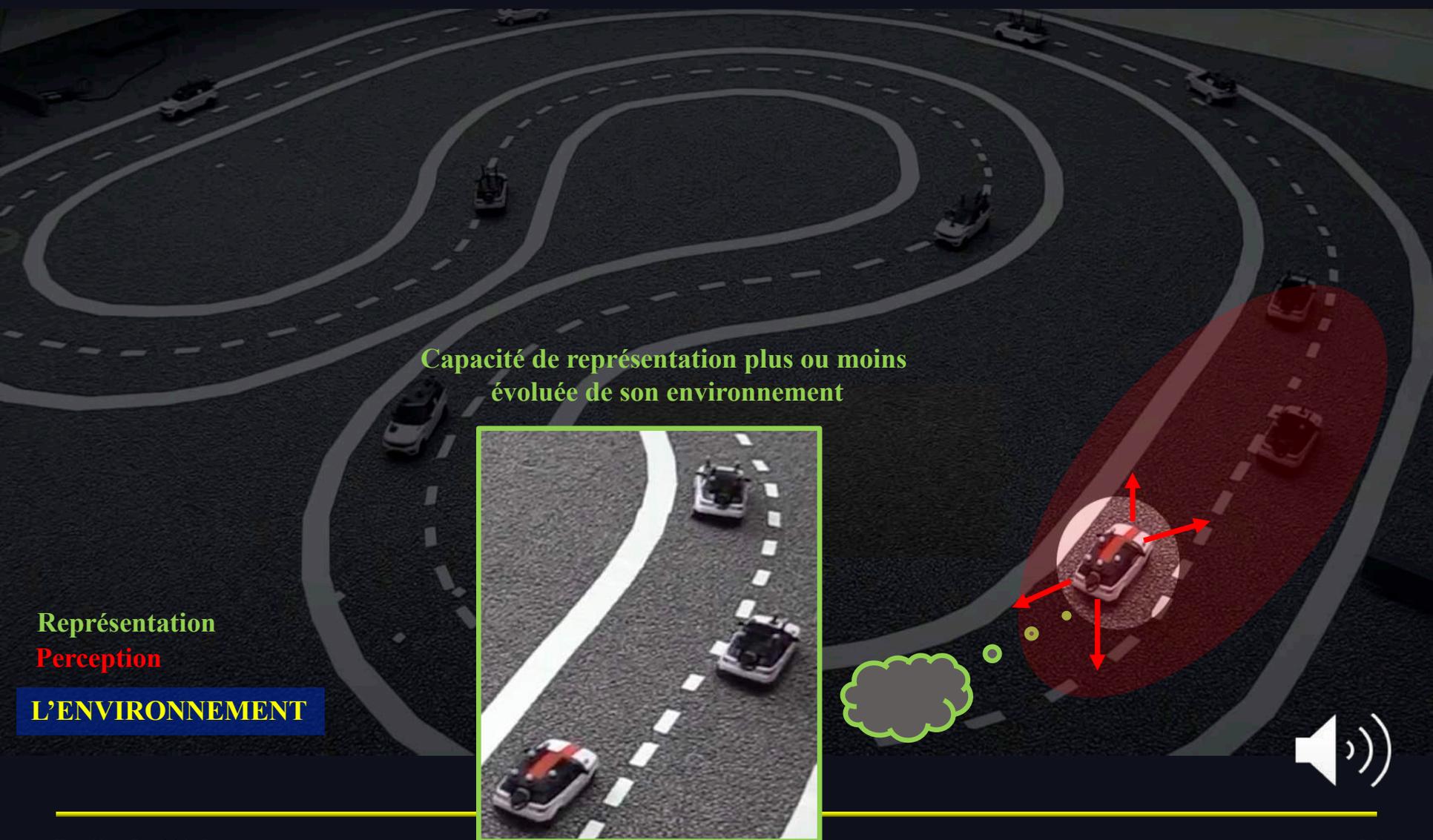


Perception

L'ENVIRONNEMENT



# Un agent possède des connaissances propres

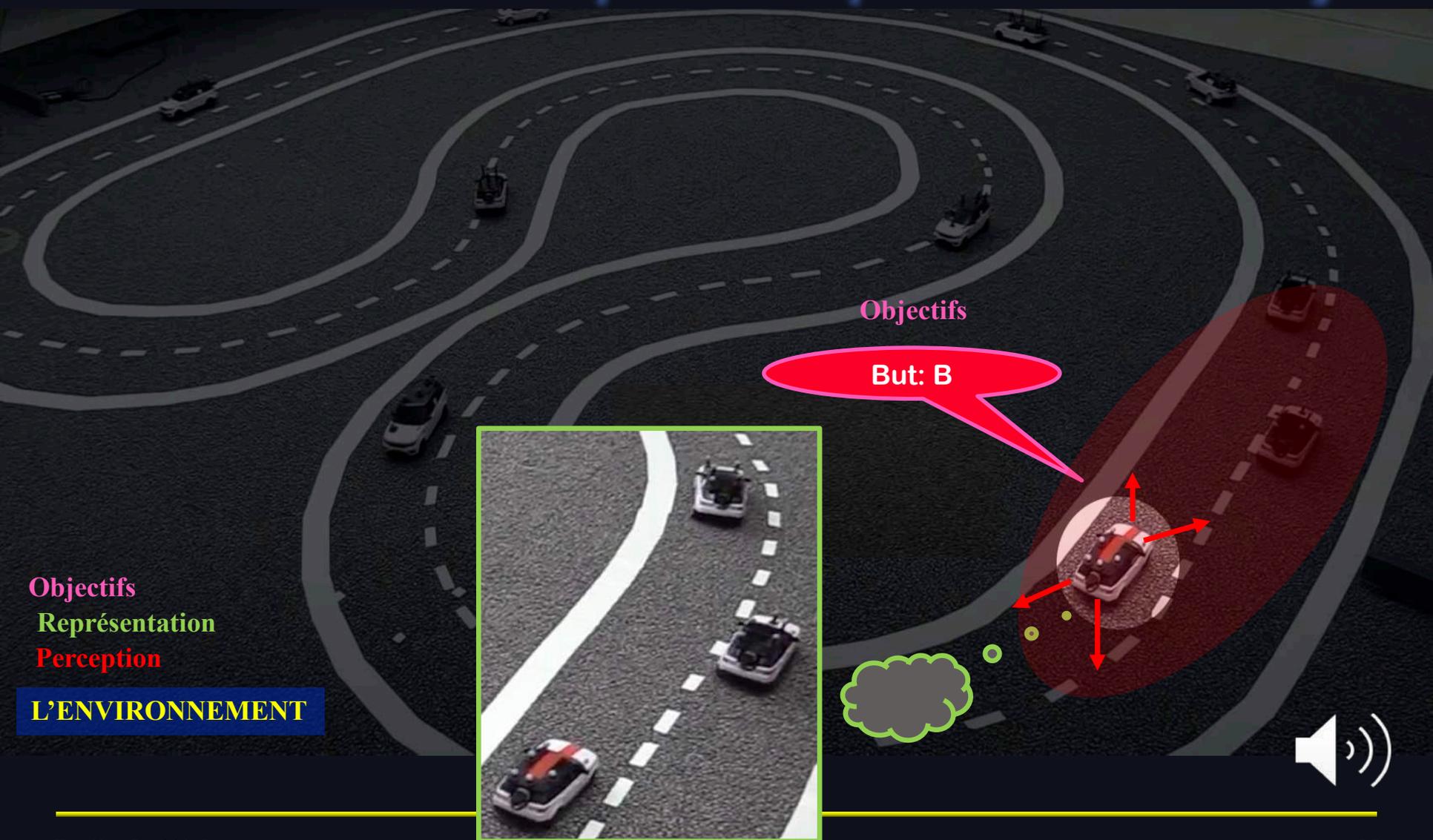


Capacité de représentation plus ou moins évoluée de son environnement

Représentation  
Perception

L'ENVIRONNEMENT

# Un agent agit d'une façon autonome pour atteindre les buts pour lesquels il a été conçu



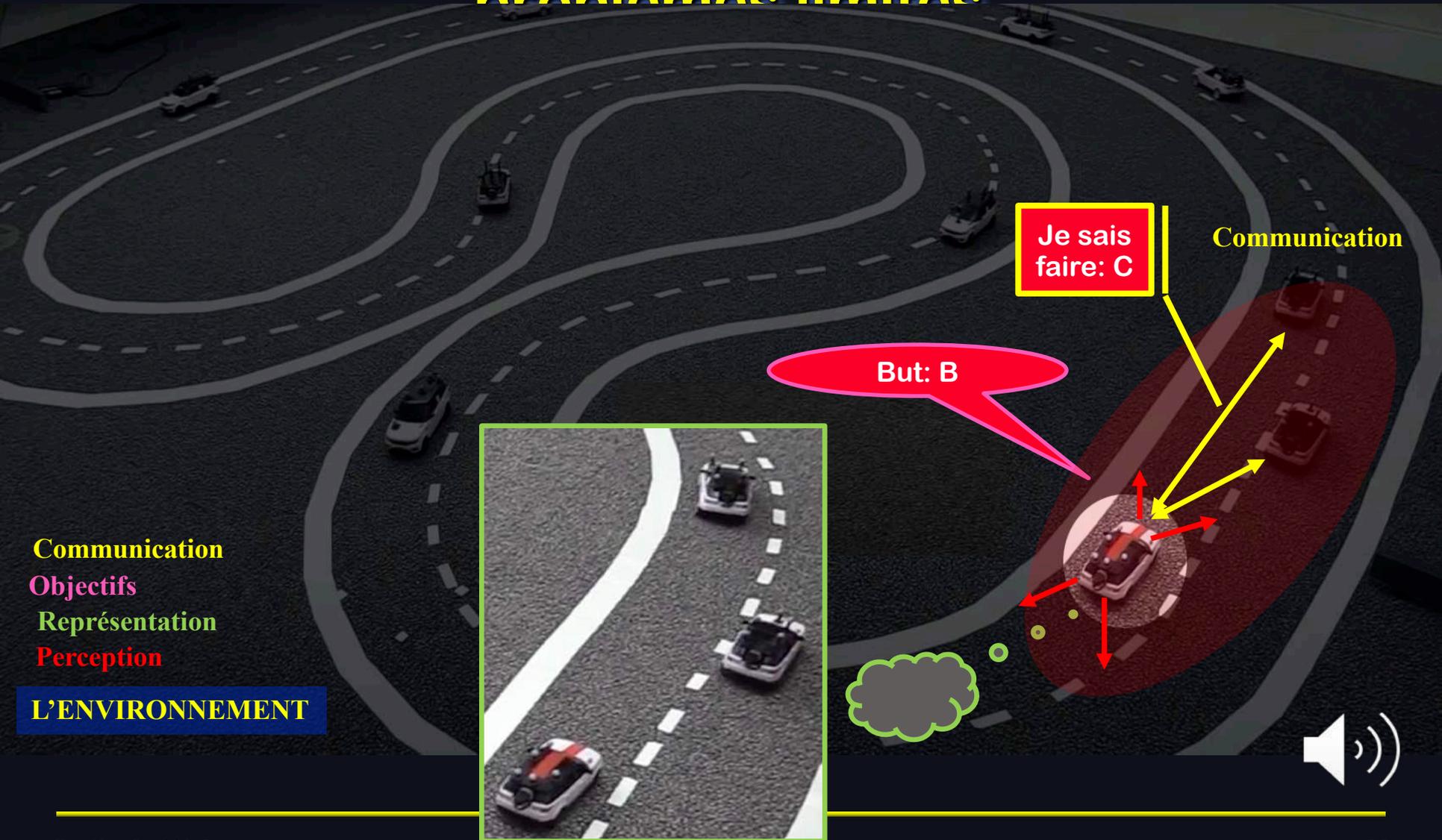
Objectifs

But: B

Objectifs  
Représentation  
Perception

L'ENVIRONNEMENT

# Chaque agent du système possède des informations ou des capacités de résolution de problèmes limités



Communication  
Objectifs  
Représentation  
Perception

L'ENVIRONNEMENT

# Un agent est une entité autonome qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement

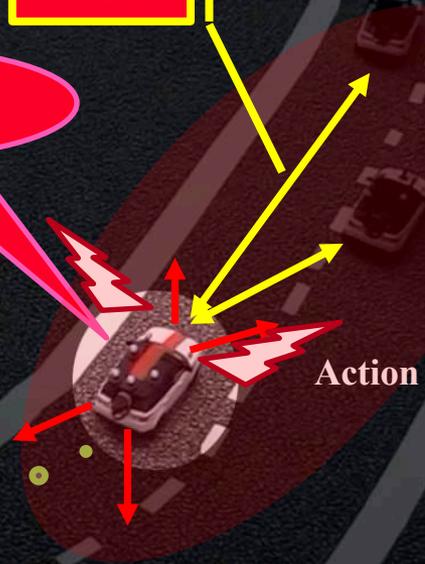
- Action
- Communication
- Objectifs
- Représentation
- Perception

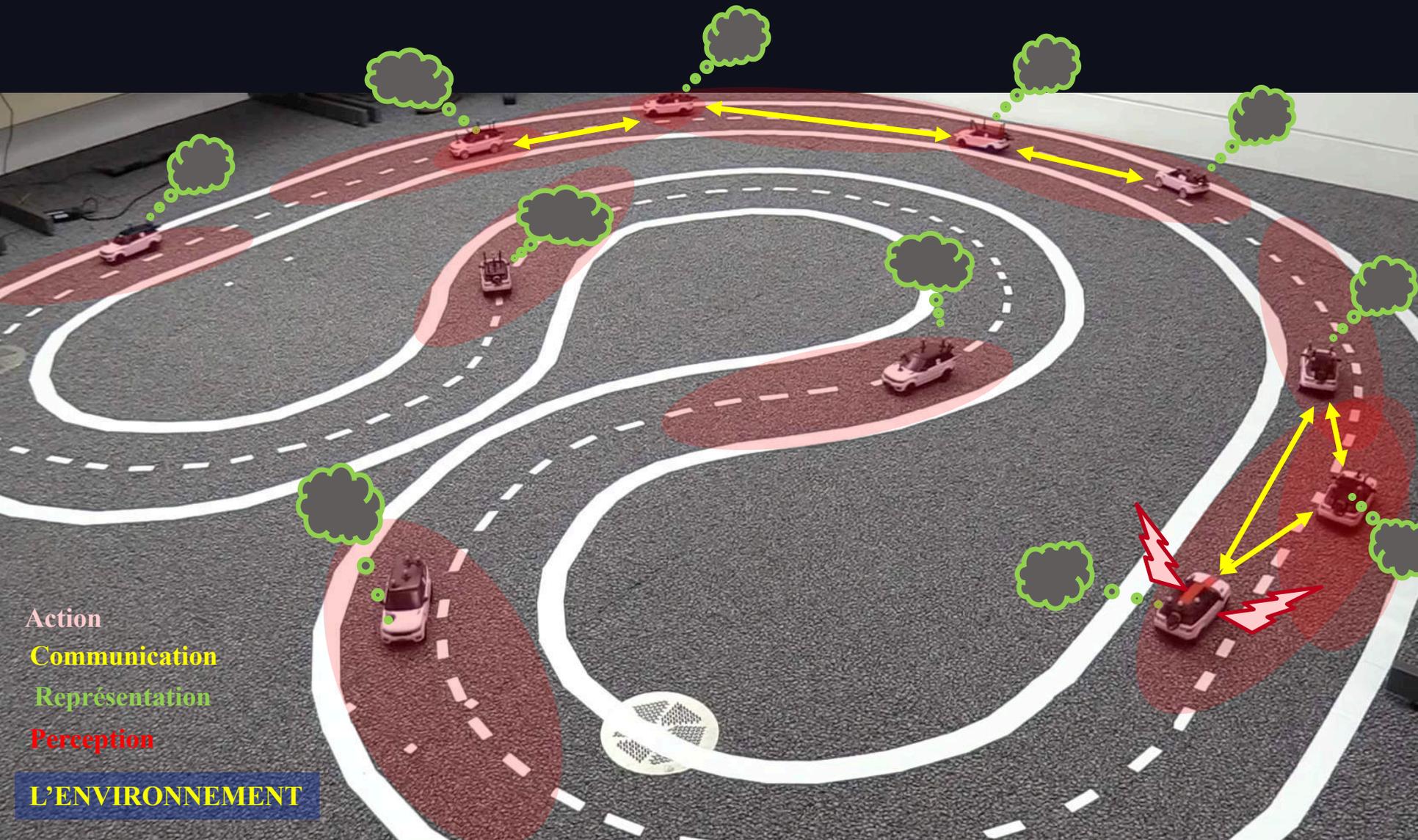
## L'ENVIRONNEMENT



Objectifs  
But: B

Je sais faire: C





- Action
- Communication
- Représentation
- Perception

L'ENVIRONNEMENT

**Un système multi-agents est un système distribué sans contrôle central composé d'un ensemble d'agents**

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## SMA / Exemple : Biomas

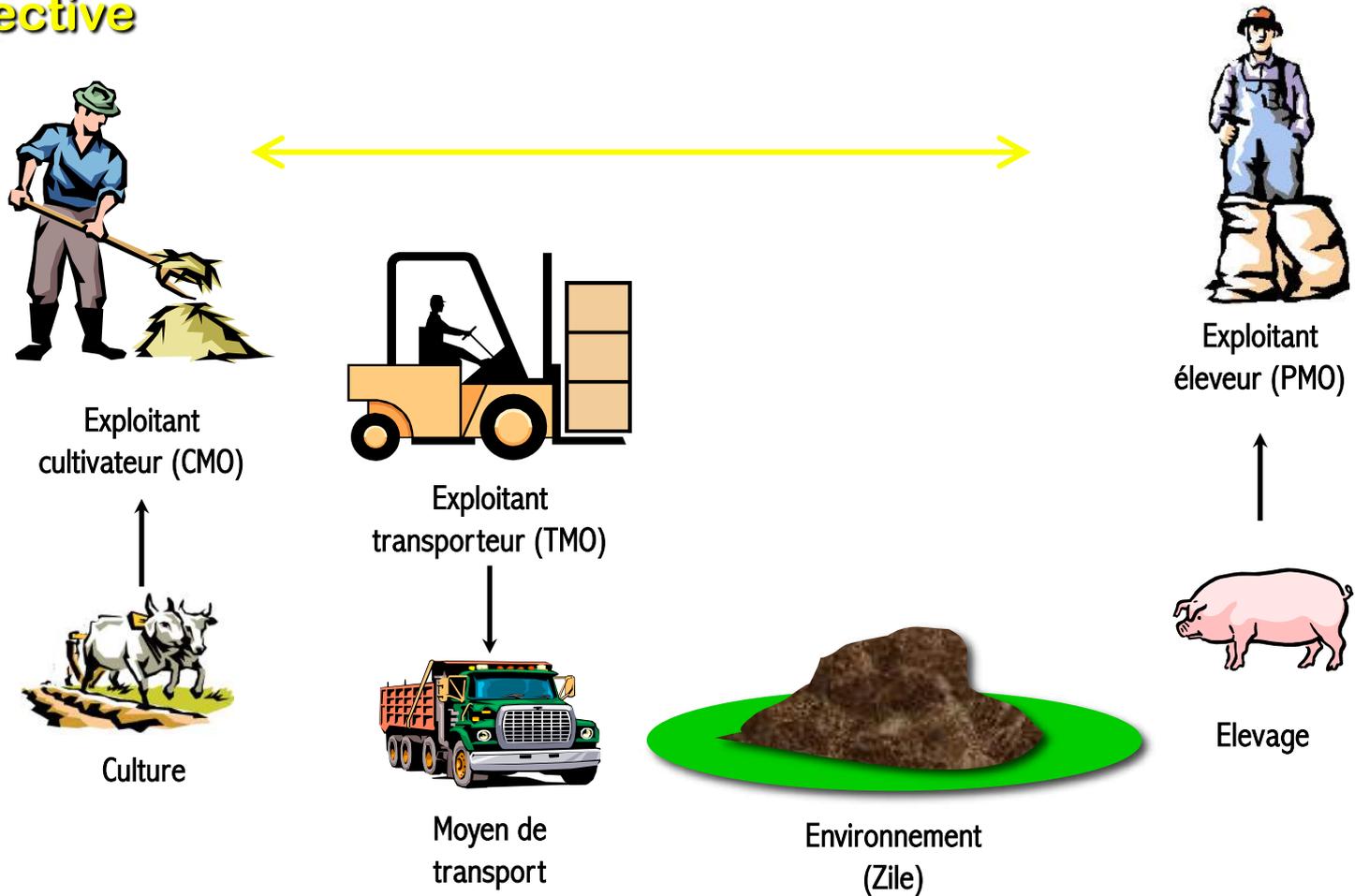
---

- Simuler les pratiques de gestion collective d'effluents d'élevage :
  - ✓ *les productions et consommation de matières organiques,*
  - ✓ *les échanges de matières organiques,*
  - ✓ *les négociations entre les acteurs (exploitants agricoles, transporteurs, unités de transformation...)*
- Tester des alternatives d'organisation des acteurs permettant :
  - ✓ *de diminuer les risques de pollution de l'environnement,*
  - ✓ *de proposer des solutions de valorisation des effluents.*

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## SMA / Exemple : Biomas (2)

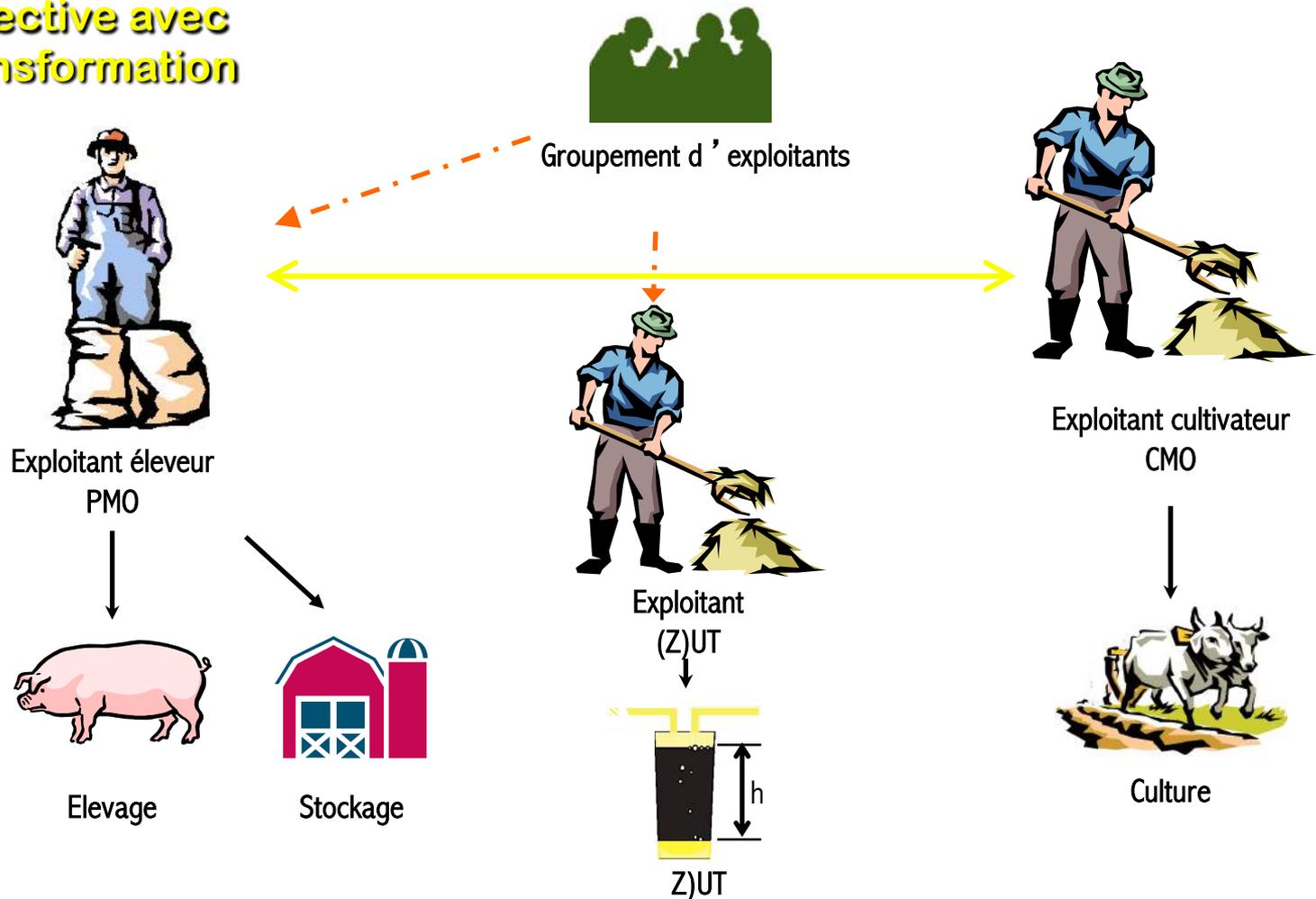
Gestion collective  
inter  
exploitants



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## SMA / Exemple : Biomas (3)

### Gestion collective avec Unité de transformation



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie / Sommaire

---

### Partie 2 : Agents et Systèmes Multi-Agents

- La notion d' Agents
- La notion de Système Multi-Agents
- Typologie d' agents dans un SMA
  - ✓ *Agent Réactif - Idée, Principe, Résultats, Limites*
  - ✓ *Agent Cognitif*
  - ✓ *Agent Hybride*
  - ✓ *Exemple*
- Concepts
- Applications
- La simulation multi-agents
- Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie/Agent Réactif/Thèse de R.Brooks

---

- **Agent Réactif : (Architecture à subsomptions)**
  - “Il n’ est pas nécessaire que les agents soient “intelligents” individuellement pour que le système ait un comportement global “intelligent”
  - Non prise en compte du passé
  - Utilisation de mécanismes de réaction aux événements
  
- **Thèse de Brooks :**
  1. Le comportement intelligent peut-être généré sans explicite représentation du genre de celui de l’ IA classique
  2. Le comportement intelligent peut-être généré sans explicite raisonnement abstrait du genre de l’ IA classique
  3. L’ intelligence est une propriété émergente de certains systèmes complexes

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie / Agent Réactif / Principe

---

- la modélisation de systèmes complexes par des agents réactifs utilise une représentation sub-symbolique du monde au travers de structures de type stimulus/actions.
- Cette approche conduit à la construction d'applications composées de nombreux petits agents du type automate simple mais dont les schémas interactionnels permettent de faire émerger des structures abstraites de plus haut niveau (les médium-agents). Celles-ci représentent des phénomènes observables dans le système.
- Bien souvent le comportement des agents réactifs est construit en une hiérarchie de couche. Les couches du bas représentent les comportements primitifs du genre « éviter un obstacle » et on précède sur les couches de plus haut niveau (Brooks).
- Les systèmes résultants sont simples en charge de traitement et peuvent donner des résultats impressionnant vs l'IA classique (Wooldrige)

exemple de la fourmilière

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie / Agent Réactif / Résultats

---

- Cette approche a fait ses preuves pour la simulation de phénomènes naturels comme la simulation d'éruption volcanique du piton de la fournaise, et a servi de base à la construction de la plate-forme Geamas ([Marcenac P. 1998](#)).
- Si l'on considère ces phénomènes d'émergences pour les systèmes collectifs naturels et l'étude de comportements adaptatifs des animaux, tels qu'ils sont définis dans l'approche *animat* ([Pfeifer R. & al. \[PBM+98\]](#)), l'émergence représente alors des structures d'organisations collectives fonctionnelles complexes caractérisant des phénomènes d'auto-organisation ([Calderoni S., \[CAL 02\]](#)).
- On a pu montrer sur des cas d'école que sur la base de mécanismes de contrôle auto-adaptatifs, il est possible d'utiliser ce type de systèmes multi-agents réactifs, qui n'introduit pas de structure cognitive de haut niveau (planification, raisonnement, etc.), pour la simulation de systèmes naturels et dans le domaine de la robotique.

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie / Agent Réactif / Limites

---

- Chaque agent a besoin d'informations sur son environnement locale pour décider de ses actions
- Une décision d'un agent réactif ne peut anticiper des situations à long terme
- Conception très difficile car les phénomènes d'émergence sont difficiles à appréhender dans leur complexité
- Agents contenant des couches hiérarchiques de comportements difficiles à construire

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie / Agent Cognitifs / Définition

---

### ■ Agent cognitif :

- Volonté de faire communiquer des Systèmes experts classiques
- SMA = petit nombre d'agents intelligents comprenant une base de connaissance : info + des savoirs faire
- L'agent comprend un modèle du monde représenté explicitement sous la forme d'un modèle symbolique
- Le module de décision de tels agents est réalisé via le raisonnement logique.

- Agent utilisant un raisonnement symbolique et une représentation symbolique de son contexte d'exécution

**Raisonnement symbolique**

=

**formules logiques + manipulations syntaxiques (déductions ou preuves de théorèmes)**

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie / Agent cognitifs / Principe

---

- Ces agents disposent des capacités fondamentales de perception, délibération et action, couplés à des concepts nouveaux de représentation et de régulation des processus comportementaux.
- Les limites de cette approche sont dues à la complexité des algorithmes de manipulation symboliques

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie / Agent cognitifs / architecture BDI

---

### Architecture BDI « Belifs, Desires, Intentions »

- Démarche logique « Practical Reasoning »
  - ✓ *Architecture fondée sur des extensions de la logique*
  
- Afin de prendre une décision un agent va suivre le processus suivant :
  - Le processus démarre par une mise à jour des croyances à partir des perceptions**
  - 1. *L'agent définit ces **Croyances** : informations, connaissances sur l'environnement courant*
  - 2. *L'agent définit ses **Désirs** : Etats que l'agent souhaite atteindre*
  - 3. *L'agent définit ses **Intentions** : Choisir certains états à atteindre*
  - Le processus se termine par une fonction de sélection de l'action à exécuter**

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie/Agent Hybride/Dualité Cognitif-Réactif

---

### ■ Agent Cognitif

organized agents	socials laws
negociating agents	conflict resolution
intentional agents	intentions, engagement
cooperative agents	task allocation
comm.modules	comm. protocols
processes, actors	comm. primitives

### ■ Agent Réactif

organized agents	colonies
reproducing agents	reprod mechanisms
cooperative agents	recruiting & agregating
coordinated agents	activation/ inhibition
stimulus answer	finite state automata

[Erceau 91]

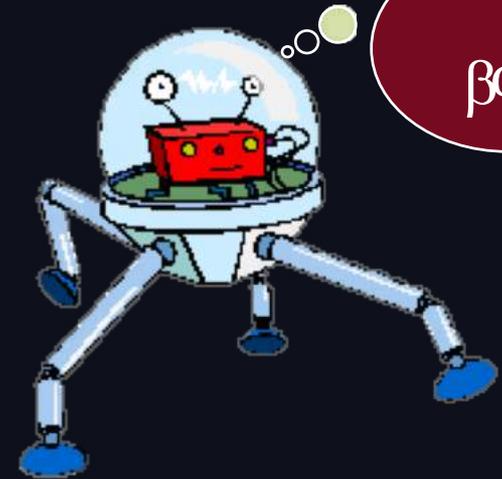
# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie/Agent Hybride/Définition



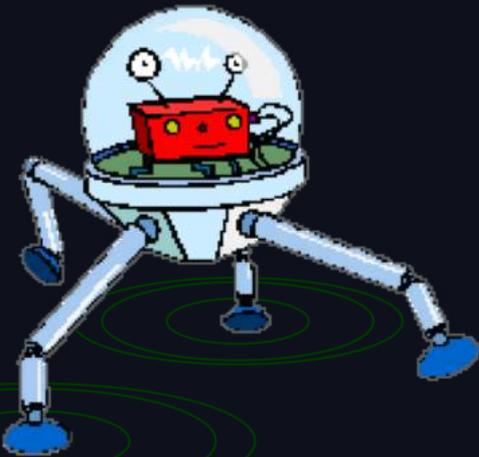
### Cognitif

Représentation mentale du monde  
Contexte : BDI (cognitif >>> réactif)



### Réactif

Représentation sub-symbolique (senseur)  
Contexte : Animats (réactif >>> cognitif)



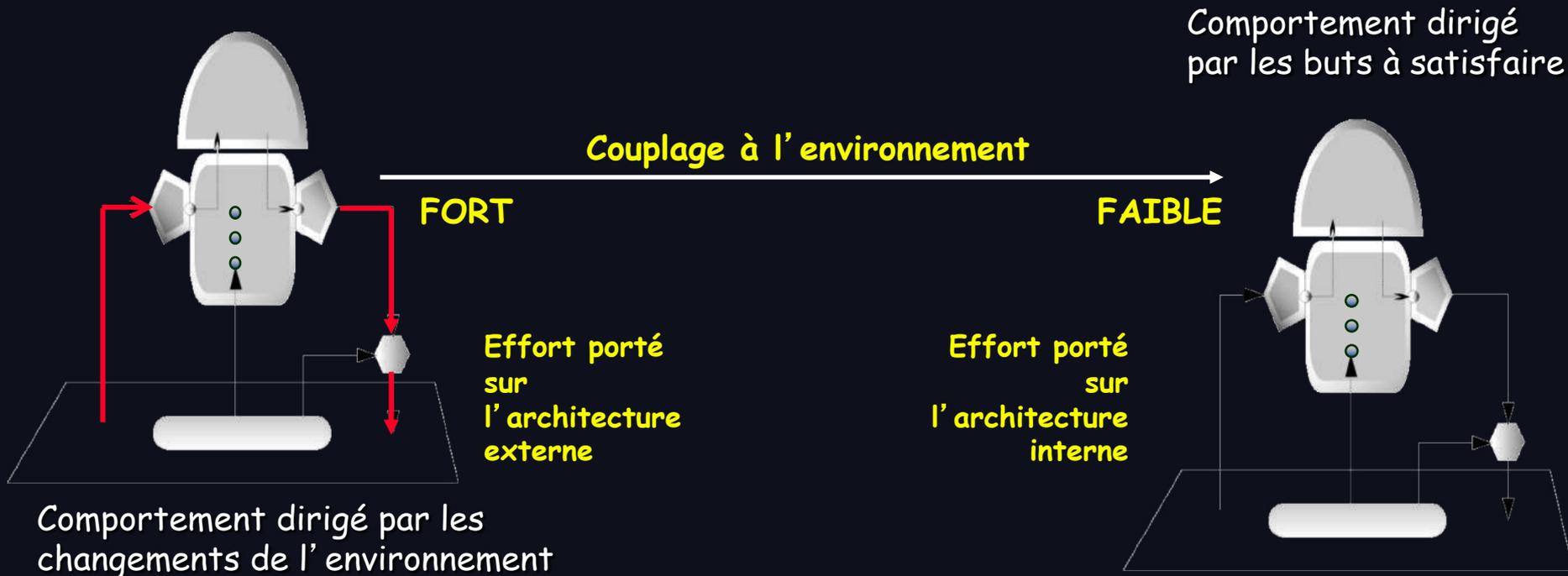
### Hybride = Cognitif + Réactif

Les deux représentations  
Contexte : Divers modèles

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

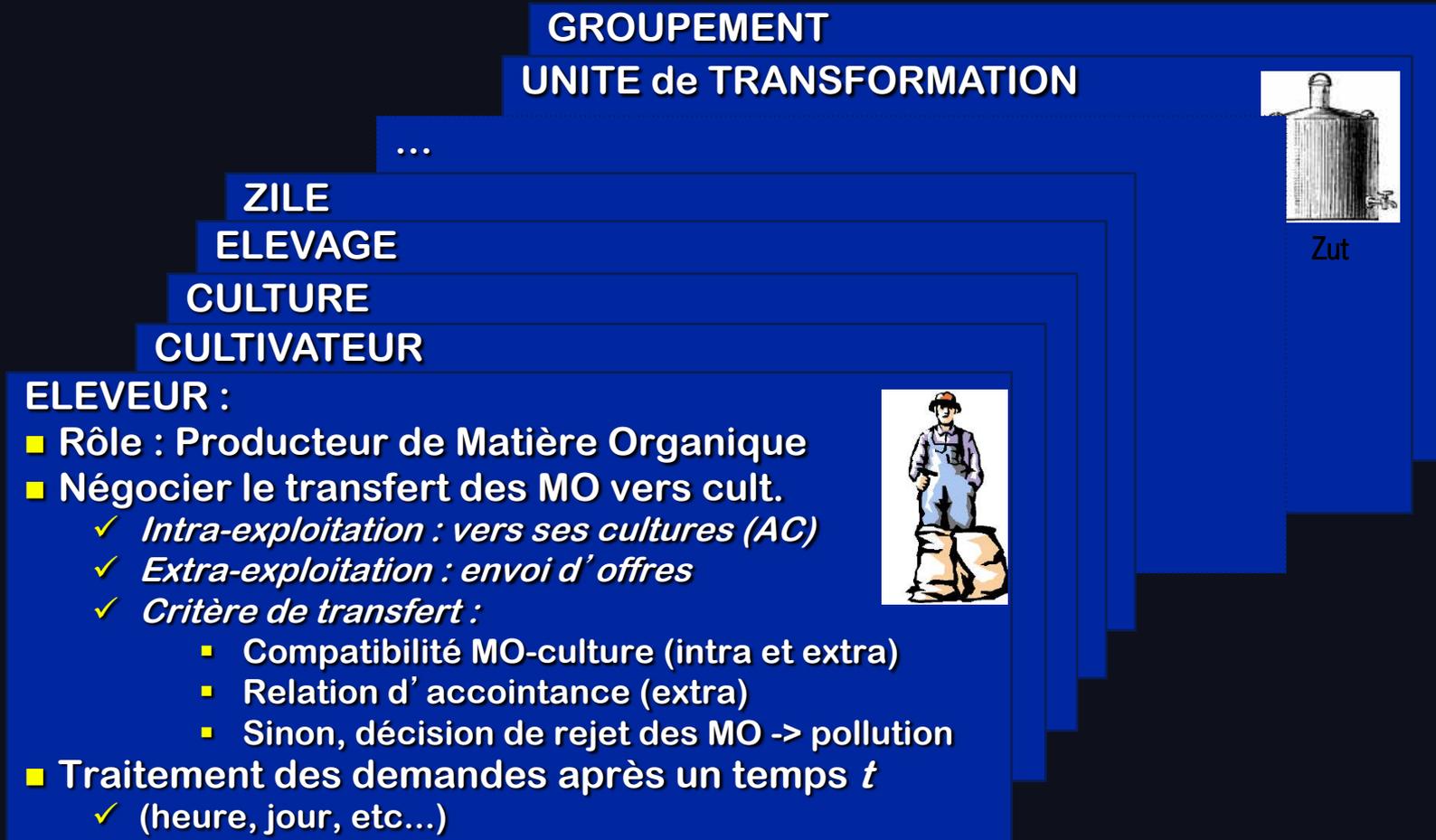
## Typologie/Agent Hybride/Couplage à l' Env.

- L'agent quelque soit son type définit une entité possédant :
  - ✓ Une architecture interne (raisonnement, décision)
  - ✓ Une architecture externe (senseur, effecteur, action)
- La complexité de ces éléments d'architecture va dépendre du niveau de couplage de l'agent avec son environnement



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Typologie / Exemple : L' Eleveur dans Biomas



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts / Sommaire

---

### Partie 2 : Agents et Systèmes Multi-Agents

- La notion d' Agents
- La notion de Système Multi-Agents
- Typologie d' agents dans un SMA
  
- Concepts
  - ✓ *Interaction,*
  - ✓ *Schéma d'interactions*
  - ✓ *Organisation*
  - ✓ *Environnement*
  
- Applications
- La simulation multi-agents
- Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts / L'interaction

---

### ■ Notions de bases

- C'est parce qu'ils coopèrent que les agents peuvent accomplir plus que la somme de leurs actions
  - C'est par leur multitude que les agents peuvent être très performants pour certains domaines
- => Les agents doivent coordonner leurs actions et résoudre les conflits

### ■ Définitions

- Toute action qui affecte l'agent dans la réalisation de son but, de sa tâche
- Mise en relation dynamique d'agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques
- Existence d'une interaction lorsque la dynamique propre d'un agent est perturbée par les influences des autres agents

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts / L'interaction

---

### ■ Différentes formes

- Interaction directe : Un agent communique par envoi de messages asynchrone vers un autre agent ou ensemble d'agents
- Interaction indirecte : la communication est réalisée au travers de l'environnement

### ■ Plusieurs schémas d'interactions sont nécessaires

*les principaux sont :*

- la collaboration,
- la coordination d'actions
- La coopération

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts / Schémas d'interactions

---

### ■ La collaboration

- manière de répartir le travail entre plusieurs agents

### ■ La coordination d'actions

- manière dont les actions des différents agents doivent être organisés dans le temps et l'espace

### ■ La coopération

- forme générale d'interaction pour les agents capables d'avoir un projet explicite (agents cognitifs et réactifs si l'on envisage seulement le résultat des actions)
- Qui fait quoi, quand, ou, et avec quels moyens
- Les techniques de négociation sont utilisées pour limiter les effets des conflits qui apparaissent

**Coopération = collaboration + coordination + résolution de conflits**

---

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Langages d'interaction entre Agents

---

Mise en relation dynamique de plusieurs agents par un langage commun au moyen d'une syntaxe et d'une ontologie partagées.

### ✓ Deux principales approches :

- **procédurale**, où la communication est basée sur le contenu exécutable en utilisant les langages de programmation (Java, C#, Python,...)
- **déclarative**, où la communication est basée sur des actes illocutoires, tels qu'une demande ou une commande; les actions sont communément appelées **performatives**.

### ✓ Théorie des actes de langage Vanderveken et Searle (1990)

- Un acte de langage A est de la forme :  $A = F(P)$   
Où F est une force illocutoire appliquée à un contenu propositionnel P.
- Force illocutoire = un verbe à la première personne de l'indicatif .

### ✓ Exemple

- pour demander à une personne si elle possède un crayon (as-tu un crayon?), l'acte de langage doit être: je demande si tu as un crayon; le performatif ici est le verbe demander.

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

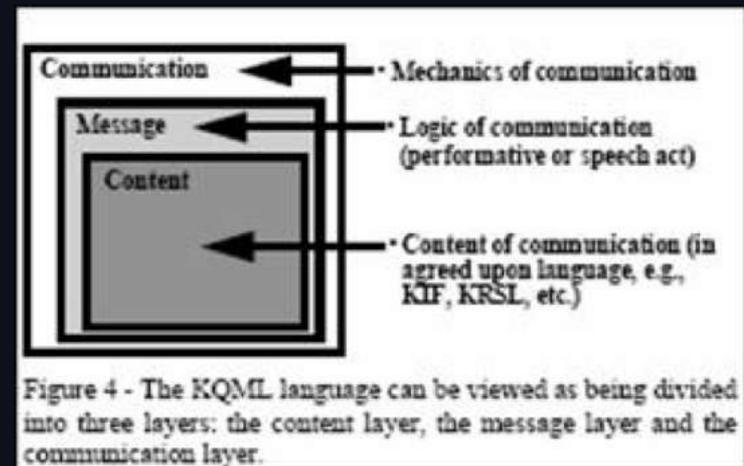
## Langages d'interaction entre Agents

### Exemple de KQML

Knowledge Query and Manipulation Language (1993)

- ✓ *Langage né d'une Initiative de l'ARPA dans le cadre d'un projet de développer des techniques et des méthodes permettant l'organisation de bases de connaissances à grande échelle qui soient partageables et réutilisables par des systèmes d'agents.*

- Niveau communication.  
:sender, :receiver,  
:from, :to,  
:reply-with et :in-reply-to
- Niveau message  
:language, :ontology
- Niveau contenu  
:content



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Patron de l'instruction KQML

---

- Les mots réservés de KQML sont constitués par la liste des performatifs et la liste de leurs paramètres. Ils forment un patron de l'instruction KQML qui peut être décrit comme suit :

Performatif [

<b>:sender</b> <word>	L'émetteur du message (au sens réel)
<b>:receiver</b> <word>	Le destinataire (au sens réel).
<b>:from</b> <word>	L'émetteur virtuel (dans le cas d'un forward).
<b>:to</b> <word>	Le récepteur virtuel (dans le cas d'un forward).
<b>:reply-with</b> <word>	L'étiquette à donner à la réponse au message
<b>:in-reply-to</b> <word>	L'étiquette demandée par le message précédent.
<hr/>	
<b>:language</b> <word>	Le nom du langage dans lequel :content est exprimé.
<b>:ontology</b> <word>	Le nom de l'ontologie (concepts connus) de référence
<hr/>	
<b>:content</b> <expression>	L'information sur laquelle porte le performatif. Elle est exprimée dans le langage défini par :language, (PROLOG, KIF...).

]

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Performatifs d'interaction KQML

Name	KQML Version	Meaning
achieve	both	S veut que R effectue une action
advertise	both	S signale à R qu'il peut réaliser une action
ask-about	1993	S veut toutes les expressions disponibles dans la BC de R au sujet d'une question
ask-all	both	S veut toutes les réponses à une question disponibles dans la BC de R
ask-if	both	S veut savoir si une phrase est dans la BC de R
ask-one	both	S veut une réponse de R à sa question
break	1993	S veut que R ferme une communication
broadcast	both	S veut que R envoie un performatif à tous les agents qu'il connaît
broker-all	both	S veut que R collecte toutes les réponses à un performatif
broker-one	both	S veut que R l'aide à répondre à un performatif
delete	1993	S veut que R supprime une expression de sa BC
delete-all	both	S veut que R supprime de sa BC toutes les phrases correspondantes
delete-one	both	S veut que R supprime une phrase de sa BC
deny	both	Le performatif ne correspond pas (plus) à S
discard	both	S refuse les réponses suivantes de R à un performatifs
eos	both	Fin d'un flux de réponses à un performatif précédent
error	both	S considère que le message précédent de R était mal formé
evaluate	1993	S veut que R réduise une expression (la simplifie)
forward	both	S veut que R transmette un performatif
generator	1993	Identique à Standby pour un stream-all
insert	both	S demande à R d'ajouter une expression à sa BC
monitor	1993	S veut que R lui transmette les nouvelles réponses à un stream-all

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Performatifs d'interaction KQML (2)

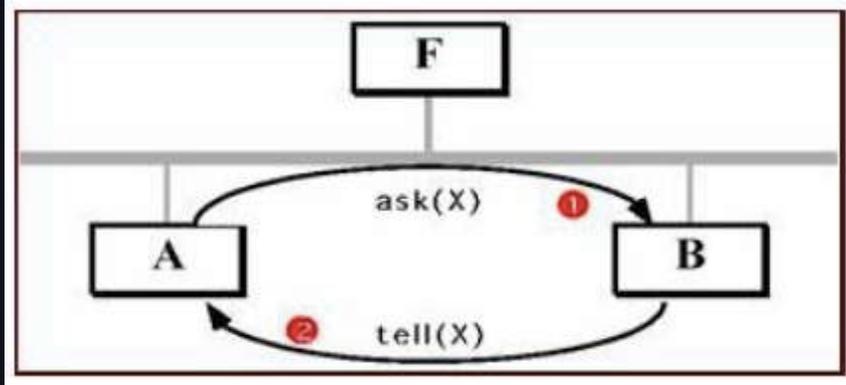
next	both	S veut la réponse suivante de R à un performatif
pipe	1993	S veut que toutes les réponses suivantes à un performatif soient routées par R vers un autre agent
ready	both	S est prêt à répondre au performatif précédent de R
recommend-all	both	S veut les noms de tous les agents qui peuvent répondre à un performatif
recommend-one	both	S veut le nom d'un agent qui peut répondre à un performatif
recruit-all	both	S veut que R demande à tous les agents qui en sont capables de répondre à un performatif
recruit-one	both	S veut que R demande à un agent qui en est capable de répondre à un performatif
register	both	S indique à R qu'il est capable d'accomplir une action
reply	1993	Répond à une demande attendue
rest	both	S veut de R les réponses restantes à un performatif
sorry	both	S ne peut fournir de réponse plus informative
standby	both	S veut que R se prépare à répondre à un performatif
stream-about	1993	Version de réponse multiple à un ask-about
stream-all	both	Version de réponse multiple à un ask-all
subscribe	both	S veut de R une mise à jour de sa réponse à un performatif
tell	both	Indique qu'une expression est disponible dans la BC de S
transport-address	both	S associe un nom à une adresse physique de transport
unachieve	1997	S veut que R annule les résultats de la précédente commande achieve
unadvertise	1997	S indique à R qu'il ne peut plus effectuer l'action qu'il avait signalée par un advertise.
undelele	1997	S veut que R annule les résultats d'un précédent delete
uninsert	1997	S veut que R annule les résultats d'un précédent insert
unregister	both	La négation d'un register
untell	both	L'expression n'est pas dans la BC de S.

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Exemples de patrons d'interaction KQML (1)

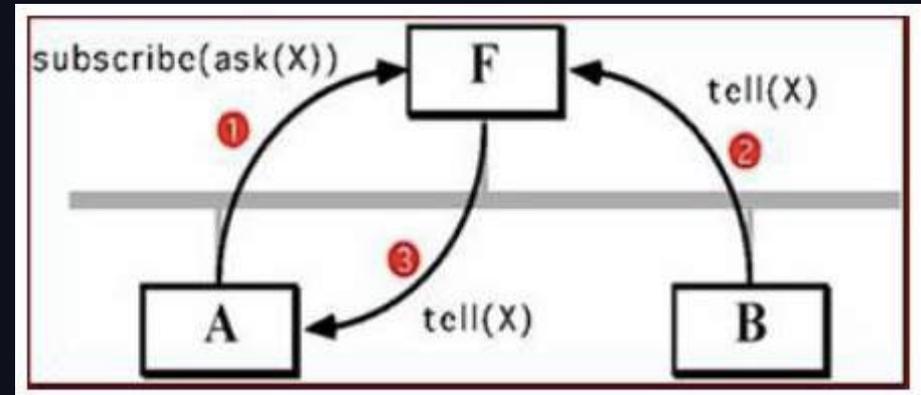
### ■ ASK ET TELL

*A sait que B existe et lui demande X*



### ■ SUBSCRIBE

*A demande à l'agent F de l'informer lorsqu'il aura la connaissance de X*



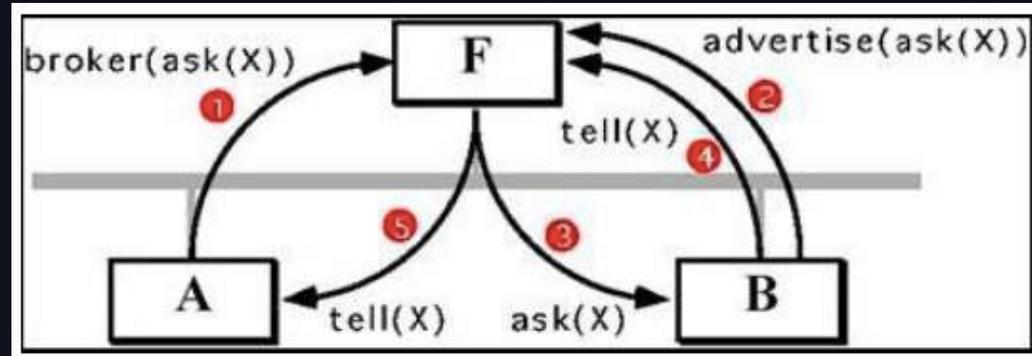
# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Exemples de patrons d'interaction KQML (2)

A demande à F si il peut lui fournir X par son réseau d'acointances

### ■ BROKER ET ADVERTISE

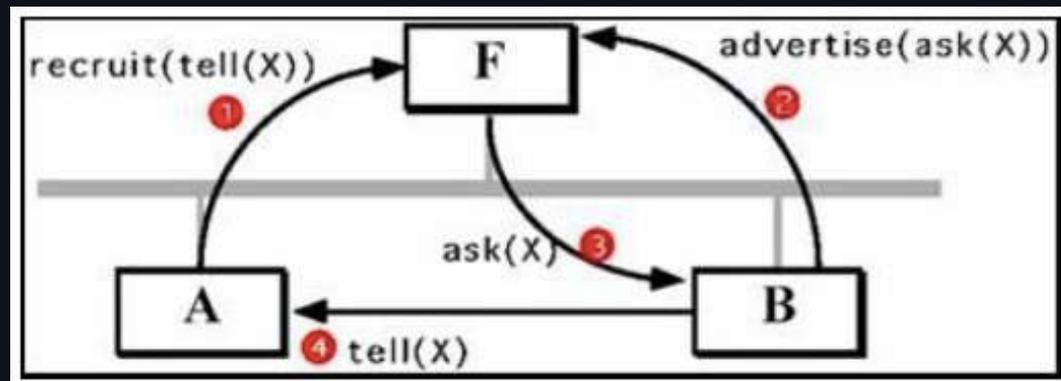
F demande X à un agent B mais est utilisé comme intermédiaire



A obtient X directement par un agent du réseau d'acointance de F

### ■ RECRUIT

*F demande à un agent B de donner X directement à A*



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Langages d'interaction entre Agents

---

### Exemple de FIPA-ACL

- ✓ *FIPA était un groupe multidisciplinaire poursuivant la standardisation de la technologie agent, ce groupe a été intégré dans l'IEEE.*
- ✓ *Ce groupe a proposé une spécification de langage de communication agent ACL (Agent Communication Language)*
- ✓ *Le langage FIPA-ACL suit le style de KQML (utilisant des performatifs issus de la théorie des actes de langage et quelques paramètres complémentaires), mais avec une sémantique mieux spécifiée. Le langage prévoit aussi l'utilisation de protocoles d'interaction. Il existe une bibliothèque de protocoles standards [RIBOO].*

Voir : <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/SC00061G.html>

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts / Organisation

---

On peut définir une organisation comme une structure décrivant comment les membres de l'organisation sont en relation et interagissent afin d'atteindre un but commun.

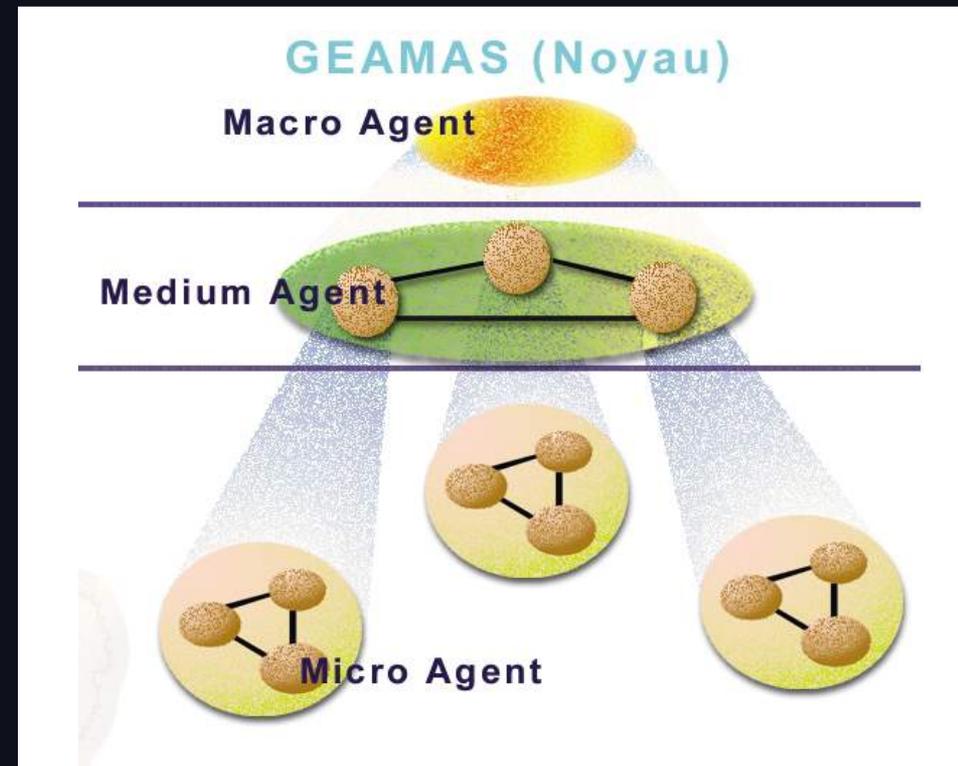
- Niveaux d'organisation des agents [Gurvitch 63]
  - ✓ le niveau **micro-social** : interaction entre un petit groupe d'agents
  - ✓ le niveau **groupe** : structure intermédiaire organisée
  - ✓ le niveau **sociétés globales** : dynamique d'un grand nombre d'agents
- Le travail portant sur les organisations artificielles se situe au centre d'une dualité statique/dynamique
  - ✓ Structure statique décrivant les relations entre les membres d'une organisation
  - ✓ Structure dynamique qui considère l'environnement et les agents dans leur mouvement : auto-organisation, émergence.

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts / Organisation / Exemple : Geamas

*Le système peut être décomposé en des sous-organisations distinctes. Un agent peut jouer un ou plusieurs rôles tout en coopérant et en respectant ses sous-organisations.*

- **Niveau Macro**
  - ✓ *Représente l'ensemble du SMA*
  
- **Niveau Medium**
  - ✓ *Emergence comportementale*
  - ✓ *Modèle Hiérarchique*
  - ✓ *Structure de Groupe*
  
- **Niveau Micro**
  - ✓ *Entité autonome proactive de granularité la plus fine*



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts/Organisation/Exemple : Le Groupement

### ■ GROUPEMENT

- Medium Agent
- Définition des scénarios de gestion
- Pouvoir de décision sur les membres
  - Imposition de contraintes d'actions
  - Adhésions, Sanctions
- Contraintes :

Modes d'apport

*Quantité d'apport : défini par un quota (%) de la production*

*Obligation ou non d'apport à la Zut*

Fréquence d'apport : périodique ou à la demande (jour)

Moyen d'approvisionnement

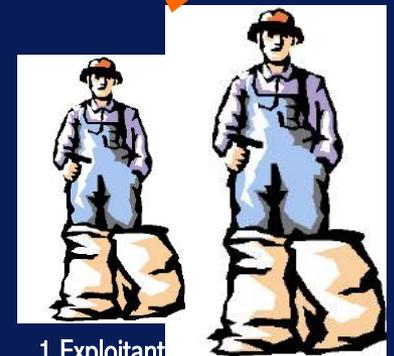
*Collecte périodique de la Zut (⇒ période de collecte)*

*Apport individuel des membres*

Destination des produits de la Zut

*Vendu sur le marché (vers les CMO)*

*Repris par les PMO : si refus ⇒ sanction par le groupement  
= avertissement, exclusion*



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts / Environnement / Définition

---

### ■ Définitions

- ✓ *Espace commun aux agents d'un SMA, doté d'un ensemble d'objets et de possibilité de perception et d'action*

---

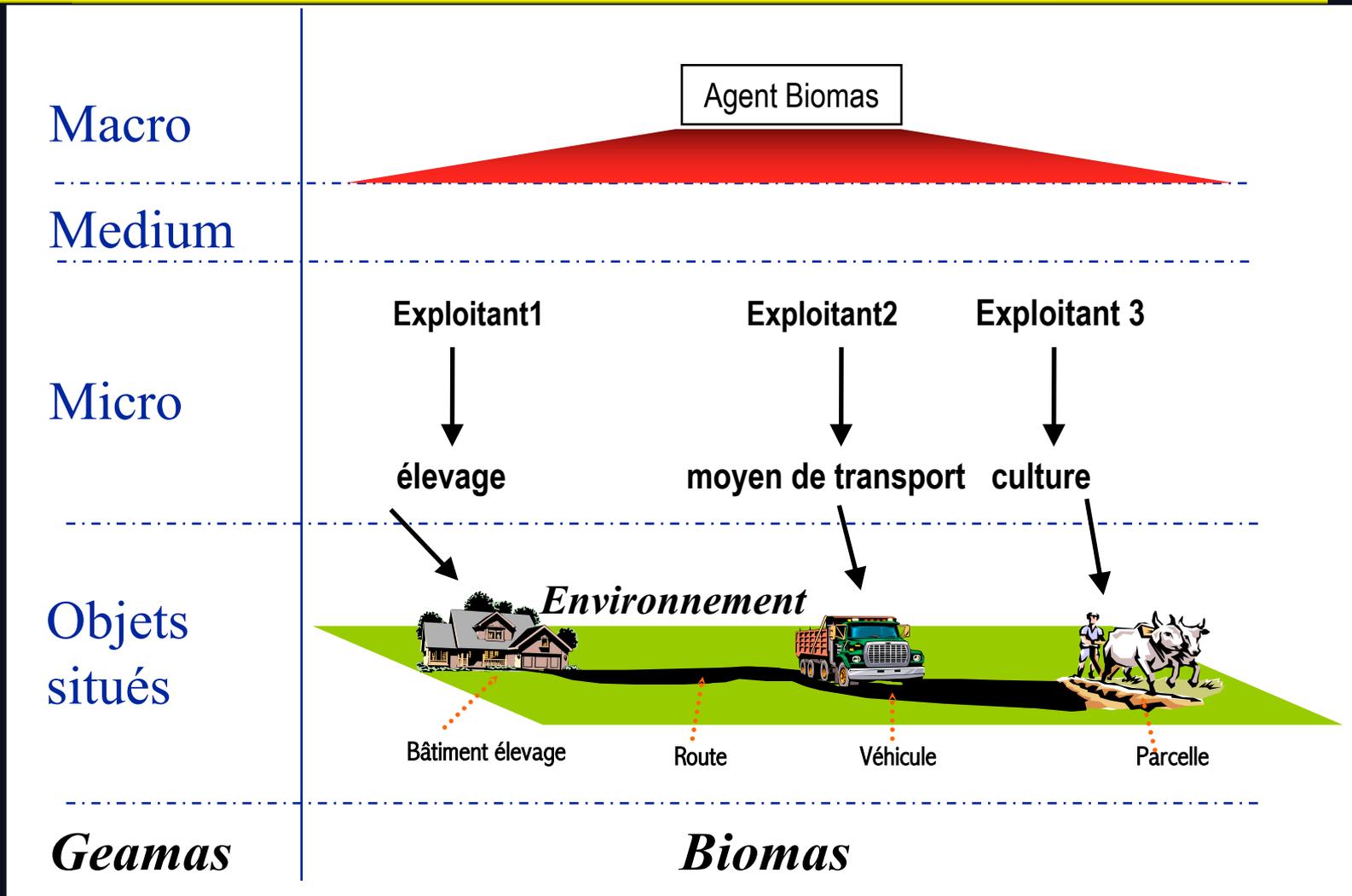
- ✓ *Environnement = Tout ce qui n'est pas agent dans un SMA*
- ✓ *Médium de l'interaction : signaux trace, ...*
- ✓ *Lieu ou les actions sont réalisées et dans lequel des réactions perçues*
- ✓ *Un espace définissant des métriques spatiaux : grilles, repère, ...*
- ✓ *Une source de données pour les agents*
- ✓ *...*

### ■ L'environnement est modifiable par les agents

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts / Environnement / Exemple : Biomass (1)

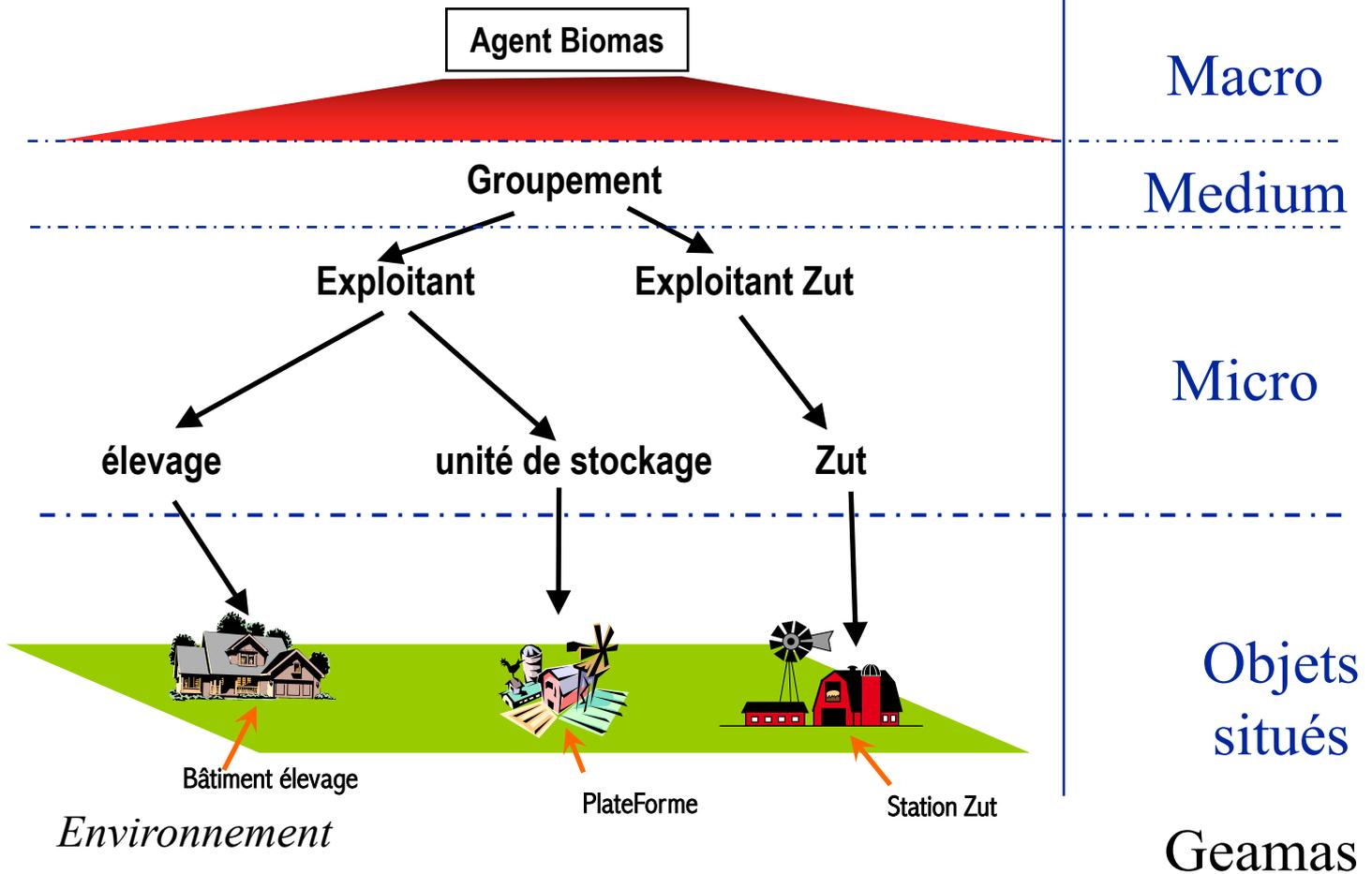
### Scénario 1



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts / Environnement / Exemple : Biomass (2)

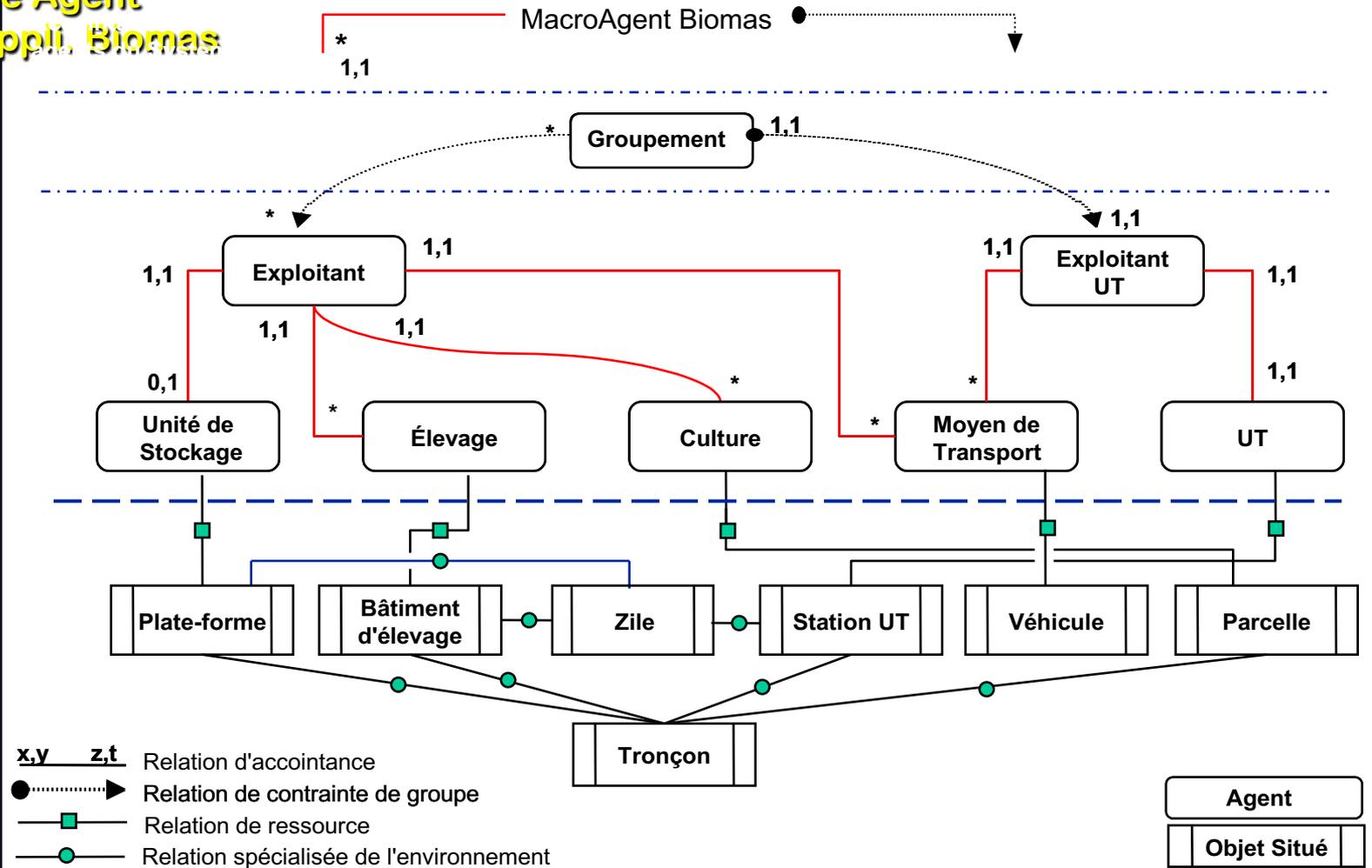
scénario 2



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Concepts / Environnement / Exemple : Biomass (3)

### Modèle Agent de l'appli. Biomass



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Applications / Sommaire

---

### Partie 2 : Agents et Systèmes Multi-Agents

- La notion d' Agents
- La notion de Système Multi-Agents
- Typologie d' agents dans un SMA
- Concepts
  
- Applications
  - ✓ *Pourquoi distribuer l' intelligence ?*
  - ✓ *Résolution de problèmes*
  - ✓ *Conception logiciel et Robotique*
  - ✓ *La simulation*
  
- La simulation multi-agents
- Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Applications / Pourquoi distribuer l'intelligence ?

---

- Types d'applications des SMA :
  - Résolution de problèmes
  - Conception de logiciels capables d'évoluer par interactions, adaptation et reproduction d'agents autonomes fonctionnant dans un univers distribué
  - Robotique distribuée
  - Construction de mondes synthétiques
  - Simulation multi-agents

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Applications / Résolution de problèmes

---

*Concerne toutes les situations dans lesquelles les agents logiciels (sans structure physique) accomplissent des tâches utiles aux humains.*

### ■ 2 types :

- Expertise globale distribuée dans l'ensemble des agents ; ensemble de spécialistes qui coopèrent pour résoudre un pb général (Diagnostic médical, conception d'1 produit,...)
- Problème est distribué, les agents pouvant avoir des compétences semblables : ex. surveillance d'1 réseau d'énergie ou la supervision est répartie sur chacun des noeuds.

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Applications / Conception logiciel et Robotique

---

- **Logiciels fonctionnant dans un env. distribué :**
  - Exemple d'internet : les logiciels doivent s'intégrer dans un env. évolutif chaque agent vit (et doit survivre) dans un réseau comme un animale dans un écosystème naturel (récupérer des données, gérer des rendez-vous,...)
- **Robotique distribuée :**
  - Utilisation d'agents concret qui se déplacent dans un environnement réel
  - Robotique mobile : ensemble de robots qui coopèrent pour accomplir une mission
  - Robotique cellulaire : constitution modulaire de robots. Un mouvement sera la conséquence de la coordination d'un ensemble d'agents composant le robot.



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Applications / La simulation (1)

---

- **La construction de mondes synthétiques :**
  - Ne simule aucun monde réel, n'utilise pas d'agents physiques
  - Analyse de mécanismes d'interactions entre agents.  
ex. compréhension de l'influence d'un facteur sur une société d'individus
  
- **La simulation multi-agents :**
  - Analyser les propriétés de modèles théoriques du monde environnant : La chimie, la biologie, l'écologie, la géologie, les sciences sociales,...

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Applications / Sommaire

---

### Partie 2 : Agents et Systèmes Multi-Agents

- La notion d' Agents
- La notion de Système Multi-Agents
- Typologie d' agents dans un SMA
- Concepts
- Applications
  
- La simulation multi-agents
  - ✓ *Cadre*
  - ✓ *Principe*
  - ✓ *Exemple*
  
- Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## La simulation multi-agents / Cadre

---

### ■ Les modèles mathématiques classiques

- Equations différentielles, matrices de transitions, etc...
- Relations de cause à effet entre variables d'entrées et variables de sorties

#### *Limites*

- Grand nombre de paramètres difficiles à estimer
- Manque de réalisme (sciences sociales,...)
- Difficulté de modéliser l'action, ...

### ■ L'approche SMA :

- Possibilité de représenter directement les entités, leurs comportements et leurs interactions.
- Bien adapté aux simulations de phénomènes naturels et aux sciences sociales

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## La simulation multi-agents / Principes

---

- Représentation d'un phénomène comme le fruit des interactions d'un ensemble d'agents disposant de leur propre autonomie opératoire et évoluant dans un environnement défini

- ✓ *Représentation sous forme informatique des agents :*
  - conscience
  - compétences, capacités
  - états, ressources
- ✓ *Représentation des interactions possibles entre agents :*
  - Graphe d'accointances
- ✓ *Représentation de l'environnement spatio-temporel dans lequel évoluent les agents :*
  - objets situés,...

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## La simulation multi-agents / Exemple

- Exemple de simulation Biomass sur la plateforme Geamas

The screenshot displays the Editor V4.5 - simulation1.esv interface. The main window shows a map titled "Application Biomass - Iremia/Cirad" with various agents and objects. The interface includes a menu bar (Fichier, Outils, Affichage, ?), a toolbar, and several panels:

- Carte**: A panel on the left showing a map view.
- Actions**: A panel on the left with tabs for "Creation", "Calques", and "Modélisation". It lists actions like "Batimentlevage", "Vehicule", "Parcelle", "StationZut", and "PlateForme".
- Vues**: A panel on the right with tabs for "Vue située", "Vue synthétique", and "Vue globale". It shows a map with agents labeled "exp\_1", "exp\_2", "el\_1", "el\_2", "cult\_1", "mt\_1", "Batiment", "Parcelle", and "Vehicule".
- Simulation**: A panel at the bottom left with a time range from 18/06/02 09:45:22 to 18/06/03 09:45:22, a play button, a stop button, a pause button, and a "Tick Constant" dropdown.
- Infos**: A panel at the bottom right showing a table of agent properties and values.

Property	Value	Description
nature	Canne	nature de la culture
nom	cult_1	nom de la culture
qte.Epandable	0.0	la quantité épandable

Ouverture de la fenetre de propriétés

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## La simulation multi-agents / Exemple (2)

The screenshot shows a multi-agent simulation environment. At the top, five red labels with yellow arrows point to specific elements: 'Agent' points to a 'cultivateur' agent; 'Accointance' points to a green line connecting agents; 'Etat' points to a 'cultivateur' agent; 'Volume d'échanges' points to a green line; and 'Grapheur' points to a graph window. The interface includes a menu bar (Fichier, Options, Aide), a toolbar, and several panels: 'Infos' (Messages), 'Vues' (a map with agents and objects like 'Batiment', 'Vehicule', 'Route'), 'culture\_1 propriétés' (a graph showing 'quantiteproduction' and 'quantiteexpandable'), 'elevage\_1 propriétés' (a graph showing 'capacitestockmax'), and three 'exploitant' property windows. A 'Contrôleur de simulation' panel at the bottom left shows a timeline and a 'Simulation démarrée' button. A red arrow points to the '26/11/99 08:54:06' timestamp. A red arrow points to a 'cultivateur' agent in the 'exploitant\_2 propriétés' window, labeled 'Objet situé'. Another red arrow points to a message in the 'exploitant\_1 propriétés' window, labeled 'Inspecteur d'agent'.

Agent    Accointance    Etat    Volume d'échanges    Grapheur

Contrôleur de simulation    Objet situé    Inspecteur d'agent

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Exemple (3)

The screenshot shows the 'Editor V4.5 - simulation1.esv' window. It features a menu bar with 'Fichier', 'Outils', and 'Affichage'. Below the menu are icons for file operations. On the left, there is a 'Carte' (Map) panel with a miniature map. In the center, a 'Vues' (Views) panel shows 'Vue située' (Situated View) and 'Vue synthétique' (Synthetic View). The main area displays a map with several agent icons labeled 'exp\_1' and 'e\_1'. A 'Simulation' panel at the bottom right shows a 'Simulation (en « mode constant »)' section with a table of agent data.

nom	cult_1	nom de la culture
qte.Epandable	0.0	la quantité épar

**OUTILS**

1. Traceur de messages
2. Importation de BD

**CARTE et VUES**

1. Carte miniature
2. Vue Située
3. Vue Synthétique
4. Vue Globale
5. Affichage d'indicateur d'état instantané et

**SIMULATION**

1. Contrôle du scheduler Geamas (Constant, Croissant, Optimisé)
2. Paramétrage du pas de simulation (intervalle de temps minimum)

**INFO**

1. Affichage des messages échangés entre agents
2. Affichage des données de tout agent sélectionné dans une vue
3. Affichage de données de « log » (en cours)

**Calques**

Simulation de calques d'affichage  
Affectation de code agent (en cours)



# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## La simulation multi-agents / Exemple (5)

Traceur SMA

Session Diagramme Options Affichage ?

Infos générales

Nb Mess...

9208

Nb Agents

36

Message

Nom

expZ 1#864

Methode

e aller pour la collecte

Expediteur

expZ 1

Destinat...

exp 2

Scenario

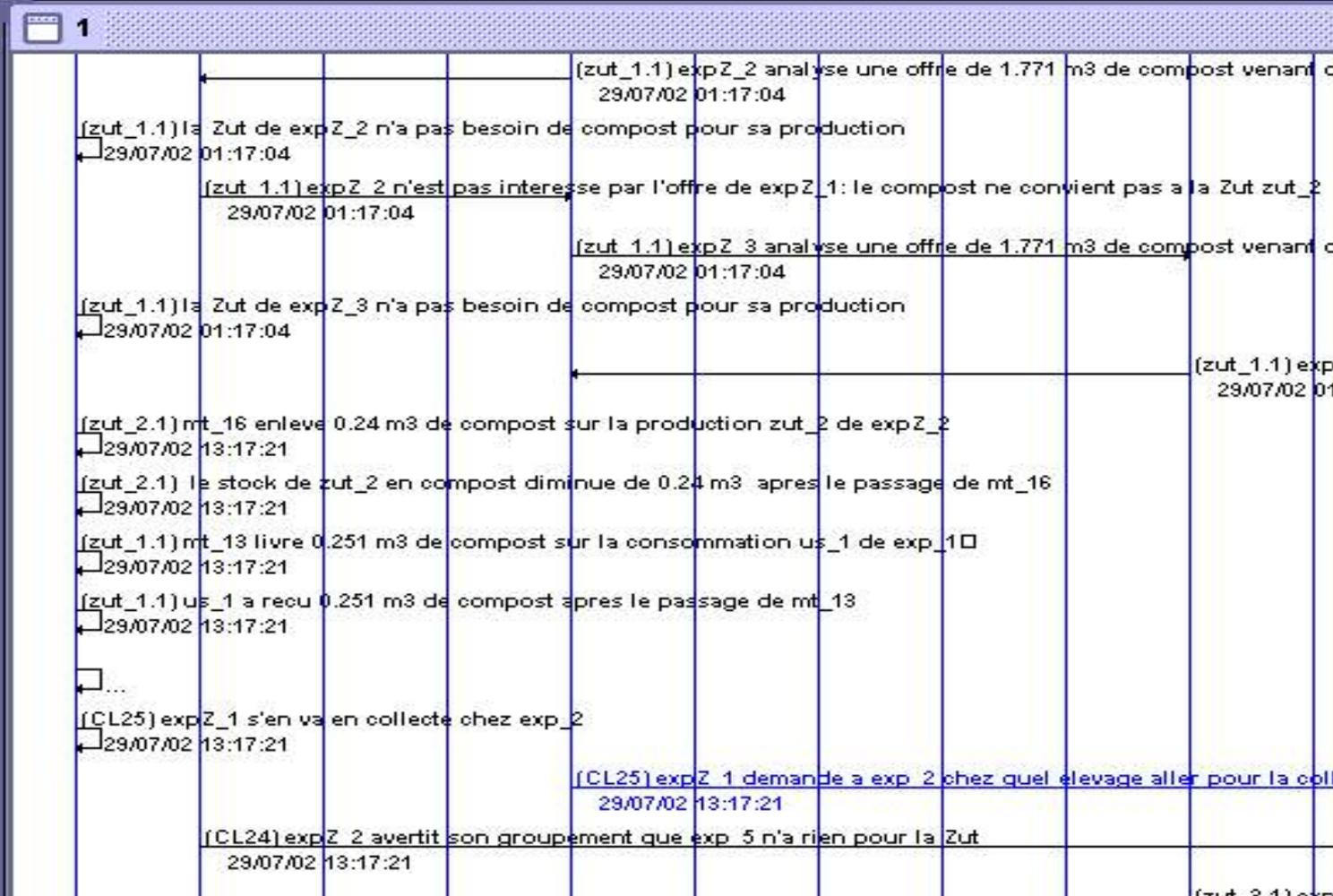
(CL25)

Type

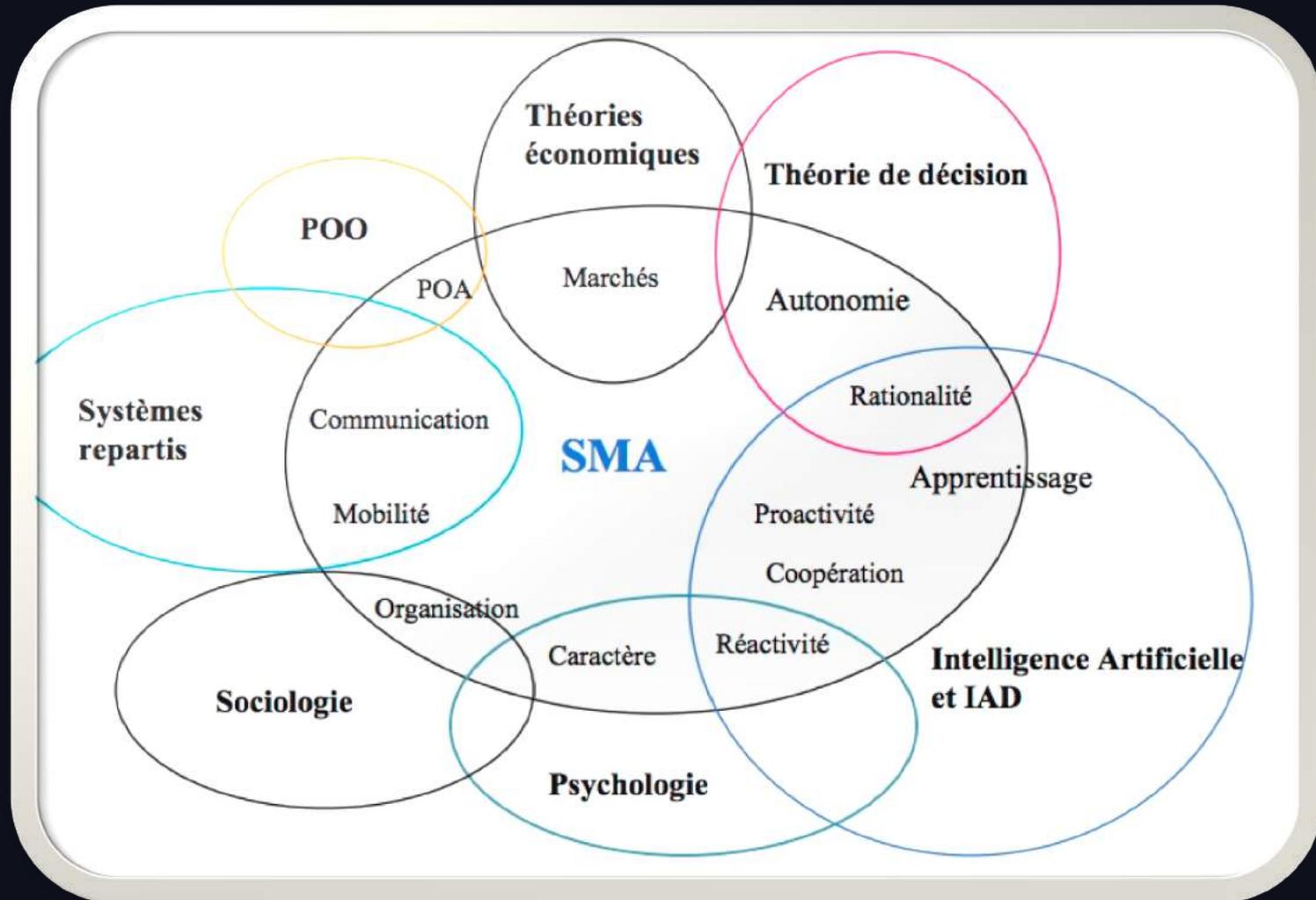
0

Modele

Niveau



# Liens avec d'autres disciplines



Source : <http://turing.cs.pub.ro/auf2/>

# Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

## Applications / Sommaire

---

### Partie 2 : Agents et Systèmes Multi-Agents

- La notion d' Agents
- La notion de Système Multi-Agents
- Typologie d' agents dans un SMA
- Concepts
- Applications
- La simulation multi-agents
  
- Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA

# Principaux thèmes de recherches & manifestations

---

## ■ The eight events of Agents' World

- **ACW** Internat.I Workshop on Agents in Community Ware
  - ✓ focusing on the uses of intelligent agents to stimulate a variety of social processes, going on in the real world.
- **ICMAS** International Conference on Multi-Agent Systems
  - ✓ Focusing on Multi-Agent Systems
- **ATAL** Int. W. on Agents : Theories, Architectures, and Languages
  - ✓ Focusing on Theory and Practice of Intelligent Agents
- **CIA** Int. W. on Cooperative Information Agents
  - ✓ Focusing on Multi-Agent Systems and Databases
- **IATA** Int. W. on Intelligent Agents for Telecommunications Applications
  - ✓ Focusing on Multi-Agent Systems and Telecommunications
- **CRW** Int. W. on Collective Robotics
  - ✓ Focusing on Multi-Agent Systems and Robotics
- **MABS** Int. W. on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation
  - ✓ Focusing on Multi-Agent Systems, Social Sciences, Artificial Life
- **Robocup** Featuring Int. Competitions Robocup
  - ✓ International Competition between Soccer Robot Teams
- More detailed information about **Agents' World** :  
<http://www-lipn.univ-paris13.fr/AgentsWorld>

# Principaux thèmes de recherches & manifestations

---

- **JFSMA** : Journées Francophones sur le Systèmes Multi-Agents
- **AAMAS** : Autonomous Agents and Multi-Agent Systems
- **EUMAS** : European Workshop on Multi-Agent Systems
- **SAB** : Simulation of Adaptive Behavior
- **CTS**: International Symposium on Collaborative Technologies and Systems.
- ...