

# Agents et SMA

## 1.1 Introduction

IRE  
COM

Notre propos dans ce chapitre n'est pas d'établir un état de l'art complet du domaine agent et multiagent (pour cela on pourra se référer par exemple à [Wooldridge et Jennings, 1995]), mais plutôt d'introduire ces domaines tout en donnant certaines définitions qui seront utilisées par la suite.

En guise d'introduction, commençons par définir ce que nous entendons par agent dans ce manuscrit.

**DÉF. 1.1 – Agent.** *Nous définissons comme agent une entité plongée dans un environnement, capable de le percevoir par le biais de capteurs et d'agir sur cet environnement par le biais d'effecteurs.*

Dans cette définition, nous sommes volontairement peu restrictif afin d'englober les différentes définitions de la littérature. Nos agents correspondent par exemple à un sur-ensemble des agents classiquement définis par Ferber [Ferber, 1995]. Notamment, nous n'imposons pas de contrainte sur d'éventuels états internes d'un agent, que ce soit sur l'existence de ses buts ou sur la représentation de son environnement.

Un agent ne perçoit son environnement et n'agit sur lui que par l'*intermédiaire* de capteurs et d'effecteurs, qui ne sont *a priori* pas parfaits. Ses capteurs ne donnent qu'une image partielle de son environnement à l'agent (par exemple à cause d'une limitation de leur portée, de leur

adéquation à l'environnement, ou de la présence d'obstacles), cette image peut être bruitée ou imprécise. De même les effecteurs peuvent être non-déterministes : il n'est pas toujours possible de prévoir leurs effets sur l'environnement.

Il apparaît donc que les agents auxquels nous nous intéressons ne sont ni *omniscients* (c'est-à-dire capables de tout connaître de leur environnement de manière parfaite) ni *omnipotents* (c'est-à-dire capables d'influer sur leur environnement à volonté). Si un observateur extérieur désire juger le comportement d'un agent, il devra donc le faire relativement à ce que l'agent peut savoir de son environnement et relativement à ce que l'agent peut faire. Si l'on se place dans le cadre d'agents artificiels (c'est-à-dire créés par l'homme), on pourra juger comme « bon » le comportement d'un agent s'il correspond aux intentions de son concepteur. Plus précisément, on dit qu'un agent est *rationnel* s'il choisit l'action la mieux adaptée étant donné sa séquence de perceptions depuis le début de son interaction avec l'environnement [Russel et Norvig, 1995].<sup>1</sup>

Nous nous garderons bien de définir ce que nous entendons par « mieux adaptée », il s'agit d'une notion *a priori* subjective et qui dépend du futur. Une décision qui semble judicieuse sur le moment peut très bien se révéler désastreuse pour l'agent sur le long terme.

Dans la suite de ce chapitre nous établissons une typologie des différentes relations possibles au sein d'un système multiagent (SMA). Nous définissons des termes tels que coordination, coopération ou encore collaboration. Ces notions n'ont toujours pas de définition communément admise dans le domaine, même si certains ont tenté de le faire comme [Van Dyke Parunak *et al.*, 2002] ou [Doran *et al.*, 1997]. En parallèle nous étudions deux grandes classes d'architectures utilisées pour concevoir des agents rationnels artificiels et la manière dont elles déterminent les interactions dont sont capables ces agents.

---

<sup>1</sup>On peut bien sûr également parler de rationalité pour des agents « naturels » (animaux, humains), dans ce cas l'action adaptée est celle qui assure la survie de l'agent ou, de manière plus générale, qui lui permet d'atteindre les objectifs que lui prête l'observateur.

## 1.2 Corrélation, interaction, systèmes multiagents et coordination

### 1.2.1 Corrélation

Il est possible de déterminer de manière empirique si des agents « font quelque chose ensemble » en mesurant leur entropie mutuelle [Adami, 1998]. Sans avoir accès à la structure interne des agents ni au système dans son ensemble, on peut calculer si les actions des agents sont statistiquement liées les unes aux autres. Si c'est le cas, on parle alors de *corrélation* entre les agents. Toutefois la notion de corrélation n'est pas liée à l'interaction ; en effet imaginons un ensemble d'agents parfaitement identiques plongés dans le même environnement mais incapables d'interagir : étant identiques et confrontés au même environnement, les agents ont des comportements très semblables, voire identiques s'ils sont entièrement déterministes, et donc on observe une très forte corrélation malgré une absence totale d'interaction. Mais dans un tel cas l'activité globale n'est que la juxtaposition des activités individuelles.

### 1.2.2 Interaction

L'environnement d'un agent *A* peut contenir d'autres agents qui sont susceptibles d'agir sur cet environnement. Or *A* perçoit son environnement et par conséquent les éventuels effets des actions de ces agents. Il en découle une propriété fondamentale : l'*interaction* entre agents.

**COMPTAIRE** Dans [Van Dyke Parunak *et al.*, 2002], les auteurs parlent plutôt de coordination et définissent la communication comme tout flux d'information entre l'agent et son environnement (qui inclut les autres agents). Le terme interaction nous semble plus approprié pour couvrir la diversité des flux d'information entre un agent et son environnement.

Prenons par exemple un cas de ressources partagées entre agents, le dîner des philosophes orientaux (dû à Dijkstra) :

*« Cinq philosophes orientaux partagent leur temps entre l'étude et la venue au réfectoire pour manger un bol de riz. La salle affectée à la sustentation des philosophes ne comprend qu'une seule table ronde*

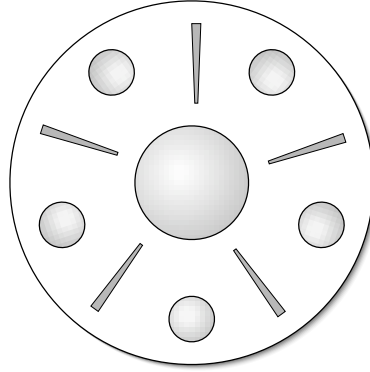
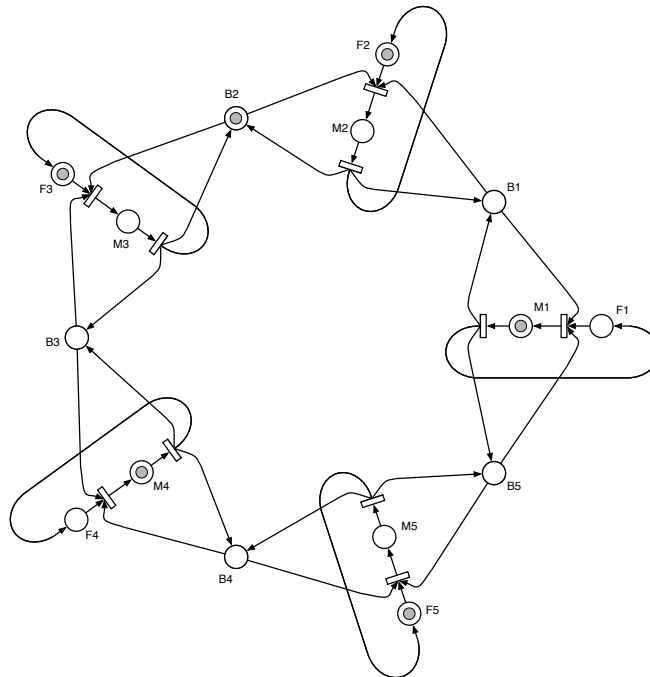


FIG. 1.1 – la table des philosophes.

*sur laquelle sont disposés un grand plat de riz (toujours plein), cinq bols et cinq baguettes. »*



Le réseau de Petri des philosophes.

Le problème des philosophes orientaux peut être modélisé par le réseau de Petri de la figure ci-dessus. Dans notre exemple, la place  $F_i$  représente le fait que le  $i$ -ème philosophe a faim (il ne mange pas),  $M_i$  signifie qu'il est en train de manger et  $B_i$  indique que la  $i$ -ème baguette est inutilisée. Dans notre exemple les philosophes 1 et 4 sont en train de manger, les autres patientent et la baguette 2 est inutilisée.

Comme on le voit sur la figure 1.1, un philosophe qui prend les deux baguettes autour de son bol empêche ses voisins d'en faire autant. Dès qu'il dépose l'une de ses baguettes, son voisin, affamé, peut s'en emparer. Le cas échéant, ce dernier devra attendre que l'autre baguette soit disponible. Les baguettes sont ici les ressources partagées et les agents interagissent par leur intermédiaire. Il y a interaction entre les agents mais pas de véritable communication<sup>2</sup>, à moins que nos philosophes ne se soient mis d'accord sur un protocole d'utilisation des baguettes.

Pour nous, il y a interaction entre un agent  $A$  et un agent  $B$ , si le choix des actions de  $A$  peut être influencé par  $B$  (et inversement). Il faut donc que : (1)  $A$  puisse percevoir une partie des actions de  $B$  (ou du moins leurs conséquences sur l'environnement) et que (2)  $A$  tienne compte de ces perceptions pour choisir ses actions.

**DÉF. 1.2 – Interaction.** Soit un environnement  $\mathcal{E}$  comprenant un ensemble d'agents  $\Gamma = \{A, B, C, \dots\}$ . Nous dirons que les agents de  $\Gamma$  interagissent si et seulement si pour tout agent  $x$  de  $\Gamma$ , il existe un autre agent  $y$  de  $\Gamma$  qui, plongé dans  $\mathcal{E} \setminus \{x\}$  a une séquence d'actions différente de celle qu'il a dans  $\mathcal{E}$ , toutes choses étant égales par ailleurs.

À présent que nous avons défini la notion d'interaction, nous pouvons définir ce que nous entendons par système multiagent :

**DÉF. 1.3 – Système multiagent.** Un système multiagent (SMA) est un environnement qui contient un ensemble d'agents qui interagissent.

### 1.2.3 Coordination

Nous avons vu dans la section précédente qu'une des notions fondamentales des SMA est l'interaction entre agents. Toutefois, cette notion

<sup>2</sup>Pour une discussion plus approfondie à propos de cette distinction, se référer au chapitre 3.

n'est pas suffisante, en effet dans la plupart des cas les interactions entre agents sont plus élaborées que le simple partage de ressources de l'exemple des philosophes. Nous parlerons alors de *coordination*.

**DÉF. 1.4 – Coordination.** *Nous parlerons de coordination dans un ensemble d'agents si et seulement si (1) ces agents interagissent et (2) une partie au moins de ces interactions prend la forme de transmission d'information par un langage articulé ou par d'autres codes.*

Il va de soit, d'après cette définition, que coordination implique interaction, mais il peut être difficile de différencier une simple interaction d'un code ou même d'éléments d'un langage articulé. Par exemple, les abeilles utilisent les mouvements de leur corps afin d'indiquer à leurs congénères la position de sources de nourriture. Il a fallu beaucoup de temps avant qu'on ne se rende compte que ces étranges « danses » constituent un véritable langage [Von Frisch, 1993]. Il serait tentant de définir la coordination comme de l'interaction associée à de la communication, cependant nous n'aborderons pas le problème de la communication dans ce chapitre et nous ne la définirons qu'au chapitre 3.

La coordination est donc une notion liée aux capacités « cognitives » des agents. Un transfert d'information ne se différencie d'une simple suite d'actions<sup>3</sup> que par la capacité des agents à le décoder. On peut dire que pour que des agents soient capables de coordination, ils doivent avoir été conçus pour cela, tandis que deux agents quelconques peuvent très bien interagir, par exemple en se gênant mutuellement.

## 1.3 Architecture réactive et coordination

### 1.3.1 Architecture réactive

Nous avons vu que la rationalité d'un agent se juge à la manière dont il associe ses actions à ses perceptions. La manière la plus simple de concevoir un agent rationnel (on parlera d'*architecture*) est donc de le doter d'un

---

<sup>3</sup> Il peut même s'agir simplement de certaines propriétés de l'agent, comme les couleurs vives de certains animaux (par exemple certaines grenouilles d'Amazonie) qui signifient « poison » aux éventuels prédateurs. Et il s'agit bien là uniquement d'un transfert d'information, car certains animaux arborent ces mêmes couleurs sans pour autant être toxiques, ce qui leur assure pourtant une certaine tranquillité.

ensemble de règles *stimulus-réponse* qui décrira entièrement son comportement. On parlera alors d'*agent réflexe* ou encore d'approche comportementale (*behavior-based*).

L'approche comportementale pour la conception d'agents rationnels artificiels est principalement due à Brooks du MIT<sup>4</sup> avec son *architecture de subsumption* [Brooks, 1986]. Dans deux manifestes maintenant célèbres [Brooks, 1991a ; Brooks, 1991b] il définit son projet : concevoir des robots « intelligents » (des agents rationnels) de manière incrémentale, en partant de comportements très simples et en les combinant pour en obtenir de plus élaborés, jusqu'à l'« intelligence ». Dans ce projet, Brooks prend le contre-pied de l'approche utilisée jusque-là en intelligence artificielle (IA) et qui consistait à prendre le problème « par le haut » en commençant par le raisonnement de haut niveau (voir section 1.5.1) et en postulant que les tâches en apparence plus simples telles que la perception et l'action se résoudreaient facilement. Cette approche classique, que Brooks désigne par le sobriquet GOF AI (*Good Old-Fashioned Artificial Intelligence*) a donné des systèmes capables de résoudre des problèmes complexes et même de prouver des théorèmes mathématiques par exemple, mais incapables ne serait-ce que de se déplacer dans un laboratoire en évitant quelques obstacles (tâche qui semble pourtant bien simple). Au contraire, Brooks commence par traiter les problèmes tels que la locomotion, et réalise des robots capables de se déplacer même dans des environnements très accidentés (voir figure 1.2).



FIG. 1.2 – GENGHIS, un des robots du MIT.

---

<sup>4</sup>Massachusetts Institute of Technology

La différence fondamentale entre l'approche classique et l'approche comportementale tient aux symboles. L'approche classique donne une représentation symbolique de son environnement à l'agent. Cette représentation est une abstraction des sorties des capteurs de l'agent, l'agent manipule ensuite ces symboles en interne grâce à un « modèle du monde » et décide de ses actions. Dans l'approche comportementale, on considère que « le monde est son meilleur modèle ». Dans sa version la plus simple (figure 1.3), cette approche ne comporte pas d'état interne, les sorties des capteurs sont directement traitées par de simples circuits électriques qui calculent en continu le signal à envoyer aux effecteurs.

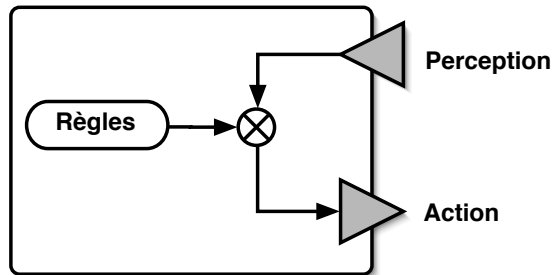


FIG. 1.3 – Architecture réactive.

Comme illustré figure 1.4, il est possible d'adjoindre des états internes à un agent réactif afin de rendre son comportement plus « intelligent ». En effet, imaginons un agent réactif *A* poursuivant une cible *B*. Son principe de fonctionnement est on ne peut plus simple : toujours avancer vers *B*. Mais si à un moment donné *A* ne perçoit plus *B* (à cause d'un obstacle par exemple) il risque fort de s'arrêter sur place alors que si *A* continue à se déplacer, *B* finirait par reparaitre. En dotant *A* d'un seul état interne du type « dernière position connue de *B* » on peut rendre son comportement plus robuste. Tant que le nombre de ces états internes reste limité, il est possible de parler d'architecture réactive (voir section 1.5.1).

### 1.3.2 Coordination entre agents réactifs

Malgré leur simplicité de principe, des agents réactifs en groupe peuvent montrer une grande richesse de comportements collectifs. Nous en présentons ici quelques exemples.



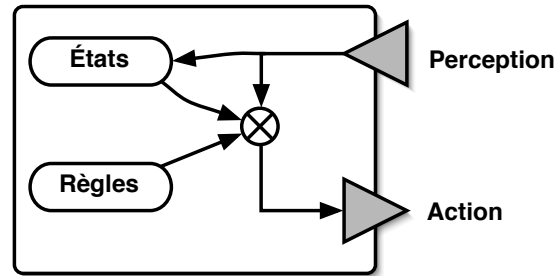


FIG. 1.4 – Architecture réactive avec états internes.

### Émergence, éthologie

Il est possible de modéliser le comportement de sociétés animales ou même des phénomènes de foule par des SMA composés d'agents réactifs simples. Notamment en éthologie, il a été possible de simuler de manière très fidèle des comportements tels que le fourragement chez les fourmis ([Topin *et al.*, 1999] ou le projet Manta [Drogoul et Ferber, 1994], figure 1.5) ou encore la construction de nids chez certaines espèces de guêpes [Bonabeau *et al.*, 2000]. Ces simulations aident à étudier l'influence des variations de divers paramètres de l'environnement sur le comportement de la société.

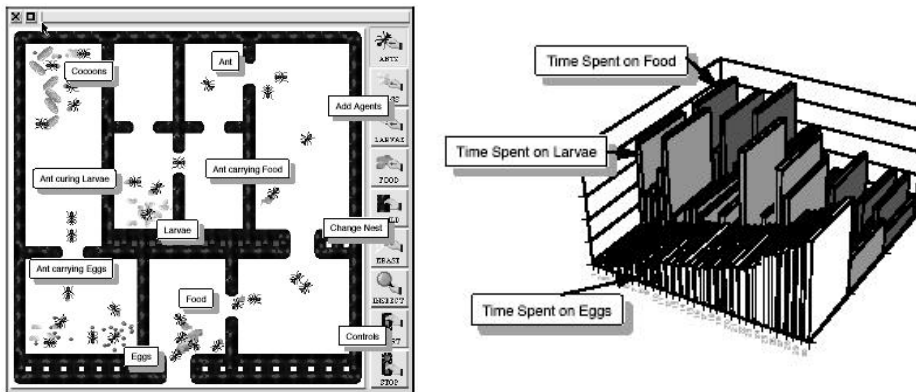


FIG. 1.5 – Illustration du projet Manta : Modelling an ANThill Activity

Dans ce genre de simulations, on s'intéresse à la relation entre com-

portement individuel et collectif. De l'interaction entre les membres d'un SMA, *émerge* le comportement global du système. Ainsi, des termites individuellement très simples sont capables en groupe de construire une structure aussi complexe qu'une termitière, avec ses loges, galeries et cheminées d'aération.

### Travaux de Matarić

Dans la lignée des travaux de Brooks, Matarić [Matarić, 1994 ; Matarić, 1995 ; Matarić, 1998] propose une architecture comportementale pour la synthèse de comportements collectifs comme le déplacement en groupe, le fourragement (figure 1.6) ou l'accostage, à partir de comportements individuels de base comme le déplacement avec évitement d'obstacles, la poursuite, l'agrégation ou encore la dispersion.

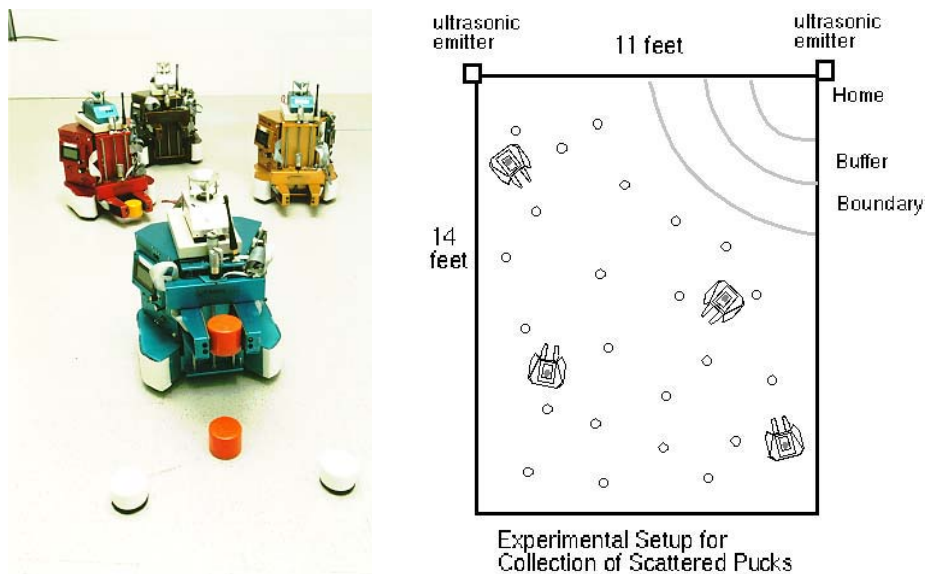


FIG. 1.6 – Illustration des robots fourrageurs et du dispositif expérimental.

Une méthode à base d'apprentissage par renforcement est également proposée pour générer des comportements collectifs composites. L'architecture proposée par Matarić a été utilisée pour des groupes allant jusqu'à 20 robots ainsi qu'en simulation.

### Architecture ALLIANCE

ALLIANCE [Parker, 1994 ; Parker, 1998] est une architecture comportementale distribuée pour des robots opérant en groupes de petite ou moyenne taille dans un environnement dynamique et incertain. Elle utilise des *motivations*, comme l'*impatience* ou le *consentement*, modélisées de manière numérique dans chaque agent afin d'obtenir un choix adaptatif de comportement. Ces robots sont supposés hétérogènes et capables de connaître les effets de leurs actions et de celles des autres agents (avec une certaine probabilité) par l'intermédiaire de leur capteurs ou de communications par *broadcast*.

**COM** Le fait d'utiliser des communications entre agents dans ALLIANCE peut sembler incompatible avec une architecture réactive, toutefois il s'agit simplement pour les agents de communiquer leurs états internes.

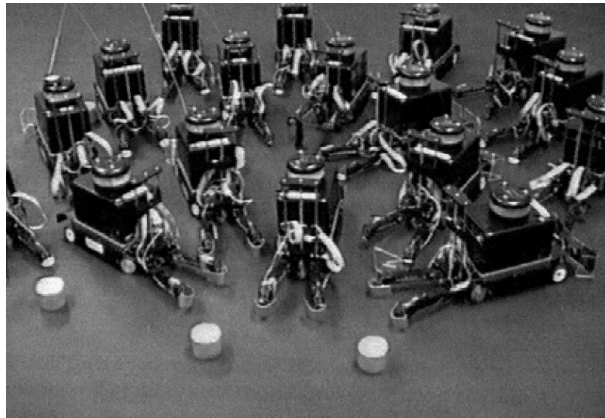


FIG. 1.7 – Simulation de récupération de déchets toxiques.

L-ALLIANCE [Parker, 1997] est une extension d'ALLIANCE qui utilise l'apprentissage par renforcement afin de régler les paramètres de sélection de comportement. Les deux architectures ont été utilisées à la fois sur de véritables robots et en simulation pour des tâches telles que le déplacement d'objets, le maintien de formation ou la simulation de nettoyage de déchets toxiques (figure 1.7).

## 1.4 Coopération et collaboration

Nous avons vu dans la section précédente qu'une architecture réactive était suffisante pour la coordination. Toutefois, bien qu'en général très robuste, un système multiagent qui fonctionne par coordination et utilise des agents réactifs n'est capable ni d'accomplir des tâches complexes, ni de s'adapter facilement à une nouvelle tâche. Pour observer des comportements plus élaborés, il faut que les agents soient dotés de *buts*, et plus généralement d'*attitudes propositionnelles* [Fodor, 1987] envers leur environnement. On désigne par attitude propositionnelle une modalité telle que la croyance, le désir, l'intention ou même l'espoir, envers une proposition ayant trait au monde. Par exemple : « je crois que la maison est bleue » ou encore « j'ai l'intention d'acheter une voiture ».

### 1.4.1 Buts

**DÉF. 1.5 – But.** *Si  $\omega$  est un état possible de l'environnement, nous dirons qu'un agent  $A$  a  $\omega$  comme but si, compte tenu des connaissances de  $A$ , ses actions tendent à amener l'environnement dans l'état  $\omega$ .*

On voit ici que la notion de but est liée à « ce qui se passe à l'intérieur de l'agent ». D'après nos définitions, un observateur extérieur ne peut juger que de la rationalité d'un agent, pas de ses buts ni même de leur existence, il n'existe pas de « capteur de buts ». En un sens, seul le concepteur d'un agent  $A$  peut savoir si  $A$  est doté de buts. On pourrait avancer que dès lors qu'un agent est conçu pour accomplir une tâche il est doté de buts, mais ce n'est pas le cas : dans le cas d'un agent réactif les buts restent du côté du concepteur, l'agent n'est doté que de règles qui lui donnent un comportement, qui — espérons-le ! — correspond aux buts de son concepteur.

De plus, le fait d'avoir un but est intrinsèquement lié à la notion de *futur*. Le problème de l'agent est le suivant : « voilà ce que je sais de mon environnement ; que faire pour que dans le futur il soit plus proche de mon but ? » Pour ainsi manipuler le futur, un agent doit être doté d'un modèle de son environnement afin de prévoir son évolution.

### 1.4.2 Coopération

**DÉF. 1.6 – Coopération.** *Nous dirons qu'il y a coopération entre les agents  $\{A, B, C, \dots\}$  dans l'environnement  $\mathcal{E}$  si et seulement si (1) les agents interagissent,*

et (2) s'ils sont dotés de buts.

Cette définition peut sembler contre-intuitive ou peut-être trop faible car elle ne fait pas directement appel à des notions telles que l'entraide ou le travail en commun (qui sont plutôt liées à la collaboration, voir à la section suivante 1.4.3). Nous retrouvons tout de même cet aspect collectif au niveau du comportement global du système. En effet, dans un SMA coopératif les agents possèdent un modèle de leur environnement et donc des autres agents qui y opèrent. Ainsi, même si les agents n'œuvrent pas en commun, ils tiennent compte les uns des autres pour déterminer leur comportement. Les activités conjointes des agents donnent donc au système un comportement global « harmonieux », ou du moins rationnel.

Par ailleurs, dans un système coopératif, les agents perçoivent les autres agents présents dans l'environnement ou du moins les effets de leurs actions. Ces informations sont utilisées pour mettre à jour les modèles des autres agents dont dispose chacun. On peut donc considérer qu'il y a des transferts d'information entre des agents coopérant au-delà de simples interactions. Nous pouvons donc en déduire que suivant nos définitions, coopération implique coordination.

### 1.4.3 Collaboration

**DÉF. 1.7 – Collaboration.** *Nous dirons qu'il y a collaboration entre les agents  $\{A, B, C...\}$  dans l'environnement  $\mathcal{E}$  si et seulement si (1) les agents coopèrent, et (2) s'ils sont dotés des mêmes buts.*

Dans un SMA, on parle souvent d'un ensemble d'agents collaborant comme d'une *équipe*. L'exemple le plus parlant de système collaboratif est en effet une équipe de football (ou tout autre sport collectif). Dans un tel groupe d'agents, chaque joueur a comme but que son camp gagne et n'a aucun autre but personnel (en tout cas si on se limite au cadre d'un seul match).

### 1.4.4 Conflit

**DÉF. 1.8 – Conflit.** *Nous dirons qu'il y a conflit entre les agents  $\{A, B, C...\}$  dans l'environnement  $\mathcal{E}$  si et seulement si (1) les agents coopèrent, et (2) s'ils sont dotés de buts incompatibles à un instant donné.*

Si l'on considère que les philosophes de la section 1.2.2 ont comme but de manger à tout instant, nous avons un parfait exemple : tout ensemble connexe (au sens du voisinage) de plus d'un philosophe est en conflit.

Notre définition du conflit est en accord avec la définition plus générale de [Dehais *et al.*, 2003], qui définit le conflit comme un ensemble d'attitudes propositionnelles incompatibles, augmenté du fait que cette incompatibilité importe (*matters*). D'après notre définition, il y a conflit si les buts (qui sont des attitudes propositionnelles) des agents sont incompatibles et les agents n'ont par définition rien de plus important que leurs buts.

## 1.5 Architecture délibérative et coopération

Bien que nous ne l'abordions qu'après l'architecture réactive, l'architecture délibérative la précède dans l'histoire de l'intelligence artificielle. À partir de 1957 et jusqu'au début des années 60, Ernst, Newell, Simon et Shaw développent le *General Problem Solver* [Ernst et Newell, 1969]. Ils comparent un raisonnement exprimé au fur et à mesure et à voix haute par un sujet humain et la « trace » de leur raisonneur artificiel : le raisonnement artificiel ne correspond au mieux qu'à un sous-ensemble des raisonnements humains. Il n'empêche que l'approche délibérative qui est à la base du *General Problem Solver* permet théoriquement à une machine de résoudre tout problème formalisé.

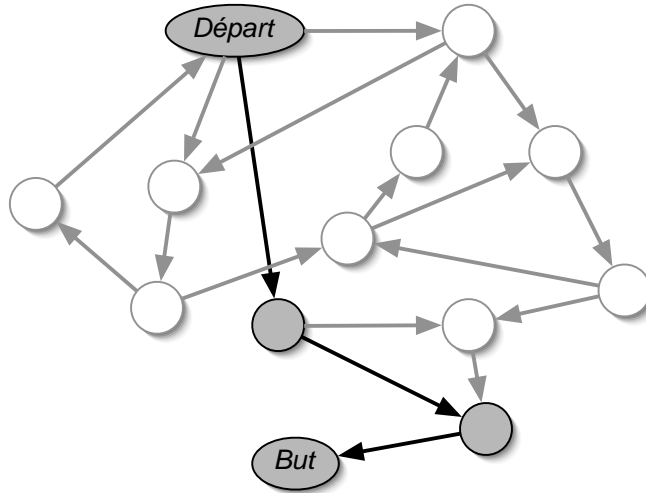
### 1.5.1 Architecture délibérative

Un agent fondé sur l'architecture délibérative possède un modèle du monde, qui lui permet de prédire l'évolution naturelle de l'environnement, ainsi qu'un modèle de ses actions, qui lui permet de prédire l'effet de ses actions sur l'environnement (ces deux modèles opèrent sur des représentations internes de l'environnement). On peut résumer le principe de cette architecture par : *percevoir – modéliser – planifier – agir*. Un agent délibératif perçoit son environnement, il est capable de mettre à jour un modèle de cet environnement pour prédire son évolution, il planifie ses actions dans l'optique de satisfaire ses buts et il agit en fonction de ces plans.

Pour permettre à un agent de choisir ses actions, l'architecture délibérative (illustrée sur la figure 1.8) utilise le principe de la recherche dans un graphe. Ce graphe est construit grâce aux modèles dont dispose l'agent,

avec comme état de départ la représentation courante que se fait l'agent de son environnement.

Chaque nœud du graphe représente un état possible du problème et les arêtes les transitions possibles entre ces états.



Exemple de graphe d'états.

À partir d'une représentation d'un état de départ, il s'agit d'inventorier les modifications possibles sur cet état, de déterminer les états qui en résultent, et de continuer ainsi récursivement jusqu'à obtenir un état qui correspond à la solution du problème. Il suffit alors de « remonter » depuis le but pour obtenir une séquence d'« actions » qui résout le problème (par exemple les états et transitions plus sombres sur la figure).

Les modèles du monde et des actions sont utilisés pour générer les mondes possibles futurs sous l'hypothèse des différents enchaînements d'actions envisageables par l'agent. Ces mondes possibles sont comparés aux buts de l'agent et on choisit l'action qui amène au monde possible correspondant aux buts ou s'en rapprochant le plus.

Nous n'aborderons pas ici la façon dont les mondes possibles et les modèles sont représentés dans l'agent (approche symbolique, utilitariste, probabiliste, *etc.*) Toutefois, c'est là que se situe la principale différence entre un agent délibératif et un agent réactif à états. S'il est possible de décrire une architecture délibérative comme un ensemble de règles (les modèles du monde et des actions ainsi que les règles de comparaison entre mondes

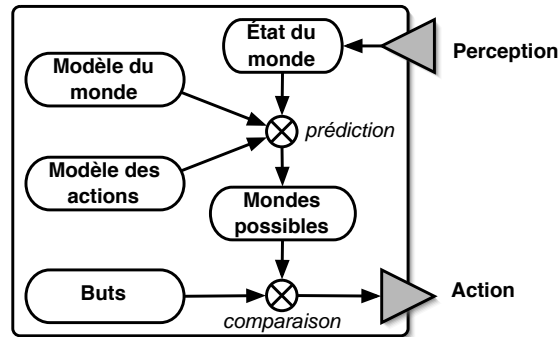


FIG. 1.8 – Architecture délibérative.

possibles et buts) et d'états internes (l'état courant du monde et les mondes possibles) sur lesquels opèrent ces règles, la différence tient d'une part à la complexité des règles, et d'autre part à la nature des états internes. Un agent réactif n'a que des états internes *statiques* du type « j'ai faim (oui/non) » ou encore « dernière position de la cible » tandis qu'un agent délibératif manipule des structures de données de manière dynamique en mémoire.

Cette dernière propriété, qui fait la force de l'architecture délibérative, peut avoir de fâcheuses conséquences, car si cette approche permet de résoudre tout problème formalisé, encore faut-il en avoir le temps et la place. En effet, le développement en mémoire des différents mondes possible est exponentiel, et on obtient facilement un agent qui passe des heures à « réfléchir » ou encore qui n'a pas assez de mémoire pour stocker toutes ses hypothèses. Reste le problème non négligeable de la modélisation et notamment du *Frame Problem* [Pylyshyn, 1987].

## 1.5.2 Coopération entre agents délibératifs

### Cohen et Levesque : intention commune

Cohen et Levesque ont développé une théorie logique de l'intention [Cohen et Levesque, 1990a] initialement comme prérequis à une théorie des actes de langage [Cohen et Levesque, 1990b]. Comme Bratman [Bratman, 1987 ; Bratman, 1990], Cohen et Levesque identifient sept propriétés qui selon eux doivent être vérifiées par une théorie de l'intention :



1. leurs intentions stimulent les agents, qui doivent trouver des moyens de les réaliser ;
2. un agent ne peut adopter une intention en conflit avec celles qu'il a déjà ;
3. les agents évaluent l'état d'avancement de leurs intentions et ont tendance à réessayer s'ils échouent ;
4. les agents croient leurs intentions réalisables ;
5. les agents ne croient pas qu'ils ne vont pas réaliser leurs intentions ;
6. ils croient que sous certaines conditions ils réaliseront leurs intentions ;
7. ils n'ont pas nécessairement comme intention les effets de bord de leurs intentions.

S'appuyant sur ces critères, ils développent une logique de la rationalité et construisent une théorie de l'action rationnelle dont l'intention est une des briques de base ainsi que le « but persistant ». Un agent  $A$  a un but persistant envers  $\omega$  si et seulement si :

1.  $A$  a comme but que  $\omega$  devienne vrai et croit que ce n'est pas actuellement le cas ;
2. pour abandonner ce but,  $A$  doit croire que  $\omega$  est vrai ou qu'il ne le sera jamais.

La théorie de l'intention de Cohen et Levesque s'est avérée précieuse pour analyser les conflits et la collaboration dans des dialogues multi-agents, et même comme fondation théorique de systèmes collaboratifs en donnant une intention commune à un groupe d'agents. La théorie des intentions communes [Levesque *et al.*, 1990 ; Cohen et Levesque, 1991] est décrite plus avant en annexe (A.2).

### **Rao et Georgeff : BDI**


Dans les travaux de Cohen et Levesque, les seules informations et attitudes propositionnelles utilisées sont les croyances et les buts. Les autres notions, les intentions par exemple, peuvent être définies en termes de croyances et de buts. Rao et Georgeff ont développé une logique modale temporelle basée sur trois primitives : croyances, désirs et intentions [Rao et Georgeff, 1991]. Ils s'intéressent particulièrement à la notion de « réalisme », qu'ils définissent comme la manière dont les croyances d'un agent sur le futur affectent ses désirs et ses intentions.

De cette logique modale, découle l'architecture BDI (*beliefs, desires, intentions*). Comme chez Cohen et Levesque, l'architecture BDI a été étendue au cas multiagent, avec l'introduction de plans sociaux [Kinny *et al.*, 1992 ; Rao et Georgeff, 1992]. À partir des modalités individuelles (croyances, désirs, intentions), ils construisent des modalités collectives comme les croyances mutuelles, les buts communs ou les intentions communes.

### Grosz : SharedPlan

Tout comme dans les approches précédentes, Grosz et al. basent leur approche sur les états mentaux [Bratman, 1987] dont les agents doivent être dotés afin de collaborer. En revanche, ils s'intéressent plus en détail aux activités individuelles et collectives des agents, et les définissent de manière normative dans l'optique de réaliser des agents rationnels collaboratifs. Grosz et al. décrivent les activités collaboratives des agents comme des *SharedPlans* (plans partagés) [Grosz, 1996 ; Grosz et Kraus, 1996]. Les agents participants ont certaines croyances individuelles et mutuelles à propos des actions et des sous-actions qui composent un *SharedPlan* donné, ainsi que des intentions ou plans individuels pour accomplir certaines sous-actions.

Ces plans sont décrits de manière hiérarchique par une logique modale du premier ordre en utilisant des méta-prédicats tels que FIP (*full individual plan* : plan individuel complet), PSP (*partial SharedPlan* : *SharedPlan* partiel) ou encore SP (*SharedPlan*), chacun de ces méta-prédicats est défini à partir des croyances et intentions individuelles des agents.

 Afin d'illustrer les notions que nous avons développées dans ce chapitre, nous présentons à l'annexe A un exemple complet d'architecture multiagent délibérative fondée sur le cadre des intentions communes.

## 1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans les grandes lignes la conception d'agents rationnels et leur utilisation au sein de systèmes multiagents. Nous avons identifié deux grandes classes d'architectures d'agents : *réactive* (ou comportementale) et *délibérative*. L'architecture comportementale ne permet pas à l'agent de modéliser son environnement. Le

comportement de l'agent est déterminé par un ensemble de règles *stimulus-réponse* (d'où le qualificatif d'architecture réactive) qui correspondent aux différents comportements possibles de l'agent et à la manière dont ils se combinent. Le principe de l'architecture délibérative peut se résumer par : *percevoir – modéliser – planifier – agir*. Un agent délibératif est capable d'intentions, il perçoit son environnement, est capable de modéliser son évolution, planifie ses actions dans l'optique de satisfaire ses intentions et agit en fonction de ces plans.

Chacune des deux approches a ses forces et les faiblesses associées : robustesse pour l'approche comportementale, résolution de problèmes complexes pour l'approche délibérative. Comme souvent face à deux approches différentes, certains ont proposé des *architectures hybrides* exploitant les avantages des deux mondes, on peut citer par exemple : PRS [Ingrand *et al.*, 1996], TOURINGMACHINES [Ferguson, 1992] ou encore INTERRAP [Müller et Pischel, 1993].

Nous avons établi une série de définitions des relations pouvant exister entre les agents au sein d'un SMA. La figure 1.9 résume les relations entre corrélation, interaction, coordination, coopération, collaboration et conflit. Deux notions fondamentales ont été mises en valeur : *l'information* et le *but*.

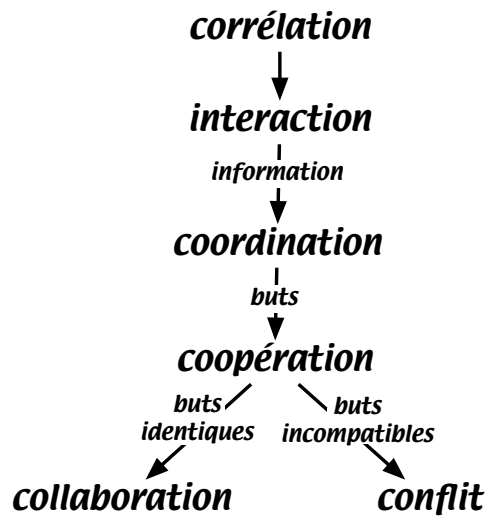


FIG. 1.9 – Classification des relations (par exemple, la coopération est un type de coordination entre agents dotés de buts).

Nous avons vu que l'intention est une faculté réservée aux agents délibératifs. En conséquence, dans un SMA composé d'agents réactifs on ne pourra observer au mieux que de la coordination. Les notions de coopération, collaboration et conflit sont, elles, réservées aux SMA délibératifs.

L'information transmise par l'intermédiaire de langages ou de codes est ce qui permet de parler de coordination dans un SMA. Dans nos définitions, nous n'avons pas abordé le problème de la communication bien que les principes de transfert d'information et de langage y soient directement liés. Nous y consacrons le chapitre 3.