

La thématique des Systèmes Multi-Agents (SMA) est actuellement un champ de recherche très actif pour de nombreux types d'applications. Sa particularité provient de sa connexion avec plusieurs domaines de recherche comme l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) et la Vie Artificielle (VA). C'est une discipline qui s'intéresse aux comportements collectifs produits par les interactions de plusieurs entités autonomes appelées agents. Dans ce chapitre, nous allons exposer l'essentiel des concepts utilisés dans le domaine des SMA.

1. Notion d'agent :

Le concept d'agent a été l'objet d'études pour plusieurs décennies dans différentes disciplines. Il a été non seulement utilisé dans les systèmes à base de connaissances, la robotique, le langage naturel et d'autres domaines de l'intelligence artificielle, mais aussi dans des disciplines comme la philosophie et la psychologie. Aujourd'hui, avec l'avènement de nouvelles technologies et l'expansion de l'Internet, ce concept est encore associé à plusieurs nouvelles applications comme agent ressource, agent courtier, assistant personnel, agent interface, agent ontologique, etc. [CHA03]

1.1. Définitions :

Dans la littérature, nous trouvons plusieurs définitions du concept d'Agent. Elles présentent certaines similitudes et dépendent du type d'application pour laquelle est conçu l'agent (Ferber, 1995; Jennings et al., 1998). Les définitions respectives de Ferber et de Jennings et al. sont généralement les plus communément utilisées au sein de la communauté Multi-Agents:

- **Définition 1:** (Ferber, 1995) Un agent est une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui dans un univers Multi-Agents, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances et des interactions avec les autres agents.

- **Définition 2:** (Jennings et al. 1998) Un agent est un système informatique, situé dans un environnement, et qui agit d'une façon autonome et flexible pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu. [RIC11]

Les notions « Situé », « Autonome » et « Flexible » sont définies comme suit :

✚ **Situé:** l'agent est capable d'agir sur son environnement à partir des entrées sensorielles qu'il reçoit de ce même environnement. Exemples : systèmes de contrôle de processus, systèmes embarqués, etc.

✚ **Autonome:** signifie que l'agent est capable d'agir sans l'intervention directe d'un humain (ou d'un autre agent) et qu'il a le contrôle de ses actions et de son état interne.

✚ **Flexible :** signifie que l'agent est :

- *Capable de répondre à temps:* l'agent doit être capable de percevoir son environnement et élaborer une réponse dans les temps requis.
- *Proactif :* l'agent doit exhiber un comportement proactif et opportuniste, tout en étant capable de prendre l'initiative au "bon" moment.
- *Social:* l'agent doit être capable d'interagir avec les autres agents (logiciels et humains) quand la situation l'exige afin de compléter ses tâches ou aider ces agents à accomplir les leurs.

Les agents peuvent être classés selon leurs degrés d'autonomie, de coopération et d'adaptation. [CHA03]

Un agent évolue toujours selon un cycle en trois étapes :

- **Perception :** ses capteurs lui fournissent une vision locale de son environnement.
- **Décision :** suivant ses intentions, son état interne et sa perception, l'agent choisit une action à effectuer ;
- **Action:** il modifie l'environnement par son action. [RIC11]

1.2. Définition de l'environnement :

L'environnement est l'endroit d'immersion dans lequel évoluent les agents. On distingue le plus souvent deux sortes : *l'environnement social* qui est composé des autres agents du système et *l'environnement physique* au sein duquel les agents évoluent. Un agent peut se placer dans l'un et/ou dans l'autre. L'environnement physique dépend largement de l'application traitée alors que l'environnement social dépend souvent des choix de conception des SMA. L'environnement est défini comme suit :

Définition (Weyns and Holvoet, 2007) L'environnement est une première classe d'abstraction fournissant les conditions environnementales aux agents pour exister et sert d'intermédiaire pour les interactions entre les agents ainsi que pour l'accès aux ressources. Voici les propriétés essentielles de l'environnement :

- *accessible/inaccessible* : le système peut obtenir une information complète, exacte et à jour sur l'état de son environnement. Dans un environnement inaccessible, une information partielle est uniquement disponible.
- *déterministe/non déterministe* : une action à un effet unique et certain. Si le système agit dans son environnement, il n'y a aucune incertitude sur l'effet de son action sur l'état de l'environnement. L'état suivant de l'environnement est complètement déterminé par l'état courant. Dans un environnement non déterministe, une action n'a pas un effet unique et garanti.
- *dynamique/statique*: l'état de l'environnement dynamique ne dépend pas uniquement des actions du système qui se trouve dans cet environnement, mais aussi des actions d'autres processus. Ainsi, les changements ne peuvent pas être prédits par le système. Un environnement statique ne peut changer sans que le système agisse.
- *continu/discret*: le nombre d'actions et de perceptions possibles dans cet environnement est infini et indénombrable. Dans le cas discret, l'environnement est défini par un nombre d'états fini et selon un découpage régulier tel qu'une grille. [RIC11]

1.3. Les types d'agents :

Nous distinguons deux grandes familles d'agents : les *agents cognitifs* et les *agents réactifs*.

1.3.1. Les agents cognitifs :

Les agents cognitifs disposent d'une base de connaissances comprenant l'ensemble des informations disponibles et un raisonnement nécessaire à la réalisation de leurs tâches ainsi qu'à la gestion des interactions avec les autres agents et avec l'environnement. De plus, ils possèdent des buts et des plans pour décider de leurs actions. Les groupes d'agents peuvent coordonner leurs activités et négocier entre eux pour résoudre leurs conflits. Ces comportements peuvent être assimilés à des comportements sociaux et les recherches dans ce domaine s'appuient sur les travaux de sociologie des organisations des groupes d'individus (Ferber, 1995). [RIC11]

1.3.1.1. Agents BDI :

L'architecture BDI est une autre approche utilisée dans la conception des agents cognitifs. BDI est un acronyme qui signifie, en anglais, *Belief, Desire, Intentions*. Ce qui se traduit en français par croyances, désirs et intentions. Les agents se basent donc sur ces trois aspects pour choisir leurs actions.

On peut définir ces trois notions comme suit :

- *Les croyances* : ce sont les informations que l'agent possède à propos du monde qui l'entoure.
- *L'intention* : c'est une attitude orientée vers l'action : elle va conduire l'agent à chercher les moyens et à mener des actions pour satisfaire cette intention. Si l'agent a pour but, entre autres, de satisfaire d'autres agents, il pourra prendre si on le lui demande, des engagements vis-à-vis des demandeurs sur l'exécution d'une tâche.
- *Le désir* : c'est une attitude voisine de l'intention. Cependant, sa durée de validité est plus courte. Le désir par opposition à l'intention est une attitude

changeante à court terme. De plus, le désir n'engage pas l'agent à l'action : mais sous certaines conditions, le désir peut devenir intention. [CHA10]

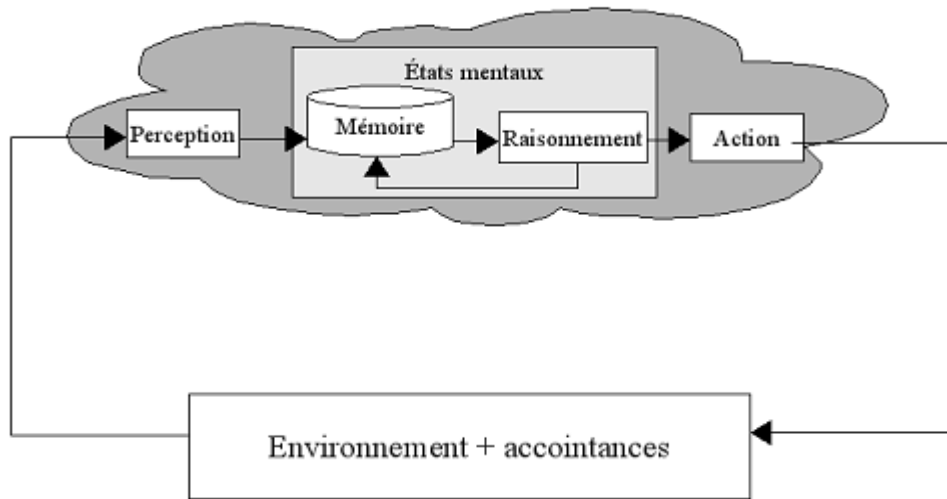


Fig. 4.1 : Agent cognitif. [CHA10]

1.4. Les agents réactifs:

Comme son nom l'indique, un agent réactif ne fait que réagir aux changements qui surviennent dans l'environnement. Autrement dit, un tel agent ne fait ni délibération ni planification, il se contente simplement d'acquérir des perceptions et de réagir à celles-ci en appliquant certaines règles prédéfinies. Étant donné qu'il n'y a pratiquement pas de raisonnement, ces agents peuvent agir et réagir très rapidement.

Il convient de remarquer que les humains aussi utilisent cette manière d'agir. Dans plusieurs situations, il est souvent préférable de ne pas penser et de réagir immédiatement. Par exemple, lorsqu'une personne met la main sur une plaque très chaude, elle ne commence pas à se demander si c'est chaud, si ça fait mal et s'il faut ou non qu'elle retire sa main. Dans ce cas, elle retire sa main immédiatement, sans réfléchir, et c'est cette rapidité de réaction qui lui permet de diminuer les blessures. Cet exemple montre bien que ce type de comportement réflexe est essentiel pour les êtres humains. De la même manière, il est aussi essentiel pour les agents s'ils veulent pouvoir agir dans le monde réel.

Les deux sous-sections suivantes décrivent deux modèles qui peuvent servir à la conception d'agents réactifs. [CHA08]

1.4.1. Agents à réflexes simples :

Ce type d'agent agit uniquement en se basant sur ses perceptions courantes. Il utilise un ensemble de règles prédéfinies, du type **Si** condition **alors** action, pour choisir ses actions.

Comme on peut le constater, ces règles permettent d'avoir un lien direct entre les perceptions de l'agent et ses actions. Le comportement de l'agent est donc très rapide, mais peu réfléchi. À chaque fois, l'agent ne fait qu'exécuter l'action correspondant à la règle activée par ses perceptions.

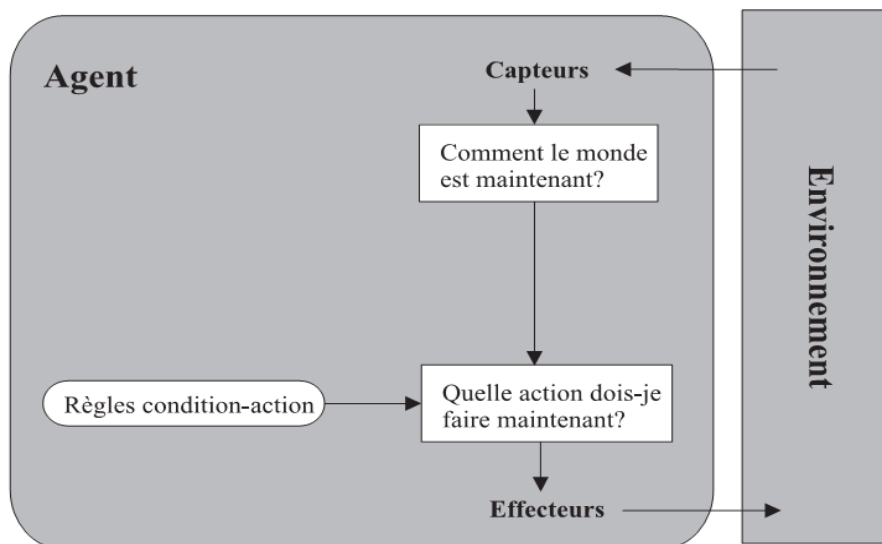


Fig.4.2. Schéma d'un agent à réflexes simples [CHA08]

La figure montre l'architecture d'un agent à réflexes simples. Les rectangles représentent l'état interne de l'agent dans son processus de décision et les ovales représentent les informations qui sont utilisées dans le processus. L'agent se bâtit une représentation du monde à l'aide de ses perceptions lui venant de ses capteurs. Par la suite, il utilise ses règles pour choisir l'action qu'il doit effectuer selon ce qu'il perçoit de l'environnement. [CHA08]

1.4.2. Agents conservant une trace du monde :

Le type d'agent qui a été décrit précédemment, ne peut fonctionner que si un tel agent peut choisir ses actions en se basant uniquement sur sa perception actuelle. Par exemple, si le radar de la frégate détecte un missile et que l'instant d'après, il le perd de vue, dû à un obstacle, cela ne signifie nullement qu'il n'y a plus de missile. Dès lors, l'agent en charge du contrôle de la frégate doit tenir compte de ce missile dans le choix de ses actions et ce, même si le radar ne détecte plus le missile.

Le problème que nous venons de mentionner survient parce que les capteurs de l'agent ne fournissent pas une vue complète du monde. Pour régler ce problème, l'agent doit maintenir des informations internes sur l'état du monde dans le but d'être capable de distinguer deux situations qui ont des perceptions identiques, mais qui, en réalité, sont différentes. L'agent doit pouvoir faire la différence entre un état où il n'y a pas de missile et un état où le missile est caché, même si ses capteurs lui fournissent exactement les mêmes informations dans les deux cas.

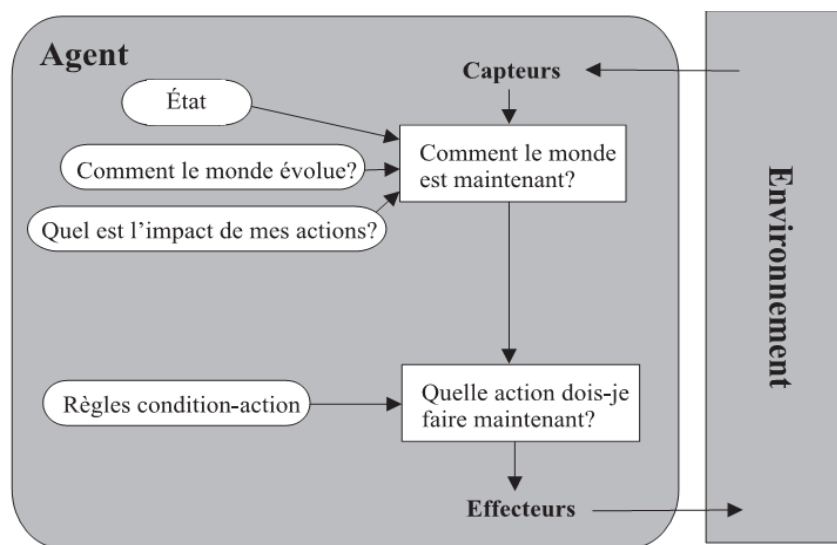


Fig.4.3. Schéma d'un agent conservant une trace du monde

On peut voir, sur la figure 2.3, la structure d'un agent conservant une trace du monde. Il utilise ses informations internes (état précédent du monde, l'évolution du monde et l'impact de ses actions) pour mettre à jour ses perceptions actuelles. Par la suite, il choisit ses actions en se basant sur cette perception « améliorée » du monde qui l'entoure. [CHA10]

Ce tableau montre la comparaison entre les deux types :

Systèmes d'agents cognitifs	Systèmes d'agents réactifs
Représentation explicite de l'environnement	Pas de représentation explicite
Peut tenir compte de son passé	Pas de mémoire de son historique
Agent complexe	Fonctionnement stimulus/réaction
Petit nombre d'agents	Grand nombre d'agents

Tab.4.1.comparaison entre systèmes d'agents cognitifs et systèmes d'agents réactifs

2. Systèmes multi-agents:

La section précédente a présenté des systèmes où il n'y avait qu'un seul agent, mais, dans la plupart des situations réelles, l'agent n'est pas seul dans son environnement, il y a d'autres agents présents autour de lui. Un système multi-agents est un système distribué composé d'un ensemble d'agents. Contrairement aux systèmes d'IA, qui simulent dans une certaine mesure les capacités du raisonnement humain, les SMA sont conçus et implantés idéalement comme un ensemble d'agents interagissant, le plus souvent, selon des modes de coopération, de concurrence ou de coexistence .[CHA08]

2.1. Les caractéristiques des SMA :

Un SMA est généralement caractérisé par :

- *Autonomie* : un agent est en activité permanente et prend ses propres décisions en fonction de ses objectifs et de ses connaissances.
- *Décentralisation* : les agents sont indépendants, il n'y a pas de décisions centrales.

- *Échange de connaissances* : les agents sont capables de communiquer entre eux, selon des langages plus ou moins élaborés.
- *Interaction* : les agents ont une influence localement sur le comportement des autres agents, généralement sur un pied d'égalité (il n'y a pas d'ordres, seulement des requêtes).
- *Organisation* : les interactions créent des relations entre les agents, et le réseau de ces relations forme une organisation qui peut évoluer au cours du temps.

2.2. Plateformes multi-agents :

Une plateforme multi-agents est un ensemble d'outils nécessaire à la construction et à la mise en service d'agents au sein d'un environnement spécifique. Pour implémenter les systèmes multi-agents, il existe plusieurs plates-formes parmi lesquelles, on cite : [FRA09]

- ➔ **FIPA** : La FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) est une organisation de normalisation qui a été formée dans le but de prévenir la prolifération des systèmes d'agents incompatibles et de promouvoir la technologie à base d'agents.
- ➔ **Spade** : (Smart Python multi-Agent Development Environment) est une plateforme de développement d'infrastructures basée sur le paradigme des systèmes multi-agents. Spade est basée sur le protocole XMPP/Jabber et est écrite en Python. Cette plateforme est conforme aux normes FIPA et un agent Python peut communiquer avec un agent C++ ou Java.
- ➔ **JADE (Java Agent DEvelopment framework)** : JADE est une plate-forme multi-agents créée par le laboratoire TILAB et décrite par Bellifemine et al. Dans JADE permet le développement de systèmes multi-agents et d'applications conformes aux normes FIPA. Elle est implémentée en JAVA et fournit des classes qui implémentent « JESS (Java Expert System Shell) » pour la définition du comportement des agents.

- **JACK** : Jack est décrite comme étant un environnement pour construire, exécuter et intégrer des systèmes multi-agents commerciaux. Ecrite en Java et utilisant une approche orientée composants, elle est développée par la société australienne Agent Oriented Software Pty. Ltd. Les agents sont basés sur le modèle BDI développés à l'Australian Artificial Intelligence Institute (AAIL).
- **MadKit** : (Multi-Agents Developpement Kit) Est une plate-forme multi-agents modulaire écrite en Java et construite autour du modèle organisationnel Agent/Groupe/Rôle. C'est une plate-forme libre basée sur la licence GPL/LGPL développée au sein du LIRMM (Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier).
- **MAGIQUE** : Est une plate-forme pour agents physiquement distribués écrite en Java et fournissant un modèle de communication original d'appel à la cantonade. Dans MAGIQUE, les compétences sont dissociées des agents. L'architecture des agents et les différentes compétences sont développées séparément. Les compétences sont ensuite greffées comme plugin dans les agents au gré du concepteur.

2.3. Utilité des systèmes multi-agents :

Certains domaines requièrent l'utilisation de plusieurs entités, par conséquent, les systèmes multi-agents sont très bien adaptés à ce type de situations. Par exemple, il y a des systèmes qui sont géographiquement distribués comme la coordination entre plusieurs frégates, le contrôle aérien, les bases de données coopératives distribuées, etc. Tous ces domaines sont par définition distribués, par conséquent, les systèmes multi-agents procurent une façon facile et efficace de les modéliser.

Une autre situation, où les systèmes multi-agents sont requis, est lorsque les différents systèmes et les données qui s'y rattachent appartiennent à des organisations indépendantes qui veulent garder leurs informations privées et sécurisées pour des raisons concurrentielles. Par exemple, la majorité des missions maritimes se font maintenant en collaboration avec plusieurs pays. Donc, il y a plusieurs bateaux de pays différents qui doivent agir ensemble. Pour concevoir un système qui permettrait aux

bateaux de se coordonner, il faudrait avoir des informations sur toutes les caractéristiques de chacun des bateaux. Par contre, aucun pays ne voudra donner ces informations puisqu'elles sont considérées comme des secrets militaires. De plus, les façons de faire diffèrent d'un pays à l'autre. Une solution à ce problème est de permettre à chaque pays de concevoir ses propres agents qui représenteront adéquatement ses buts et ses intérêts. Par la suite, ces agents pourront communiquer ensemble pour coordonner l'ensemble de la mission. Dans ce cas, les agents ne se transmettront que les informations nécessaires à une bonne coordination des bateaux. Même si le domaine ne requiert pas l'utilisation des systèmes multi-agents, il existe tout de même de bons avantages à utiliser ce type de système. Ainsi, ils peuvent s'avérer bien utiles pour des problèmes possédant de multiples méthodes de résolution, de multiples perspectives et/ou de multiples résolveurs. En particulier, les systèmes multi-agents sont très utiles pour modéliser le raisonnement humain à l'intérieur de grandes simulations de combats aériens. [CHA10]

2.4. Interaction et organisation des agents:

Outre la notion d'environnement, qui comme on l'a expliqué, est fondamentale dans la définition des SMA, deux autres concepts caractérisent ces derniers. Le concept d'interaction qui permet aux agents d'échanger et le concept d'organisation, qui les structure.

2.4.1. Interactions entre agents :

L'interaction est une notion importante dans les systèmes multi-agents, car un objectif dans la définition d'une société d'agents est de créer des échanges entre ces agents afin d'augmenter les capacités du groupe. L'interaction peut être définie comme la mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques,

Les interactions directes sont en général des caractéristiques des agents cognitifs qui, travaillant pour un but précis, sont capables de communiquer intentionnellement. Ce type d'interaction se rapproche d'un acte de langage. Tandis que les interactions

indirectes sont les caractéristiques des agents réactifs qui répondent à des stimulus de l'environnement par le dépôt d'information relative à des critères environnementaux

Dans le cas des agents réactifs, Les interactions entre les agents sont modélisées comme suit :

- *La coopération* : travailler ensemble dans un but commun
- *La coordination* : organiser la solution d'un problème de telle sorte que les interactions nuisibles soient évitées ou que les interactions bénéfiques soient exploitées.
- *La négociation* : parvenir à un accord acceptable pour toutes les parties concernées. [RIC11]

2.4.2. Organisation des agents :

Les organisations permettent de maîtriser et de structurer les agents, qui n'ont qu'une vision partielle de l'ensemble afin d'éviter les incohérences et les redondances au niveau système.

3. Les avantages des systèmes multi-agents :

Ils possèdent également les avantages traditionnels de la résolution distribuée et concurrente de problèmes :

- La *modularité* permet de rendre la programmation plus simple. Elle permet, de plus, aux systèmes multi-agents d'être facilement extensibles, parce qu'il est plus facile d'ajouter de nouveaux agents à un système multi-agents que d'ajouter de nouvelles capacités à un système monolithique.
- La *vitesse* est principalement due au parallélisme, car plusieurs agents peuvent travailler en même temps pour la résolution d'un problème.
- La *fiabilité* peut être également atteinte, dans la mesure où le contrôle et les responsabilités étant partagés entre les différents agents, le système peut tolérer la défaillance d'un ou de plusieurs agents. Si une seule entité contrôle tout, alors

une seule défaillance de cette entité fera en sorte que tout le système tombera en panne. [GUE11]

Finalement, les systèmes multi-agents héritent aussi des bénéfices envisageables du domaine de l'intelligence artificielle comme le traitement symbolique (au niveau des connaissances), la facilité de maintenance, la réutilisation et la portabilité.

Conclusion :

Les systèmes multi-agents représentent une approche d'actualité très efficace pour l'analyse, la conception et l'implémentation des systèmes informatiques ; ils fournissent de bons moyens, outils et techniques qui améliorent considérablement la conception des systèmes logiciels. Ce sont ces critères qui nous ont poussés à proposer une approche multi-agents pour concevoir notre système.