

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

— ~ —

Partie 2 – Agents et Systemes Multi-Agents

— ~ —



@Web : <http://lim.univ-reunion.fr/staff/courdier/>
@mail : Remy.Courdier@univ-reunion.fr



Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Sommaire

Partie 2 : Agents et Systemes Multi-Agents

- La notion d'Agents
- La notion de Systeme Multi-Agents
- Typologie d'agents dans un SMA
- Concepts
- Applications
- La simulation multi-agents
- Principaux themes de recherches SMA

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Sommaire

Partie 2 : Agents et Systemes Multi-Agents



- La notion d'Agents
 - ✓ *Vers la distribution d'entités autonomes*
 - ✓ *Agent et « distributed intelligence »*
 - ✓ *Définition*
 - ✓ *l'Agent face à l'Objet*

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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

L'Agent / Vers la distribution d'entités autonomes

- Tendances des systemes automatisés
 - ✓ *L'informatique se veut communicante distribuée*
 - ✓ *Multiplication et décentralisation des systemes 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, ...*

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

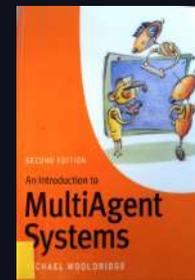
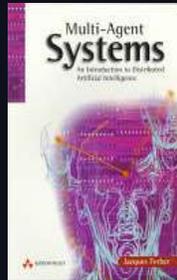
L'Agent / Définition

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.*

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Proprietés d'un agent



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

« 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



Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

L'Agent / L'Agent face à l'Objet

■ Des similarités

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

■ Des différences

✓ *L'objet*

- Pas d'autonomie d'action : Pour agir, un objet doit être invoqué par un appel de méthode qu'il ne peut refuser
- Protocole d'interaction simple et rigide (invocation de méthodes)

✓ *L'agent*

- Autonomie de contrôle : l'agent décide de son comportement en fonction de son état, croyances, perceptions de l'environnement,
- Proactivité : l'agent doit pouvoir agir de sa propre initiative pour satisfaire son ou ses buts

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Sommaire

Partie 2 : Agents et Systemes Multi-Agents

- La notion d'Agents



- La notion de Systeme 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 outils & manifestations SMA

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents 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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents 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 au 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*

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents 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 :
 - ✓ *Systemes ouverts aux structures instables*
 - ✓ *Systeme travaillant sur des environnement distribués et évolutifs*
 - ✓ *Problèmes avec coopération, négociation*
 - ✓ *Systeme intégrant des aspects spatio-temporels*
- Le point clé consiste à proposer des solutions informatiques **robustes** supportant la dynamique des systemes 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 .

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Propriétés d'un agent dans un SMA

■ 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.**

■ Flexible

Il **adapte son comportement à sa perception** de l'environnement et peut s'intégrer à des organisations (groupes) pour mieux atteindre son objectif.

■ Proactif

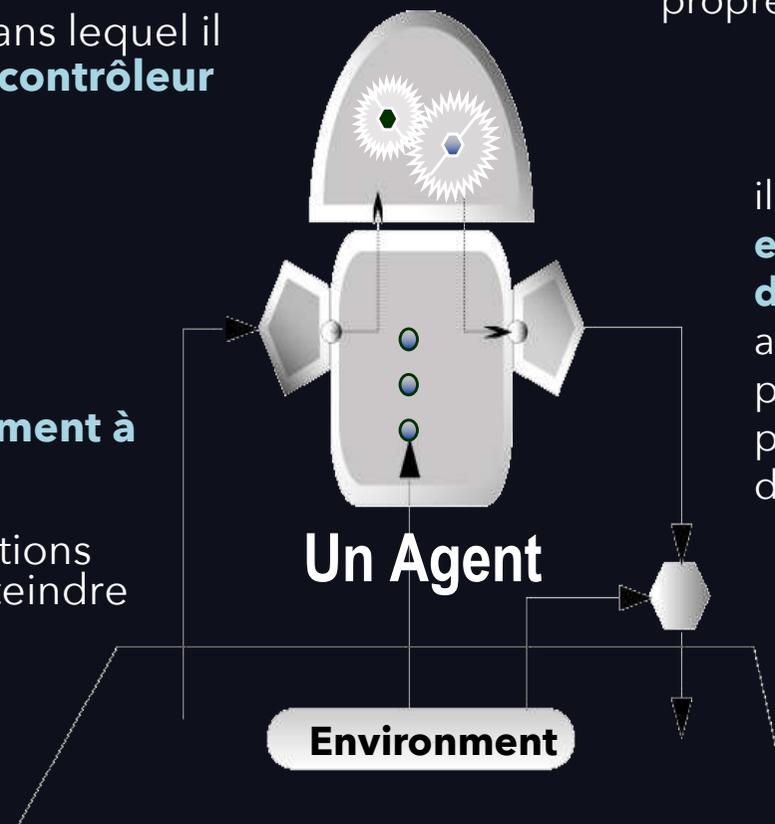
Il **peut prendre des initiatives** afin de satisfaire ses buts. Pour se faire, il n'est pas soumis à l'invocation d'une autre entité pour agir mais peut agir sur sa propre initiative.

■ Social

il est **capable d'interagir et de coopérer avec d'autres agents** pour atteindre des objectifs propres ou communs ou pour aider d'autres agents dans leurs activités

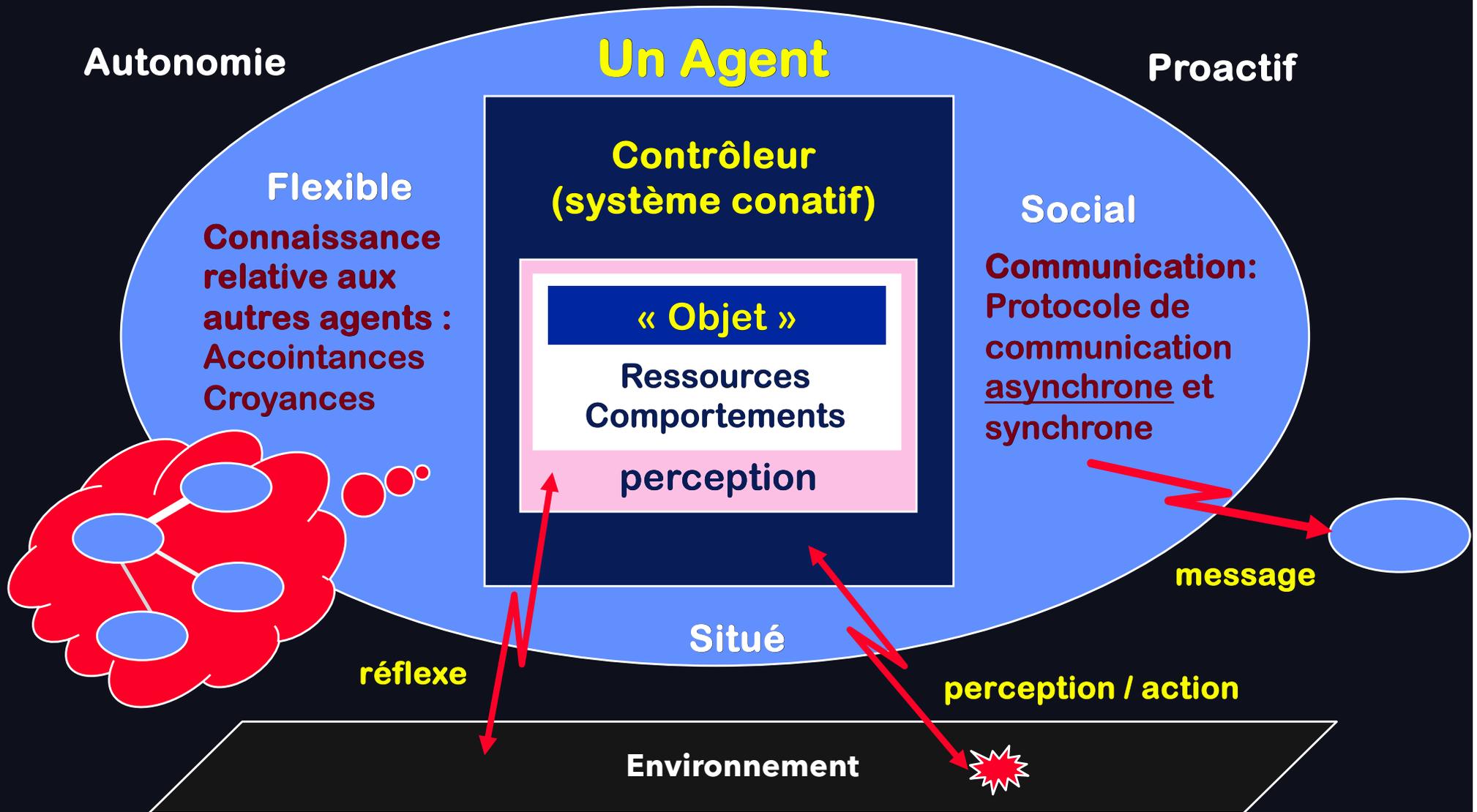
■ Situé

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



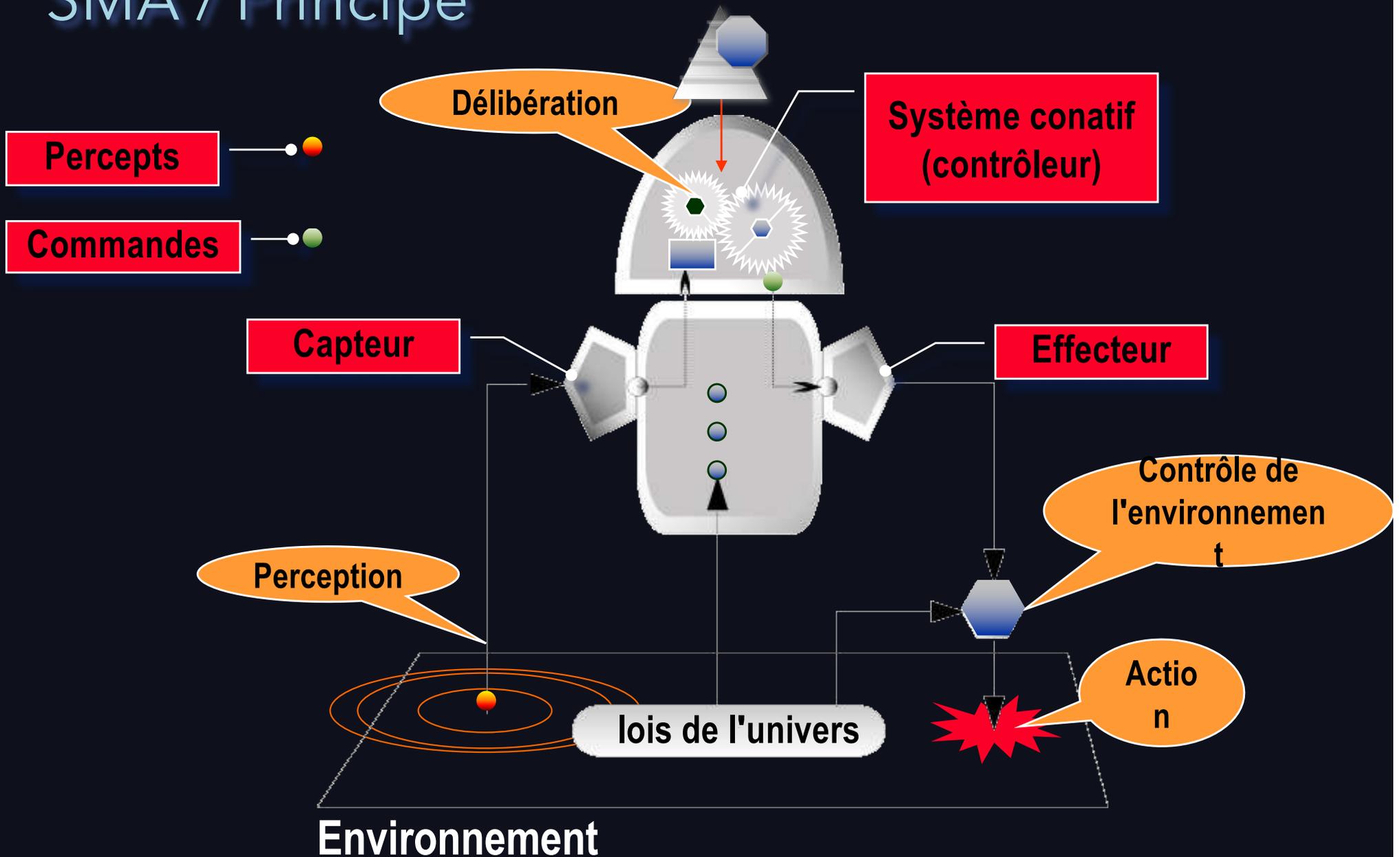
Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

L'Agent au sein du SMA

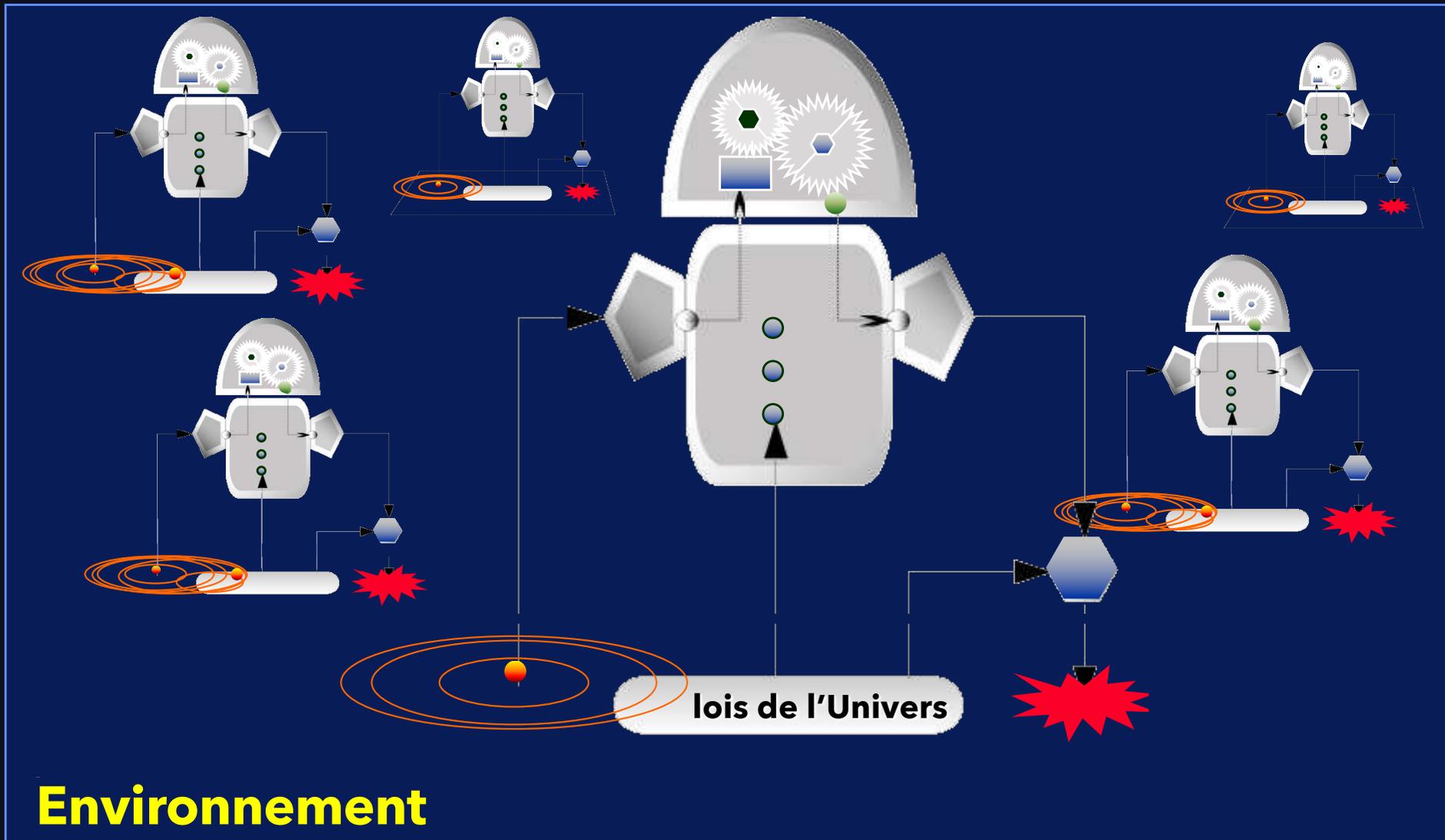


Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

SMA / Principe

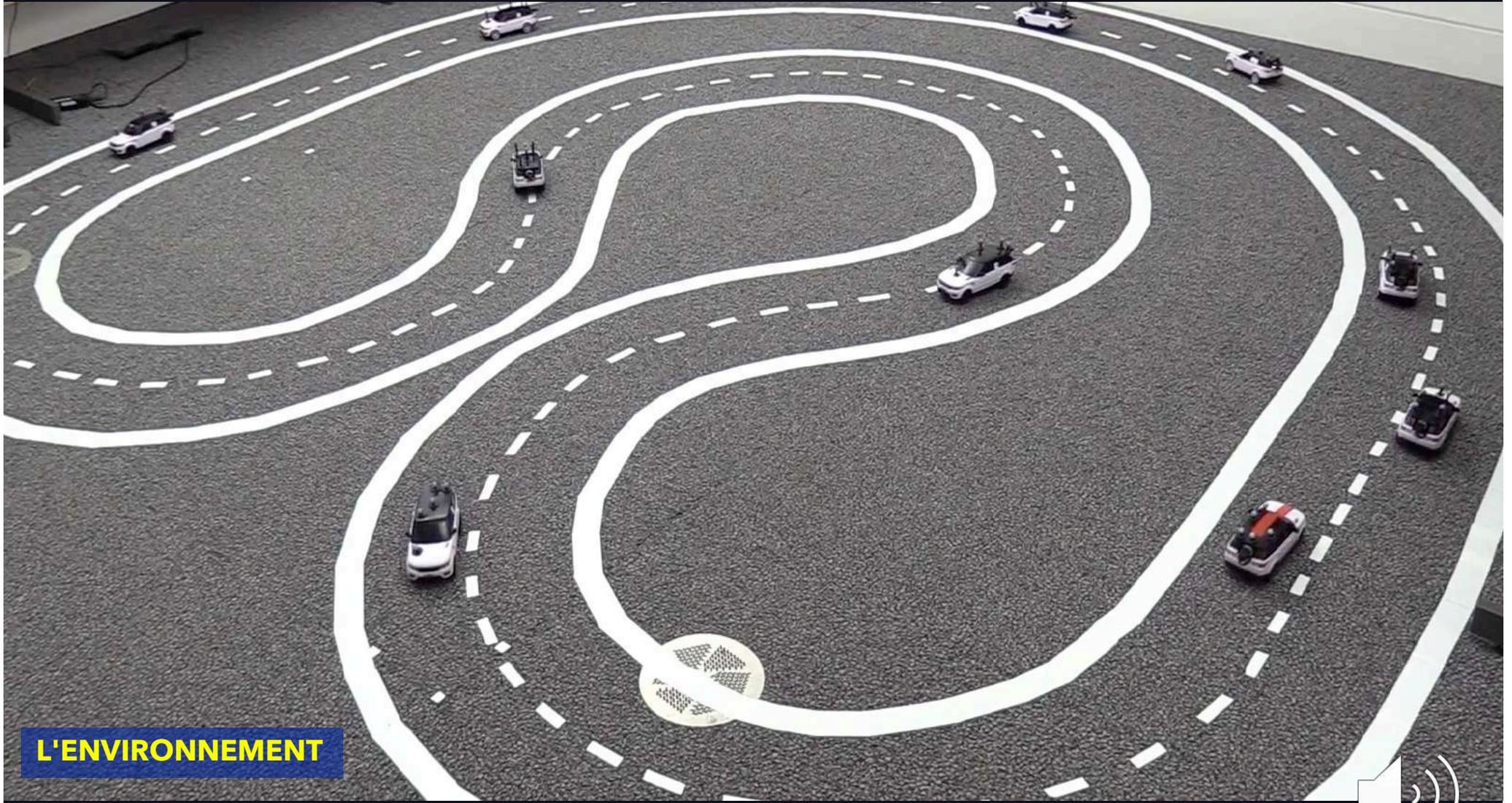


Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents SMA / Principe



Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Illustration du fonctionnement d'un SMA

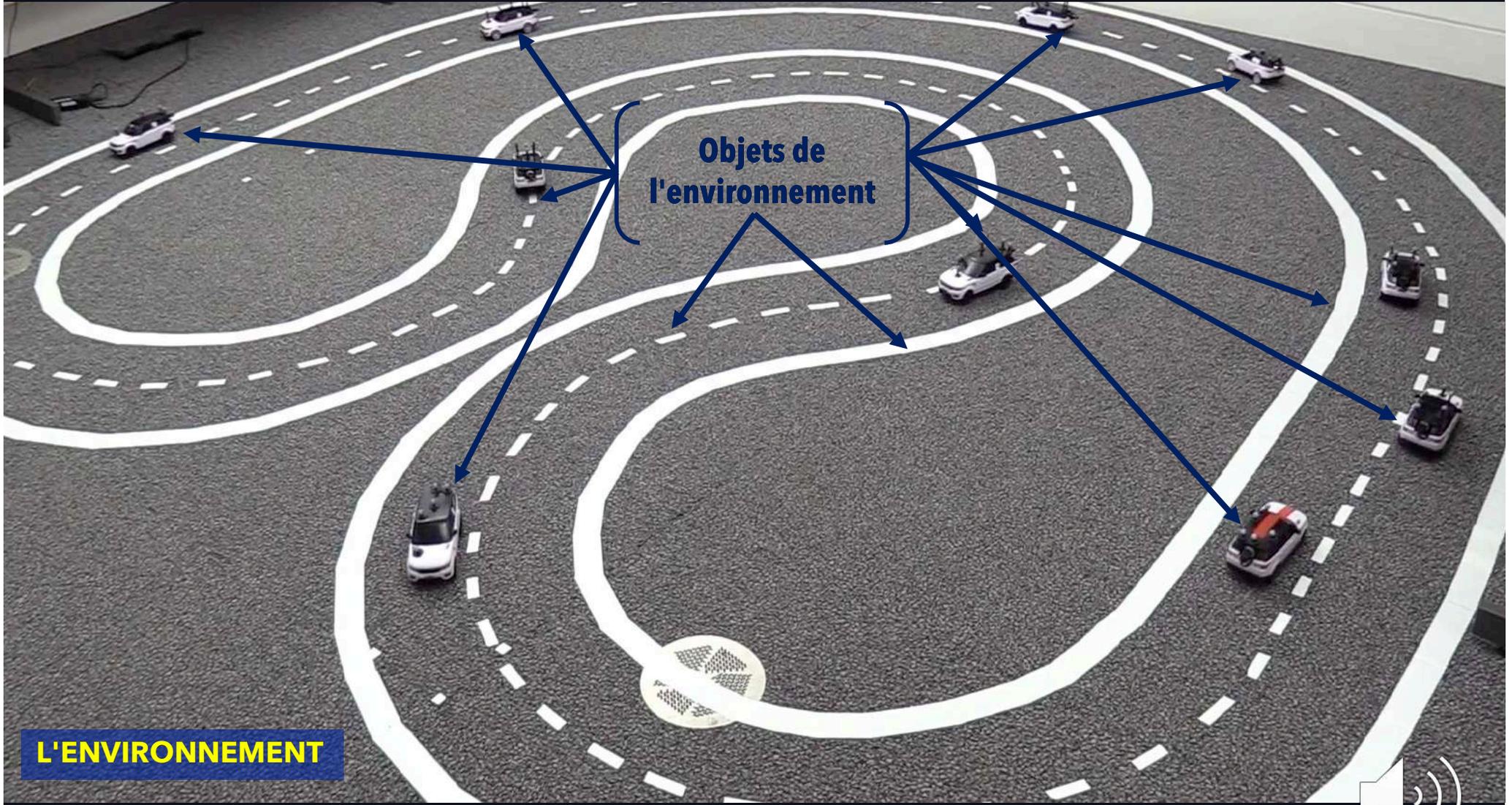


L'ENVIRONNEMENT



Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Illustration du fonctionnement d'un SMA



L'ENVIRONNEMENT

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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Illustration du fonctionnement d'un SMA



Perception

L'ENVIRONNEMENT

Capacités de perception limitées



Un agent est une entité qui perçoit son environnement

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

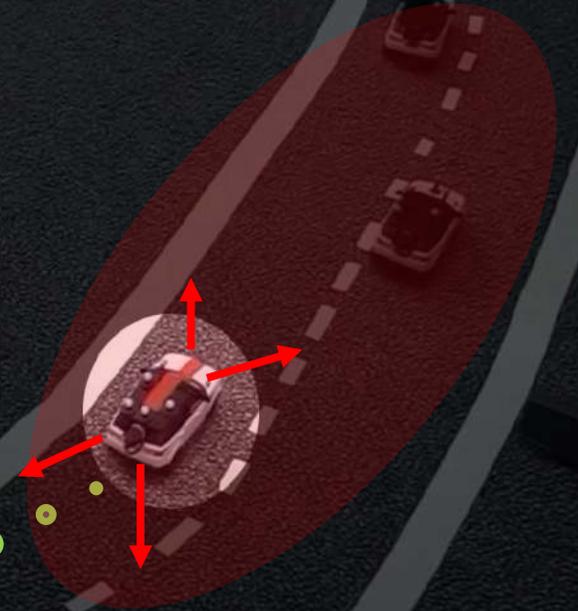
Illustration du fonctionnement d'un SMA

Capacité de représentation plus ou moins évoluée de son environnement

Représentation

Perception

L'ENVIRONNEMENT



Un agent possède des connaissances propres

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Illustration du fonctionnement d'un SMA

Objectifs / Buts

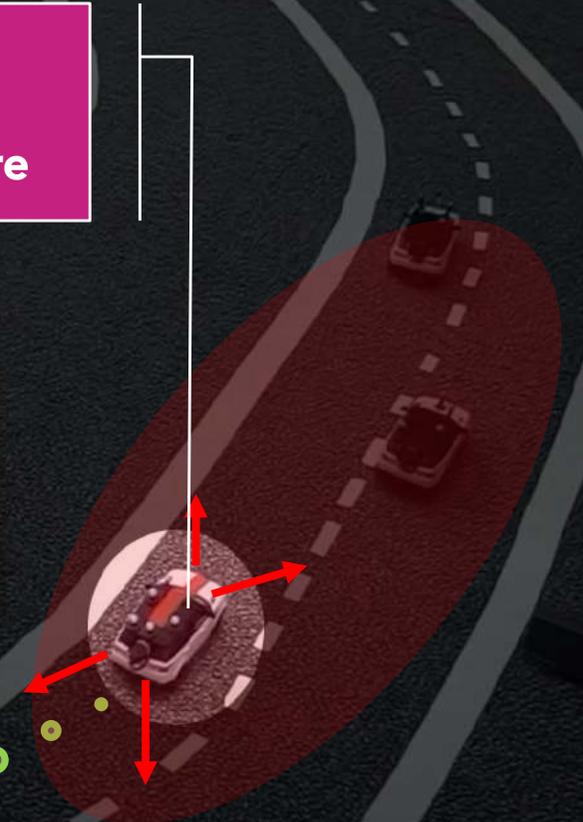
- **Maintenir une trajectoire stable**
- **Optimiser la vitesse et l'accélération**
- **Minimiser le temps passé dans la manœuvre**

Objectifs

Représentation

Perception

L'ENVIRONNEMENT



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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Illustration du fonctionnement d'un SMA

Communication

- Intention de dépassement
- Demande de coopération

Objectifs

Communication

Objectifs

Représentation

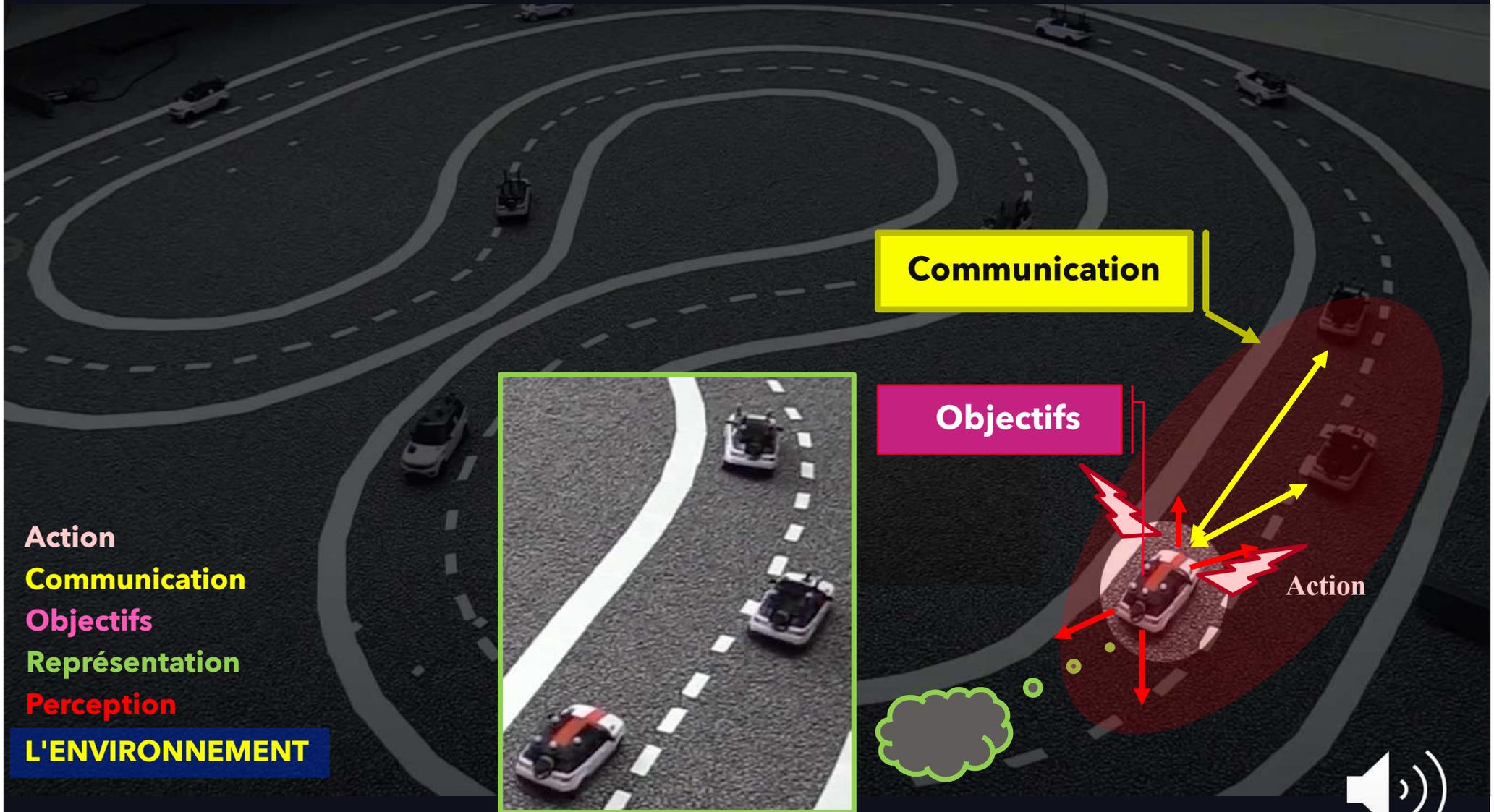
Perception

L'ENVIRONNEMENT

Chaque agent possède des informations ou des capacités de résolution de problèmes limités.

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Illustration du fonctionnement d'un SMA



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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Illustration du fonctionnement d'un SMA



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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Sommaire

Partie 2 : Agents et Systemes Multi-Agents

- La notion d'Agents
- La notion de Systeme 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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Typologie/Agent Réactif

■ 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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

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.
- Les agents réactifs **ne manipulent pas des symboles explicites ou abstraits** pour comprendre ou modéliser leur environnement. Ils répondent directement à leur environnement à travers des stimuli et des réactions automatiques qui ne nécessitent pas de compréhension consciente ou d'interprétation symbolique.
- 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** utilisées pour **représenter des phénomènes observables dans le système**.
- Les systèmes résultants sont simples en charge de traitement et peuvent donner des résultats impressionnants vs l'IA classique (Wooldrige)

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Typologie / Agent Réactif / Résultats

- 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*, **l'émergence** représente alors des structures d'organisations collectives fonctionnelles complexes caractérisant des **phénomènes d'auto-organisation**.
- 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.
- Cette approche a notamment fait ses preuves en éthologie (fourmilière, essaim d'abeilles), animation de foules, simulation de phénomènes naturels, robotique...

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Exemple de SMA Réactifs



Effets spéciaux d'animation de foules

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Typologie / Agent Réactif / Limites

- **Dépendance à l'information locale** : Chaque agent a besoin d'informations locales sur son environnement immédiat pour prendre ses décisions. Ils ne disposent pas d'une vision globale de la situation.
- **Incapacité à planifier** : Les décisions d'un agent réactif ne peuvent pas anticiper les situations à long terme, car ces agents fonctionnent de manière purement réactive, sans planification ou prévision.
- **Difficulté à gérer l'émergence** : La conception de ces systèmes est très complexe, car les phénomènes d'émergence sont difficiles à appréhender et à contrôler dans leur globalité.
- **Complexité dans la modélisation de comportements hiérarchiques** : Construire des agents comportant des couches hiérarchiques de comportements est difficile, car les architectures réactives simples ne supportent pas bien les structures comportementales complexes.

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Typologie / Agent Cognitifs / Définition

■ Agent cognitif

- **Agent plus complexe** qui possède des facultés de mémorisation et de raisonnement logique
- Particulièrement adapté à des problématique telles que la **planification** ou les systèmes nécessitant de la **négociation**
- Il est fréquent qu'un SMA possède un **nombre réduit** d'agents cognitifs utilisant des représentations complexes de connaissances pour agir.

■ Agent basé sur le raisonnement symbolique

- Ces agents utilisent une **représentation symbolique** pour représenter des concepts abstraits, des objets ou des relations du monde. Ces symboles sont combinés en formules selon des règles logiques.
- Ils manipulent ces formules en respectant des **règles formelles** (comme celles de la déduction logique) pour tirer des conclusions.

■ Exemple

- Agent chargé de planifier des trajectoires tout en négociant des priorités avec d'autres agents dans un système de trafic aérien.

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Typologie / Agent cognitifs / Principe

- **Complexité des algorithmes de manipulation symboliques**
Difficulté de concevoir les opérations sur des représentations symboliques de données, souvent en raison de la quantité d'informations à définir les règles logiques à appliquer.
- **Robustesse**
Les décisions prises par les agents cognitifs peuvent être influencées par de nombreux facteurs (perception de l'environnement, réseau social, croyances), ce qui peut rendre leur compréhension difficile et entraîner des difficultés de validation du SMA.
- **Complexité computationnelle**
Dans certains type de systemes (IoT) Les algorithmes de manipulation symbolique peuvent exiger des ressources de calcul importantes, rendant leur mise en œuvre difficile dans des systemes temps réel ou à ressources limitées.
- **Éthique et biais**
Les agents cognitifs peuvent être conduits à négocier et prendre des décisions en autonomie et peuvent reproduire ou amplifier des biais de conception

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Typologie / Agent cognitifs / architecture BDI

Architecture BDI « Belifs, Desires, Intentions »

- Démarche logique : « Practical Reasoning » fondée sur des extensions de la logique.
- Processus de de prise de décision de l'agent :
 1. L'agent met à jour ses **Croyances** : dépilement des boîtes aux lettres de messages et perceptions de l'environnement
 2. L'agent définit ses **Désirs** : états que l'agent souhaite atteindre
 3. L'agent définit ses **Intentions** : choix de certains états à atteindre
 4. L'agent sélectionne les actions à exécuter

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

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

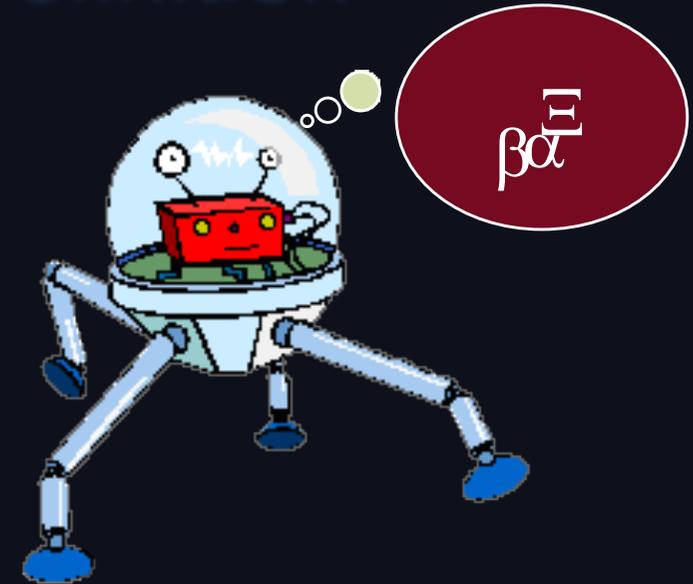
organized agents	colonies
reproducing agents	reprod mécanisms
cooperative agents	recruiting & agregating
coordinated agents	activation/ inhibition
stimulus answer	finite state automata

[Erceau 91]

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents Typologie/Agent Hybride/Définition

Cognitif

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

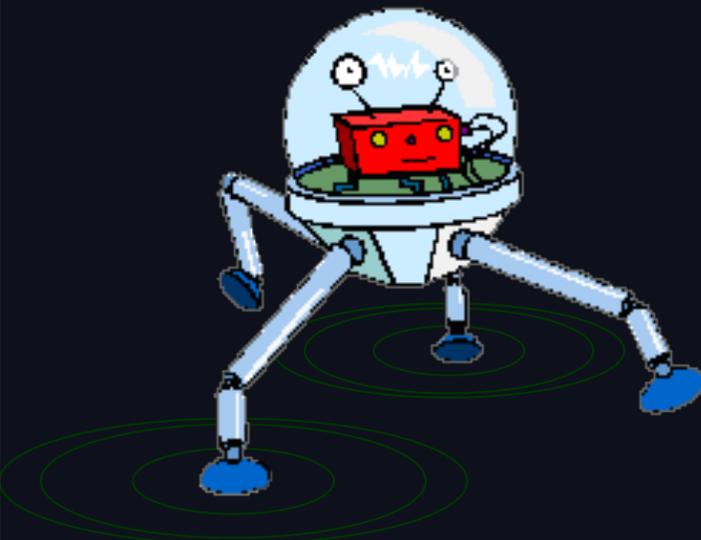


Réactif

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

Hybride = Cognitif + Réactif

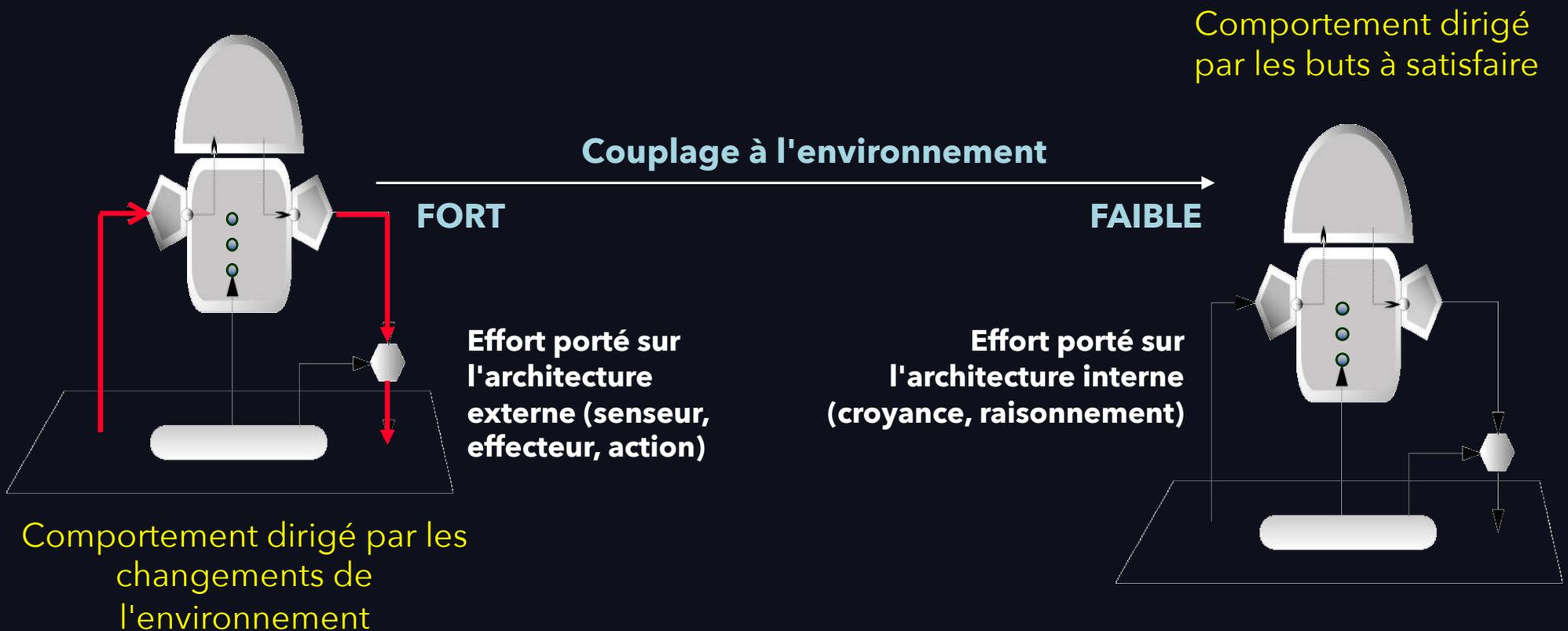
Les deux représentations
Contexte : Divers modèles



Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Typologie/Agent Hybride/Couplage à l'Env.

L'agent quelque soit son type definit une entité possédant une architecture de couplage avec son environnement



Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Sommaire

Partie 2 : Agents et Systemes Multi-Agents

- La notion d'Agents
- La notion de Systeme Multi-Agents
- Typologie d'agents dans un SMA



- Concepts
 - ✓ *Interaction,*
 - ✓ *Schéma d'interactions*
 - ✓ *Langages et protocoles*
 - ✓ *Organisation*
 - ✓ *Environnement*

- Applications
- La simulation multi-agents
- Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA

Cours Systèmes Multi-Agents - Seconde Partie

L'interaction

« **The Key word in MAS**
Is interaction: interaction with an
evolving environment »

C.Castelfranchi

■ Notions de base

- 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

■ Définition

- L'interaction se définit comme toute action de communication qui affecte un agent dans la réalisation de ses objectifs.
- Elle consiste en une mise en relation dynamique d'agents à travers un ensemble d'échanges réciproques dans un environnement commun.
- L'existence d'une interaction se manifeste lorsque la dynamique propre d'un agent est perturbée par les influences des autres agents directement par échanges de message ou indirectement via l'environnement .

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Schémas d'interactions

Les agents interagissent selon des schémas d'interaction

■ La collaboration

- Manière de répartir le travail entre plusieurs agents

■ La coordination

- 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

Modes d'interaction

- Chaque plateforme multi-agents definit des structures de modelisation appropriees permettant de gerer efficacement la complexite des systemes abordes
- Ces structures offrent un ensemble de mecanismes d'interaction entre agents qui doivent etre applicables a la resolution de nombreux problemes.

Modes d'interaction

- coexistence
- coordination
- cooperation
- collaboration
- competition
- emergence

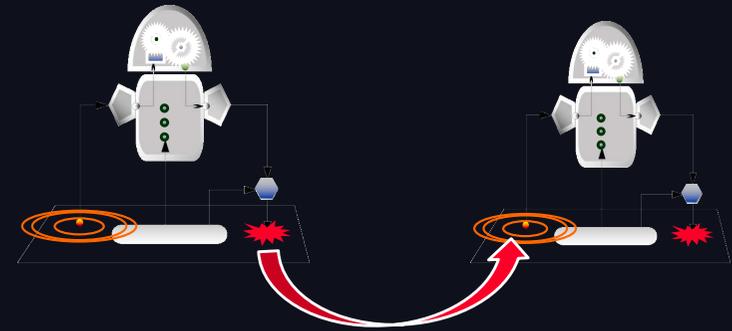
Fonctionnement

- Fonctionnement asynchrone
- Absence de systeme de controle central
- Architecture de donnees distribuees
- Agents aux competences limitees

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

L'interaction indirecte

L'interaction indirecte (ou communication implicite)

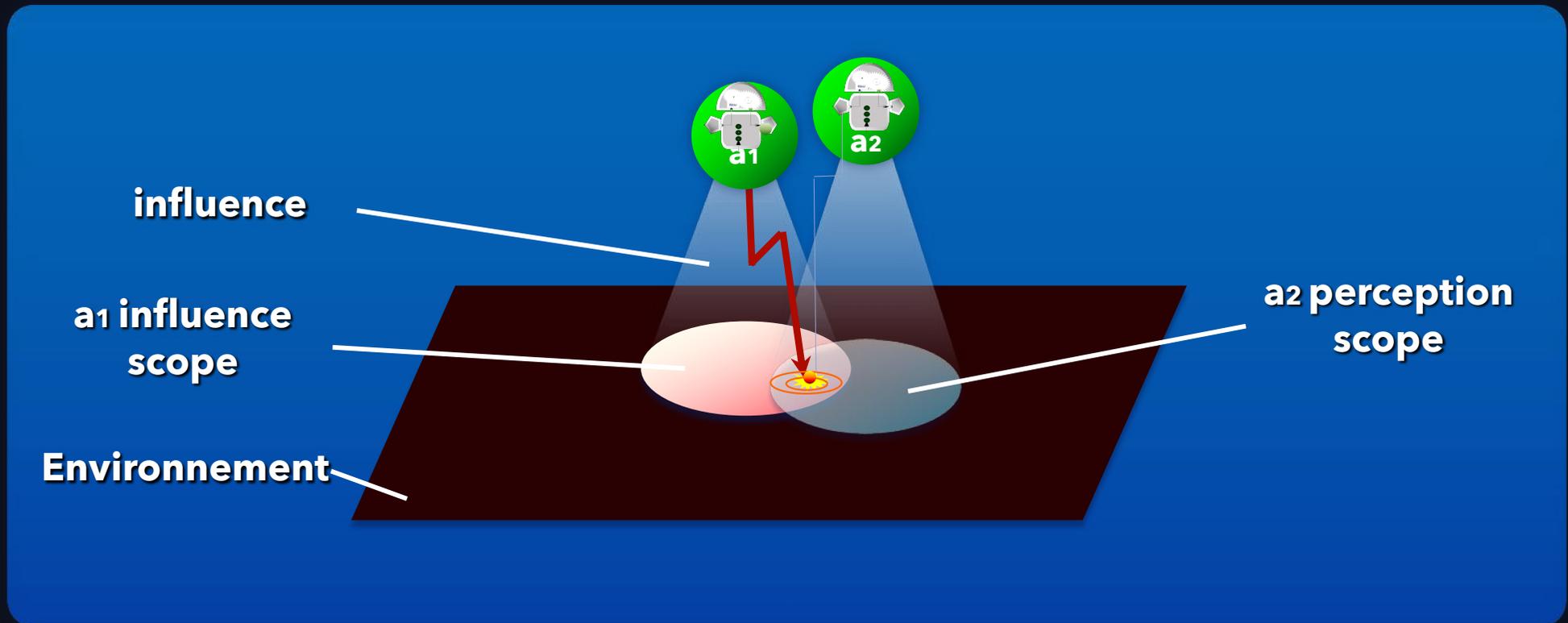


- Ce mode de communication est appelé **Stigmergie**
- Les agents interagissent via des modifications de leur environnement partagé plutôt que par échange de messages directs.
- Concept est inspiré du comportement des insectes sociaux

Exemple : Un agent dépose une "trace" dans l'environnement que d'autres agents peuvent percevoir et utiliser pour adapter leur comportement, comme dans l'optimisation de parcours.

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Le modèle influence perception

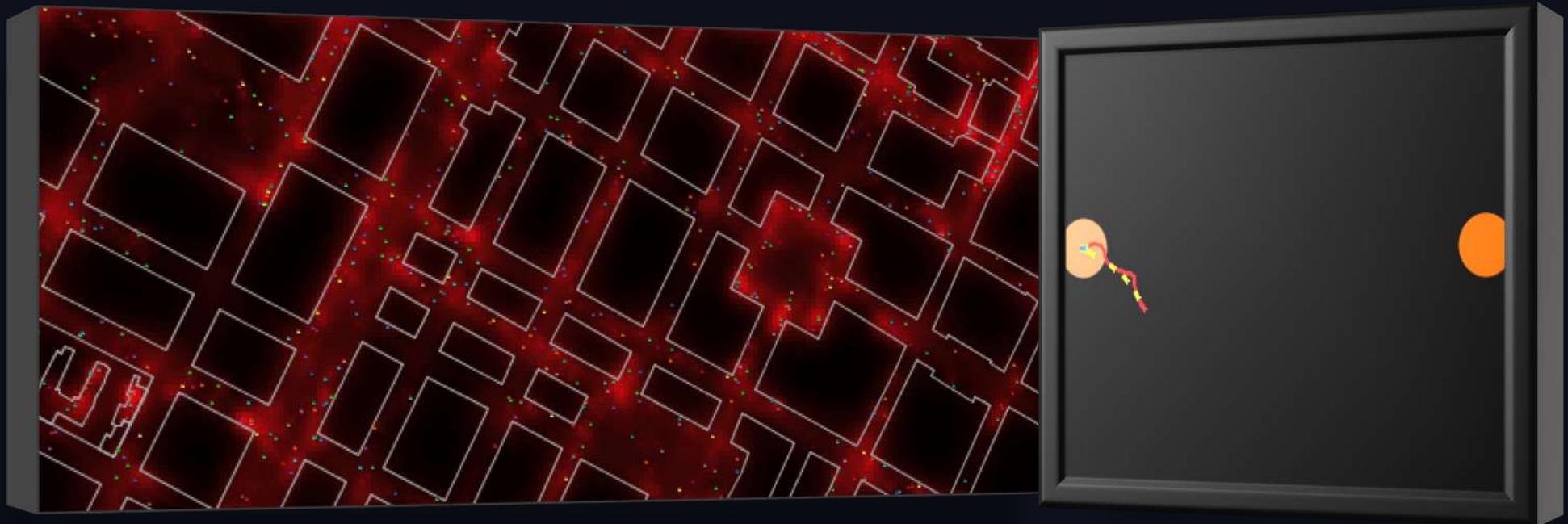


Dans un SMA, chaque agent a un champ de perception et d'influence limité dans son environnement

Multiagent systems concepts & principles

La stigmergie

Recherche de chemin par
trace sur l'environnement



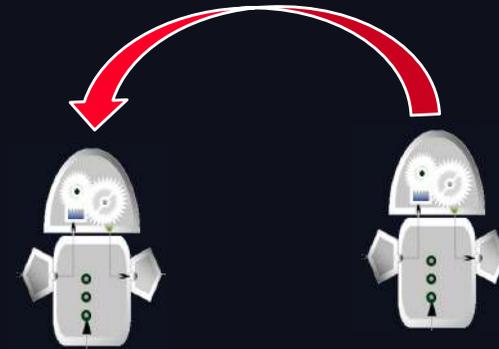
Influence du niveau de pollution
inscrit sur un territoire

La stigmergie désigne un mécanisme de coordination indirecte entre agents ou entre leurs actions, à travers des modifications de l'environnement partagé.

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

L'interaction directe

L'interaction directe (ou communication explicite)

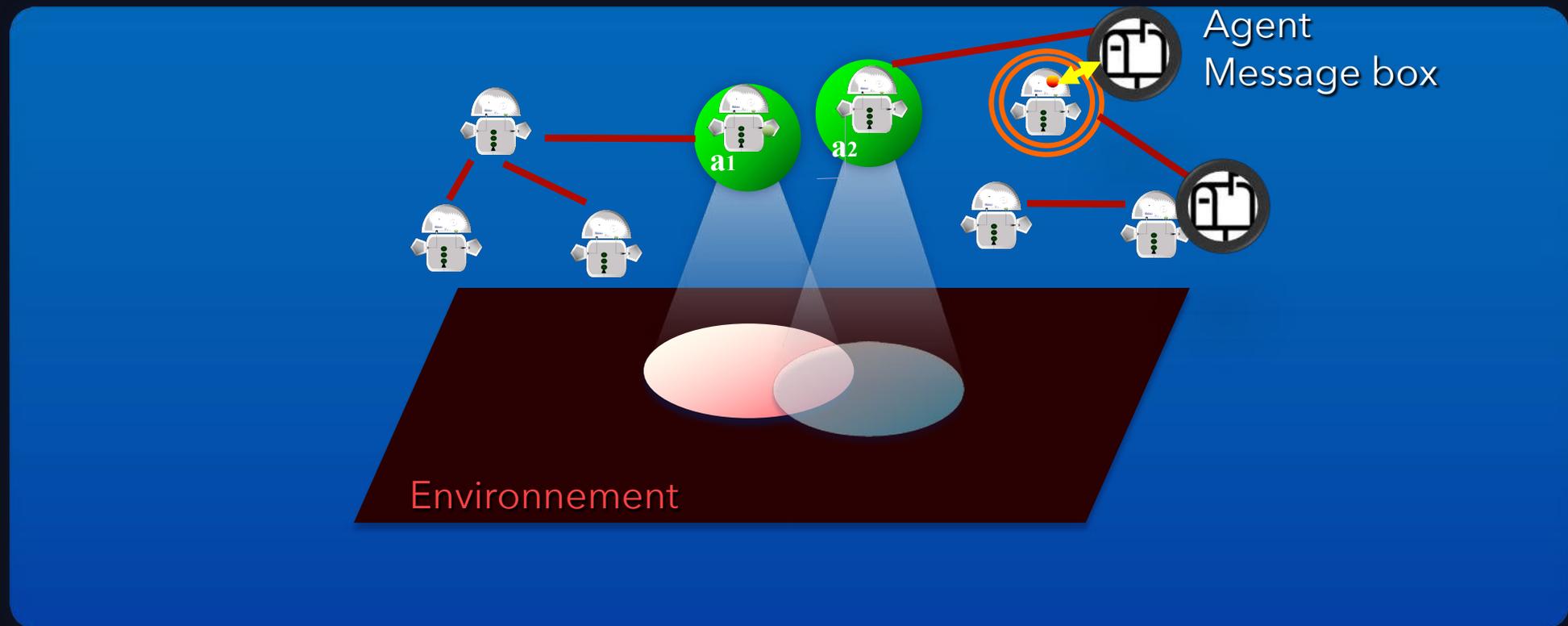


- Les agents communiquent directement en échangeant des messages via des **protocoles** définis, comme le **KQML** ou **FIPA-ACL**.
- Chaque agent envoie et reçoit des messages pour partager des informations ou demander des services.

Exemples : Dans une négociation, un agent envoie une offre et attend une réponse de son partenaire (acceptation, rejet, contre-offre).

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Interaction directe par reseau d'acquaintance



Un reseau d'acquaintance est un reseau dans lequel :

- Les noeuds representent des agents (ou entites, individus).
- Les liens entre ces noeuds indiquent des relations directes entre agents, comme des connaissances, des collaborations ou des interactions possibles.

Multiagent systems concepts & principes

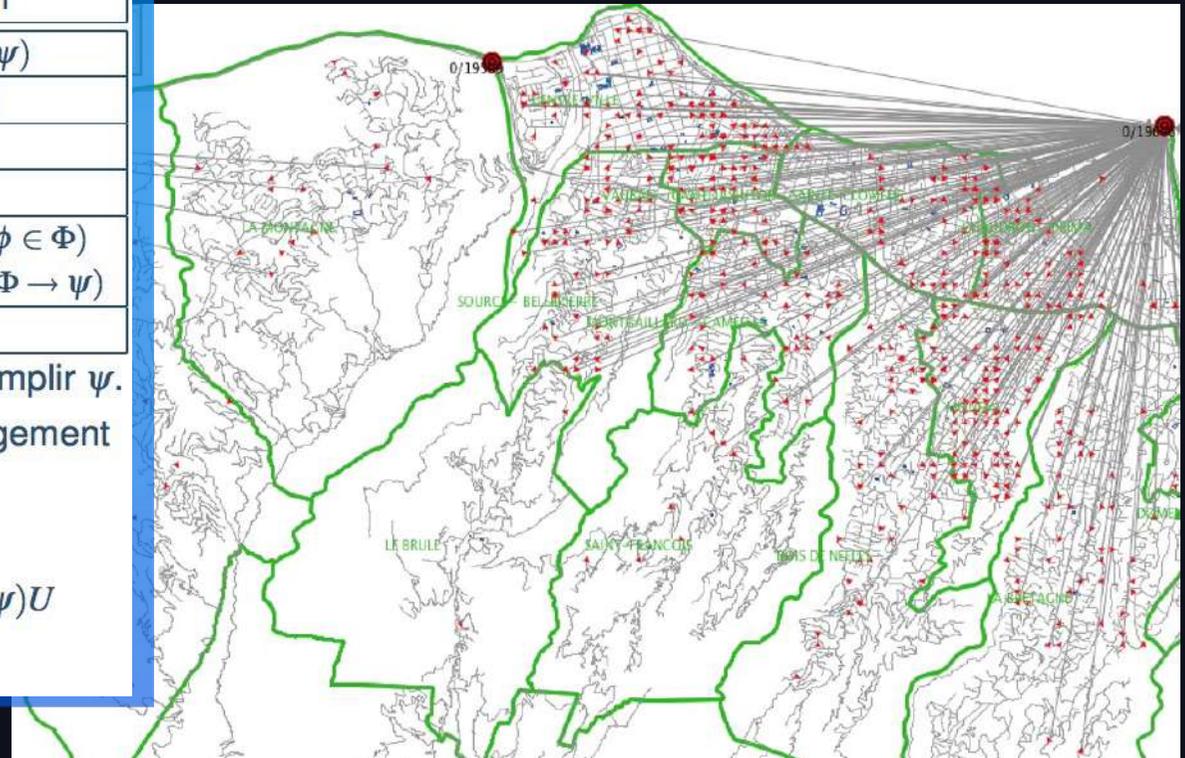
Réseau d'acquaintance

Actes de langage	Attaque	Abdication
$\text{assert}(\psi)$	$\text{challenge}(\psi)$	$\text{concede}(\psi)$
$\text{challenge}(\psi)$	$\text{argue}(\Phi \rightarrow \psi)$	$\text{retract}(\psi)$
$\text{concede}(\psi)$	\emptyset	\emptyset
$\text{retract}(\psi)$	\emptyset	\emptyset
$\text{argue}(\Phi \rightarrow \psi)$	$\text{challenge}(\phi \in \Phi)$ $\text{argue}(\Phi' \rightarrow \psi')$	$\text{concede}(\phi \in \Phi)$ $\text{concede}(\Phi \rightarrow \psi)$
$\text{concede}(\Phi \rightarrow \psi)$	\emptyset	\emptyset

$\text{COMM}(a, b, \psi) = a$ s'engage vis à vis de b à remplir ψ .

engagement aveugle *i.e.* maintenir son engagement jusqu'à réalisation :

$$\text{COMM}(a, b, \psi) \rightarrow \text{inevitable}[\text{COMM}(a, b, \psi) \cup \{\text{BEL}(a, \psi)\}]$$



- Chaque agent dans le réseau possède une "liste d'acquaintances" ou de connexions.
- Lorsqu'un agent a besoin de transmettre des informations ou d'interagir, il le fait uniquement avec les agents figurant dans cette liste en utilisant un protocole défini.
- Ces voisins directs peuvent ensuite propager les informations à leurs propres contacts, permettant une communication étendue à travers le réseau.

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Langages d'interaction agent (ACL)

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** : basée sur le contenu exécutable en utilisant les langages de programmation (Java, C#, Python,...)
 - ✓ **Déclarative** : 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)
 - ✓ **Acte de Langage** : 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 un crayon à une personne, l'acte de langage peut être: « *je te demande ton crayon* » le performatif ici est le verbe demander. Il peut aussi être « *J'exige ton crayon* »; les force illocutoire de ces deux performatifs n'est pas identique.

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Concepts / Langages d'interaction / Exemple

Le Langage KQML

Knowledge Query and Manipulation Language (1993)

Initiative de l'ARPA : projet visant à développer des techniques et des méthodes permettant l'organisation de bases de connaissances à grande échelle, 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

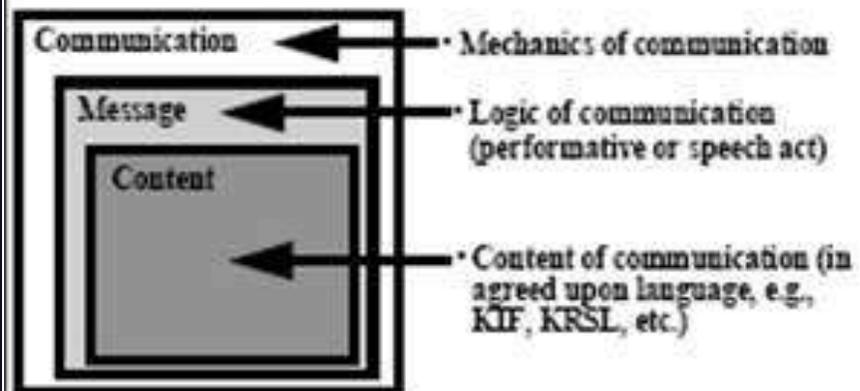


Figure 4 - The KQML language can be viewed as being divided into three layers: the content layer, the message layer and the communication layer.

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Concepts / Langages d'interaction / Exemple

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 :

Performatif [

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

]

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Concepts / Langages d'interaction / Exemple

Performatifs d'interaction KQML (1)

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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Concepts / Langages d'interaction / Exemple

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.
undelete	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.

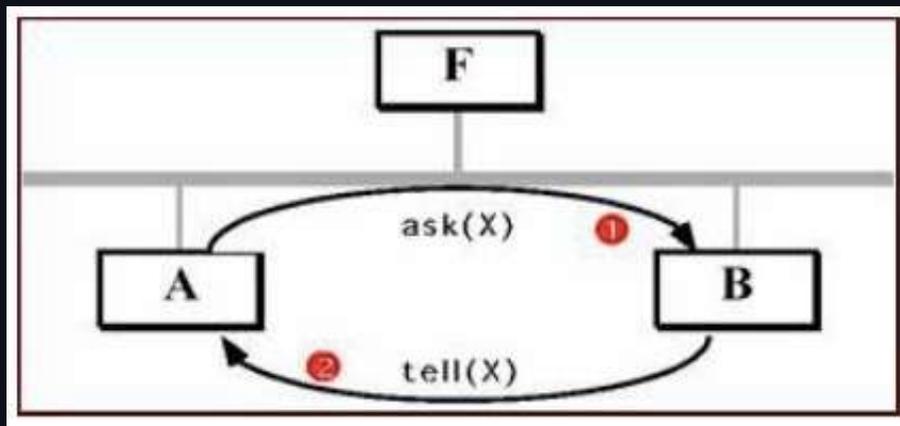
Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Exemple d'ACL : KQML

Exemples de patrons d'interaction KQML (ask , tell, subscribe)

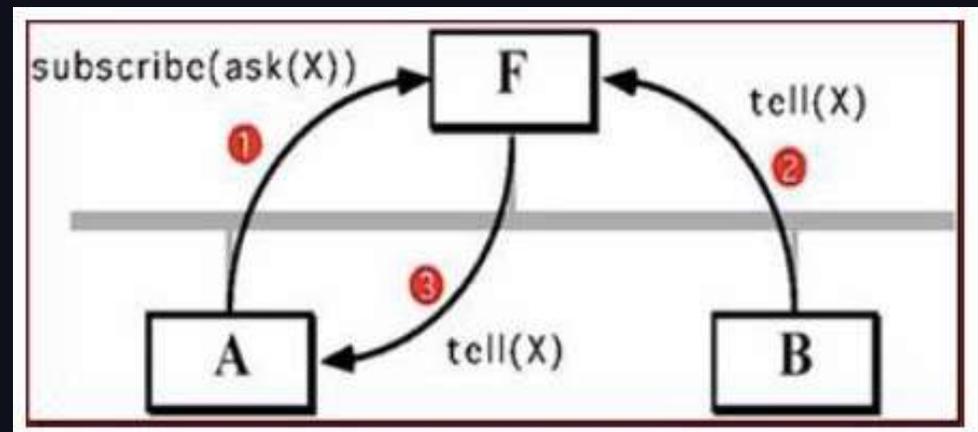
■ ASK ET TELL

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



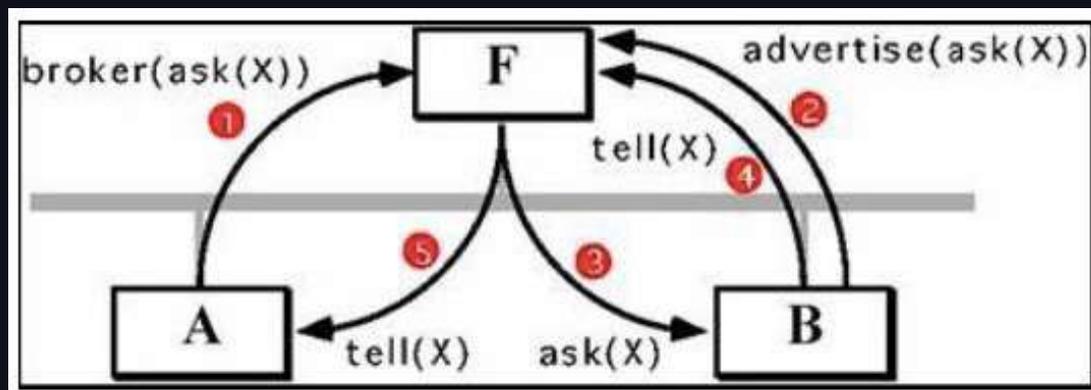
Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Exemple d'ACL : KQML

Exemples de patrons d'interaction KQML (broker , advise, recruit)

■ BROKER ET ADVERTISE

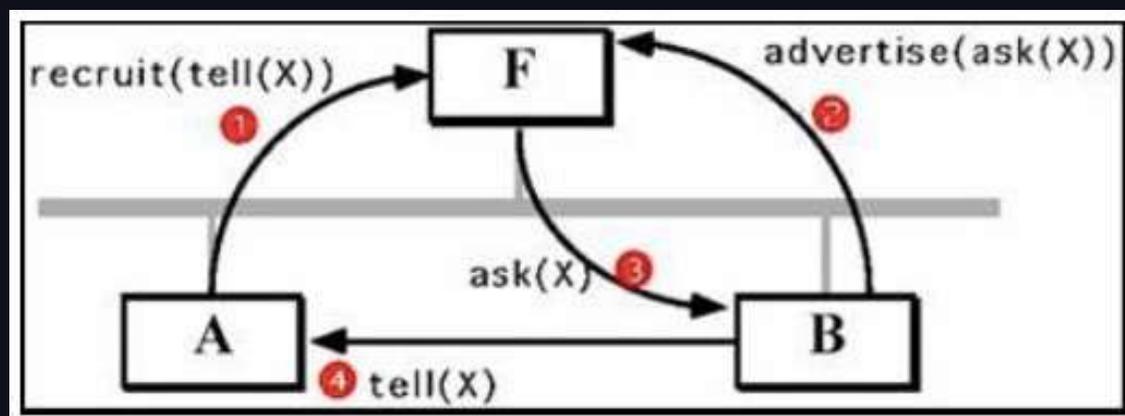
F demande X à un agent B mais est utilisé comme intermédiaire



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

■ RECRUIT

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



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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Exemple d'ACL : FIPA-ACL

Le Langage FIPA-ACL Agent Communication Language

- Initiative du groupe multidisciplinaire FIPA : qui travaillait sur la standardisation de la technologie agent, ce groupe a été intégré dans l'IEEE.
- Le langage FIPA-ACL suit le style de KQML
- Le langage prévoit l'utilisation de protocoles d'interaction. Il existe une bibliothèque de protocoles standards. Voir : <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/SC00061G.html>

Actes FIPA-ACL

Accept Proposal

Agree

Cancel

Call for Proposal

Confirm

Disconfirm

Failure

Inform

Inform If

Inform Ref

Not Understood

Propagate

Propose

Proxy

Query I

Query Ref

Refuse

Reject Proposal

Request

Request When

Request Whenever

Subscribe

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Organisation dans un SMA

une **organisation** est définie comme une structure décrivant la manière dont ses membres sont en relation et interagissent afin d'atteindre un but commun.

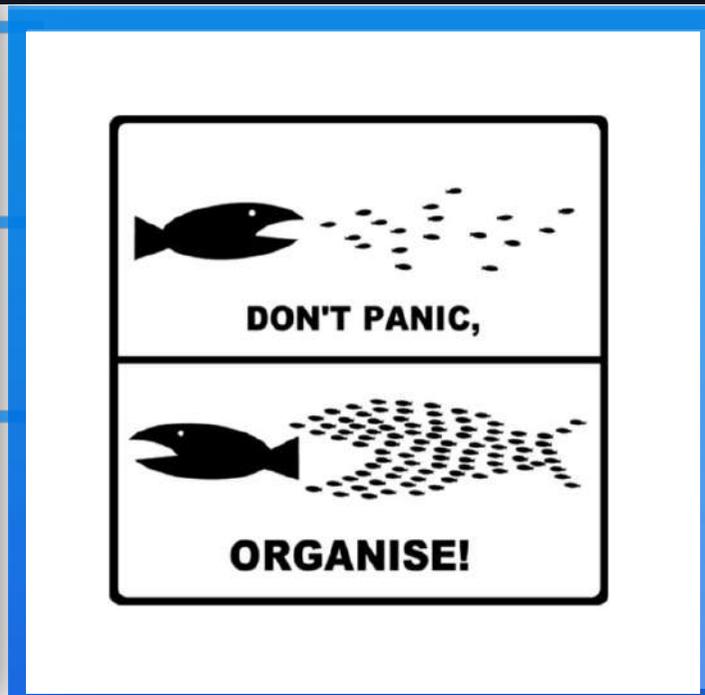
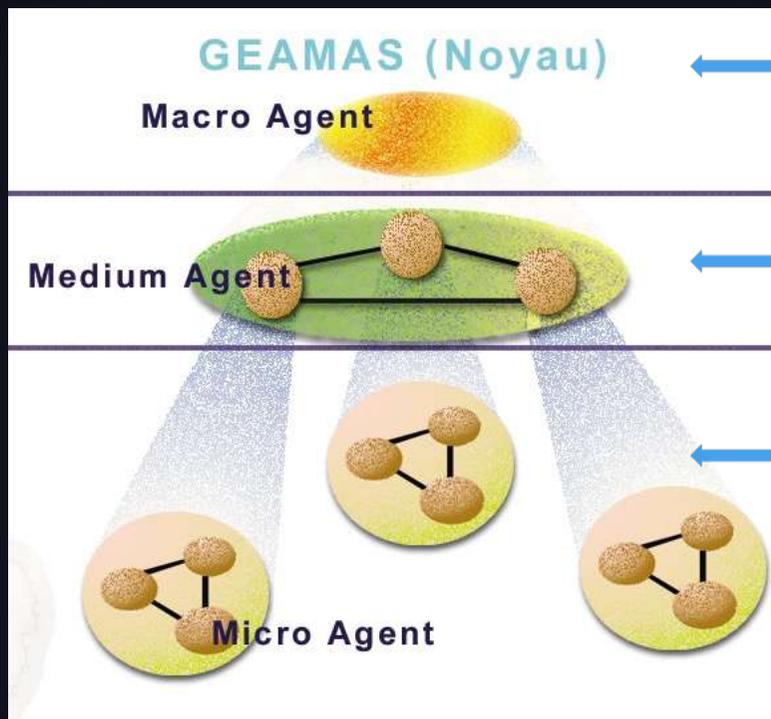
- Niveaux d'organisation des agents
 - ✓ le niveau *micro-social* : interaction entre un petit groupe d'agents
 - ✓ le niveau *groupe* : structure intermédiaire organisée
 - ✓ le niveau *sociétés globales* : dynamique d'un grand nombre d'agents
- Dualité statique/dynamique
 - ✓ Structure statique décrivant les relations entre les membres d'une organisation
 - ✓ Structure dynamique qui considère l'environnement et les agents dans leur mouvement : auto-organisation, émergence.

Multiagent systems concepts & principles

Structure organisationnelle

- Chaque plateforme de simulation définit des structures organisationnelles
- Il n'y a pas de "standard" de schema organisationnel

Il existe de multiples architectures de systèmes multi-agents multi-agents



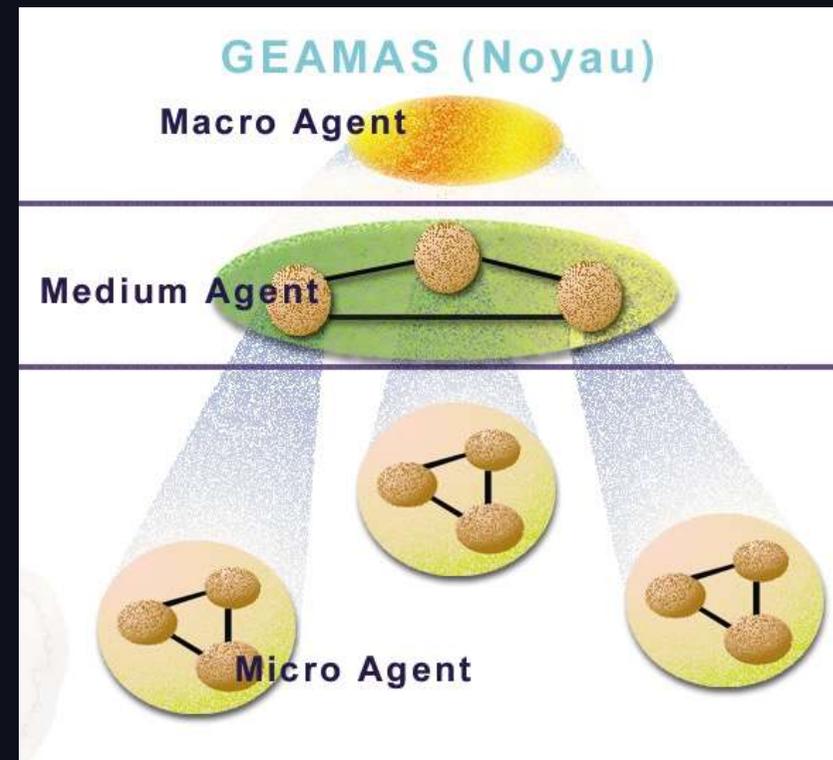
GEneric Architecture for MultiAgent Simulation

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Exemple d'organisation : 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



Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

L'Environnement dans les SMA

Espace commun aux agents d'un SMA, doté d'un ensemble d'objets et de possibilités de perception et d'action

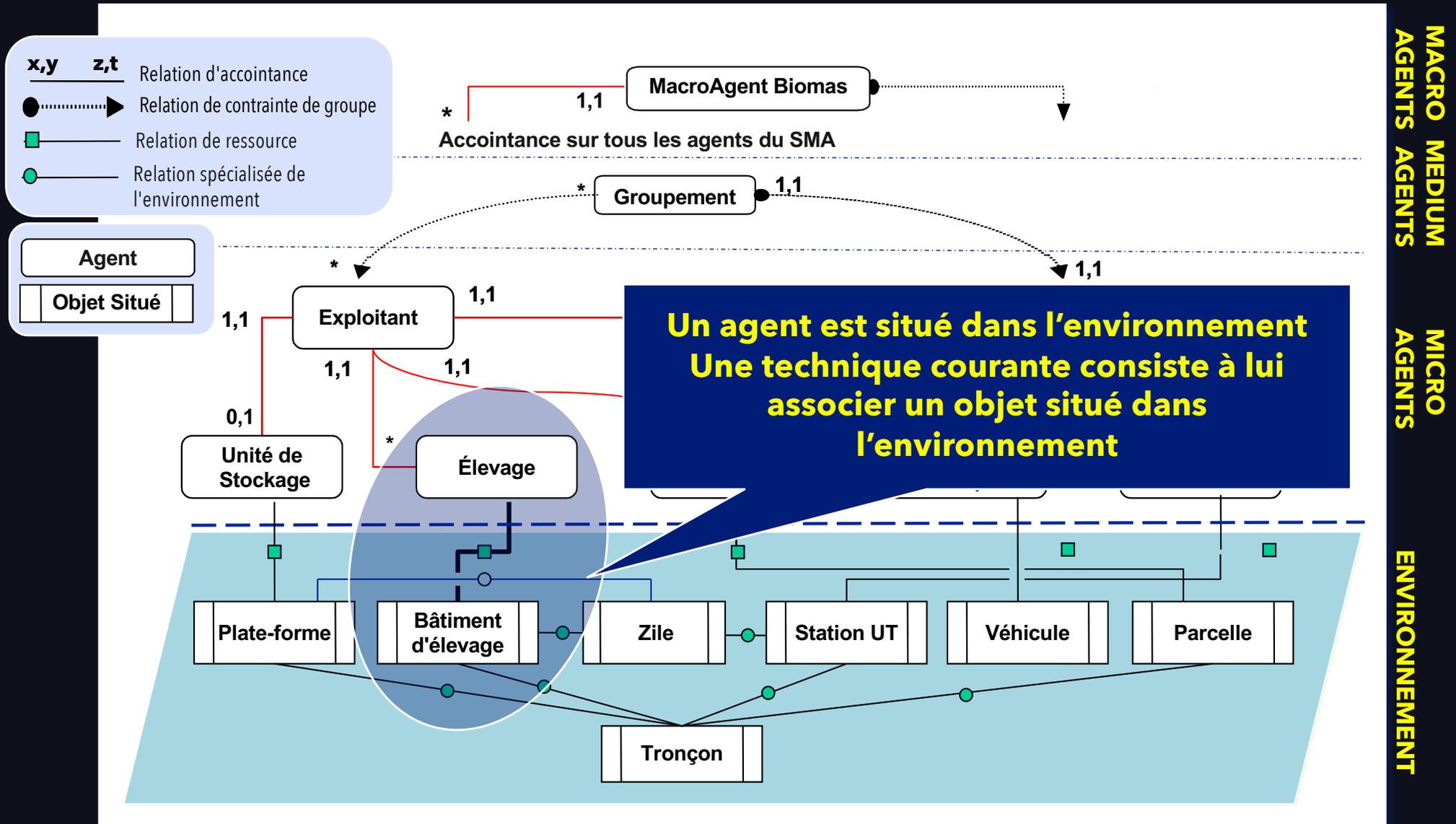
—~—

- 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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Exemple d'Environnement dans le SMA Biomas



Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Sommaire

Partie 2 : Agents et Systemes Multi-Agents

- La notion d'Agents
- La notion de Systeme Multi-Agents
- Typologie d'agents dans un SMA
- Concepts



- Applications
 - ✓ *Domaines d'application des SMA*
 - ✓ *Résolution de problèmes*
 - ✓ *Conception logiciel et Robotique*
 - ✓ *La simulation*

- La simulation multi-agents
- Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Applications / Domaines d'application des SMA

- Les grands 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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Applications / Résolution de problèmes

Les SMA peuvent être particulièrement utiles pour les RDP qui impliquent des situations où la décentralisation, la collaboration, et l'adaptabilité sont cruciales pour trouver des solutions efficaces à des problèmes complexes.

- ✓ *Expertise globale distribuée dans l'ensemble des agents ; le SMA peut être vu comme un ensemble de spécialistes qui coopèrent pour résoudre un pb général (Diagnostic médical, conception d'un produit,...)*
- ✓ *Problème distribué ; Le SMA peut être ici composé d'agents pouvant avoir des compétences semblables : ex. surveillance d'un réseau d'énergie ou la supervision est répartie sur chacun des noeuds.*

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Applications / Conception logiciel et Robotique

■ Logiciels fonctionnant dans un environnement dynamique et incertain

Logiciel pouvant s'adapter à des situations changeantes et devant réagir aux actions des autres agents ou aux événements externes. Chaque agent peut alors être conduit à évoluer (et survivre) dans un architecture distribuée sur les réseaux comme un animale dans un écosystème naturel.

■ Robotique distribuée

Agents concret qui se déplacent dans un env. 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.



Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Applications / La simulation SMA

- La construction de mondes synthétiques
 - Ne simule aucun monde réel, n'utilise pas d'agents physiques
 - Analyse de mécanismes d'interactions entre agents : **compréhension de l'influence d'un ou plusieurs facteurs sur une société d'individus**
 - Industrie audio visuelle : jeux, animation, cinéma,...
- La simulation de systèmes socio-techniques
 - Méthode d'analyse et de modélisation utilisée pour étudier et **comprendre les interactions complexes** entre les composants sociaux et techniques d'un système.
 - Combine des **aspects humains, organisationnels et technologiques** pour explorer les dynamiques, les comportements et les effets émergents dans un système donné.
 - Permet d'**analyser les propriétés de modèles théoriques** du monde environnant : La chimie, la biologie, l'écologie, la géologie, les sciences sociales,...

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Sommaire

Partie 2 : Agents et Systemes Multi-Agents

- La notion d'Agents
- La notion de Systeme Multi-Agents
- Typologie d'agents dans un SMA
- Concepts
- Applications



- La simulation multi-agents
 - ✓ *Intérêt*
 - ✓ *Principe*
 - ✓ *Exemple*

- Principaux thèmes de recherches & manifestations SMA

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

La simulation multi-agents / Intérêt

■ Les modèles de simulation mathématiques classiques

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

■ Limites

- **Complexité du monde réel** : Ils peinent à capturer les comportements complexes et imprévisibles des systèmes réels, surtout lorsqu'il y a de nombreuses entités interagissant de manière non linéaire.
- **Hypothèses simplificatrices** : Ils reposent souvent sur des hypothèses idéalisées (homogénéité, linéarité) qui peuvent ne pas correspondre à la réalité, notamment pour les environnements hétérogènes ou dynamiques.
- **Rigidité** : Ils sont statiques dans leur structure, ce qui rend difficile l'intégration d'agents aux comportements adaptatifs ou l'ajout de nouvelles dynamiques pendant la simulation.
- **Incapacité à modéliser des interactions locales** : Ils se concentrent sur des lois globales ou des tendances moyennes, négligeant souvent les interactions locales entre entités....

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

La simulation multi-agents / Intérêt

En simulation, les systemes multi-agents se distinguent de ces modèles par les propriétés suivantes :

- **Modélisation des interactions locales** : Les SMA permettent de simuler des entités individuelles (agents) interagissant de manière décentralisée, capturant ainsi les dynamiques locales et émergentes qui échappent aux modèles globaux.
- **Adaptabilité** : Chaque agent peut avoir son propre comportement et s'adapter en fonction de son environnement, ce qui rend le modèle flexible face aux changements de contexte.
- **Emergence** : Contrairement aux modèles basés sur des équations différentielles qui décrivent directement les dynamiques globales, les SMA permettent de voir des comportements émerger de l'interaction de simples règles locales, souvent plus réalistes.
- **Hétérogénéité des entités** : Les SMA gèrent naturellement des systemes où les agents sont hétérogènes, avec des objectifs, des comportements et des capacités variés.

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

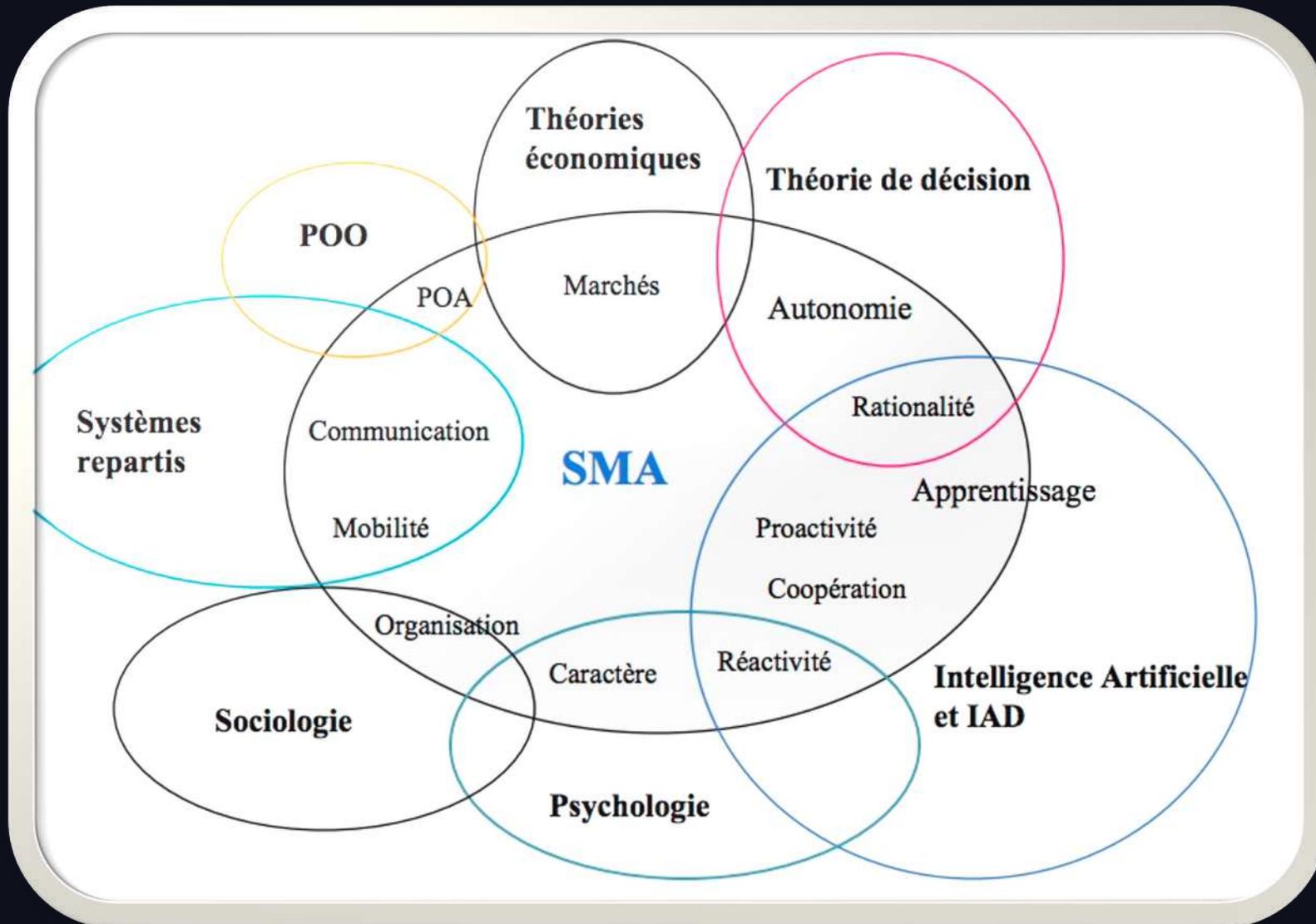
La simulation multi-agents / Principes

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 des agents
 - compétences, capacités
 - états, ressources
- ✓ Représentation des interactions
 - graphe d'acointances d'agents
 - Loi de propagation des signaux de l'environnement
 - Loi de sensibilité aux signaux de l'environnement
- ✓ Représentation du milieu spatio-temporel
 - Agents et objets situés dans l'environnement
 - métriques associés à l'environnement

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Liens des SMA avec d'autres disciplines



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

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Sommaire

Partie 2 : Agents et Systemes Multi-Agents

- La notion d'Agents
 - La notion de Systeme Multi-Agents
 - Typologie d'agents dans un SMA
 - Concepts
 - Applications
 - La simulation multi-agents
- 
- Principaux outils logiciels et manifestations scientifiques

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Principaux outils logiciels

- [NetLogo](#) : Un environnement de modélisation multi-agents et de simulation
- [JADE](#) : Un framework pour le développement d'applications multi-agents
- [Jason](#) : Un langage de programmation dédié aux systèmes multi-agents
- [GAMA](#) : Un environnement de modélisation multi-agents pour la simulation de systèmes complexes
- [Repast](#) : Un toolkit pour la modélisation et la simulation de systèmes complexes
- [MASON](#) : Une plateforme de modélisation multi-agents pour la simulation de systèmes complexes
- [MASSIVE](#) : Effets visuels et l'animation autonome de personnages dans des foules.
- [AnyLogic](#) : Un environnement de modélisation multi-méthodes pour la simulation de systèmes complexes
- [SKUAD](#) : Software Kit for Ubiquitous Agent Development pour créer des systèmes multi-agents ambiants et omniprésents
- ...

Systemes Collectifs Adaptatifs et Systemes Multi-Agents

Principales manifestations scientifiques

- **AAMAS (Autonomous Agents and Multi-Agent Systems)** : C'est la conférence la plus prestigieuse et la plus internationale dans le domaine, attirant des chercheurs du monde entier.
- **ICMAS (International Conference on Multi-Agent Systems)** : Bien qu'elle soit maintenant fusionnée avec AAMAS, ICMAS reste une référence historique dans le domaine.
- **SAB (Simulation of Adaptive Behavior)** Cette conférence est également reconnue internationalement, mais elle est davantage centrée sur la simulation comportementale, touchant des domaines comme la robotique et la biologie.
- **PRIMA (Pacific Rim International Conference on Multi-Agents)** : Cette conférence est bien reconnue dans la région Asie-Pacifique, mais son rayonnement est globalement moins important que celui d'AAMAS ou ICMAS.
- **EUMAS (European Workshop on Multi-Agent Systems)** Reconnu principalement en Europe, cet atelier est une plateforme d'échange pour les chercheurs européens. Il a un bon rayonnement régional mais moins de portée internationale.
- **ATAL (International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages)** : Cet atelier se concentre sur les aspects théoriques et techniques des agents et systèmes multi-agents, avec un public spécialisé, mais il est moins internationalement visible que les conférences comme AAMAS.
- **JFSMA (Journées Francophones sur les Systemes Multi-Agents)** : C'est un événement clé pour la communauté francophone, mais avec un rayonnement essentiellement limité aux pays francophones.
- ...

Voir aussi : [Agents' World](http://www-lipn.univ-paris13.fr/AgentsWorld) : <http://www-lipn.univ-paris13.fr/AgentsWorld>