

4. Systèmes Multi-Agent Généralités (Ferber 1995)



Pour l'IA

- Programme = entité « intelligente » individualisée
- Identification de la machine à l'humain : programme représentant directement un expert capable de résoudre un problème
- Machine « intelligente » = imite le comportement d'un humain
- Aucun critère intrinsèque pour définir l'intelligence
 - Intelligence viendrait des individus isolés et non des groupes

Mais en réalité

- Intelligence \neq caractéristique individuelle séparée de son contexte social
- Un être humain ne peut se développer convenablement (cognitivement) sans d'autres êtres de son espèce
- « Intelligence » due aux bases génétiques définissant notre structure neuronale ET aux interactions avec le monde

Constat

- Manque d'interaction des programmes avec l'extérieur
- Nécessité de décomposer les systèmes en modules indépendants en interaction
- Problèmes de nature distribuée : robotique, contrôle de trafic aérien

Prendre le problème à l'envers

- Intelligence = ? phénomènes collectifs
- Activités simples ou complexes = Σ interactions entre entités
- SMA = entités autonomes et indépendantes travaillant au sein de communauté selon des modes de coopération, de conflit et de concurrence pour survivre et se perpétuer
- Phénomènes chaotiques : impossibilité de connaître à l'avance l'état ultérieur des agents
- Auto-organisation et émergence de structures (interactions)

Définition : agent

Entité physique ou virtuelle (logiciel)

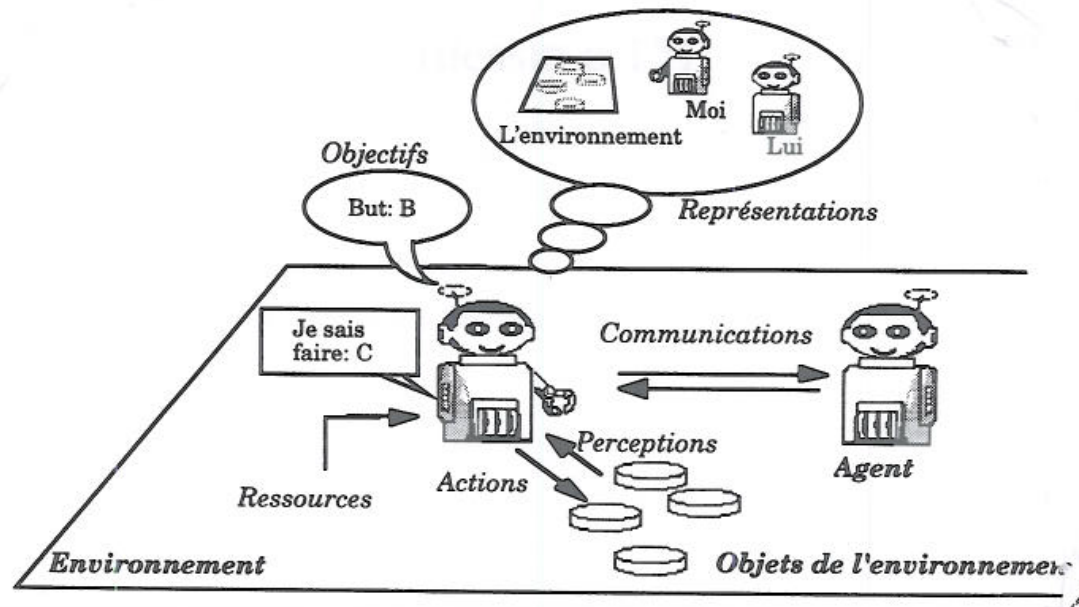
1. est capable d'agir dans un environnement (pas seulement de raisonner)
2. peut communiquer directement avec d'autres agents
3. est mue par un ensemble de tendances (objectifs individuels, fonction de satisfaction, de survie) → autonomie
4. possède des ressources propres
5. est capable de percevoir son environnement
6. ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement
7. possède des compétences et offre des services
8. peut éventuellement se reproduire
9. dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences, en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications

Définition : SMA

Système composé des éléments suivants

1. un environnement E : espace disposant souvent d'une métrique
2. un ensemble d'objets situés O : objets passifs pouvant être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents (possibilité à un moment donné d'associer une position dans E)
3. un ensemble A d'agents : objets particuliers représentant les entités actives du système
4. un ensemble de relations R unissant les objets et les agents
5. un ensemble d'opérations Op permettant à A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des O

SMA



Agents cognitifs/réactifs

- Agents

- = entités intelligentes, capables de résoudre certains problèmes par elles-mêmes ?
- = entités très simples, réagissant directement aux modifications de l'environnement ?

Ecole cognitive

- faire communiquer et coopérer des systèmes experts classiques
- agents intentionnels : possèdent des buts et des plans explicites leur permettant d'atteindre leurs objectifs
- coopération : petits groupes d'individus devant coordonner leur activité et négocier pour résoudre leurs conflits

Ecole réactive

- non nécessité d'agents individuellement intelligents pour avoir un système globalement intelligent
- mécanismes de réaction aux événements ne prenant en compte ni une explicitation des buts, ni une planification (ex : les fourmis)

Agents cognitifs

La plupart des agents cognitifs sont

- intentionnels : ont des buts explicites motivant leurs actions
- rationnels : leurs actions suivent un principe de rationalité par rapport à leurs buts
- sophistiqués → grande souplesse dans leur comportement
 - représentations internes + mécanismes d'inférence
 - fonctionnement indépendant des autres agents cognitifs
 - capacité de raisonner sur des représentations du monde
 - capables de mémoriser des situations, de les analyser, de prévoir des réactions possibles, d'en tirer des conduites pour les événements futurs et donc de planifier
 - construction d'un monde virtuel pour produire des plans d'actions

Agents réactifs

Les agents réactifs

- ne répondent souvent qu'à des stimuli de l'environnement
- ont un comportement guidé par l'état local du monde (comportements rigides)
- n'ont pas de représentation de leur environnement et des autres agents
- sont incapables de prévoir et donc d'anticiper en planifiant les actions

Au niveau de l'individu : agents réactifs non intéressants

Au niveau de la population : capacités d'adaptation et d'évolution émergeant des interactions

Exemple : robot souhaitant ouvrir une porte

- **agent cognitif (planification)**

Plan ouvrirPorte

aller jusqu'à l'endroit où se trouve la clef

prendre la clef

aller jusqu'à la porte

ouvrir la porte avec la clef

- **un agent réactif (actions situées)**

R1 : si je suis devant la porte et que j'ai une clef,
alors l'ouvrir

R2 : si je suis devant la porte et sans clef,
alors essayer de l'ouvrir

R3 : si la porte ne s'ouvre pas et que je n'ai pas la clef,
alors aller chercher la clef

R4 : si je cherche une clef et qu'il y en a une devant moi,
alors la prendre et aller vers la porte

Exemple : proies-prédateurs

Pb : les proies évoluent aléatoirement et les prédateurs ont une perception limitée

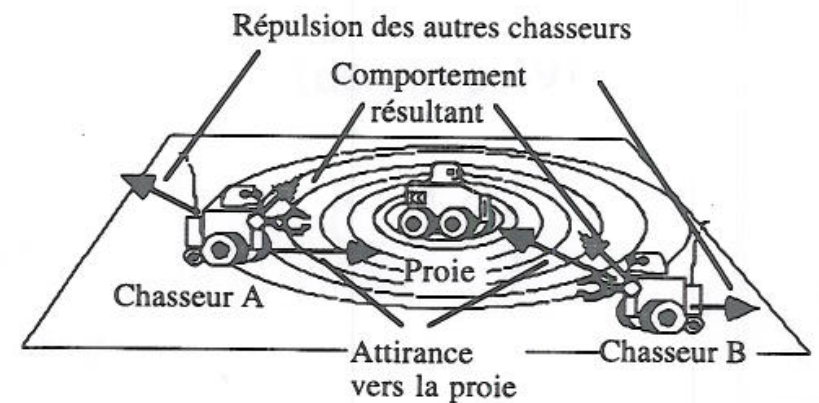
→ coordonner les actions des prédateurs pour capturer les proies le plus rapidement possible en les entourant

Agent cognitif :

- détection des proies
- élaboration des équipes de chasse
- allocation des rôles
- réorganisation si chasseurs mal distribués

Agent réactif :

- proies émettent un signal dont l'intensité décroît avec la distance (attracteur pour les prédateurs)
- prédateurs émettent un signal répulseur pour que les autres prédateurs entourent la proie



Cognitif et/ou réactif ?

Où placer la limite entre cognitif et réactif ?

Pas forcément d'opposition.

Graduation entre agent réactif pur et agent cognitif :

- construire des agents cognitifs à partir d'organisations réactives
- réaliser des agents disposant de capacités cognitives et réactives (ex : planification réactive)

Petit historique (1)

SMA nés de

- de l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) : réaliser des organisations de systèmes capables de résoudre des problèmes
- de la « Vie Artificielle » (VA) : concevoir des systèmes bio-inspirés
- Tableau noir (Hearsay II, Hayes-Roth et Lesser, 77)
- BEINGS (Lénat, 75) communauté de spécialistes appelés « beings » capables de résoudre une tâche par lui-même \neq SC car perpétuellement modifiés pendant l'exécution
- PLANNER (Hewitt, 72) : vision distribuée du contrôle
« patterns » d'envois de messages entre « acteurs » (Hewitt, 77)
Résolution de problèmes = activité d'une assemblée d'experts avec confrontation de points de vue
- Naissance des langages d'acteurs caractérisés par
 - leur communication par messages asynchrones bufferisés
 - le passage de la continuation du calcul

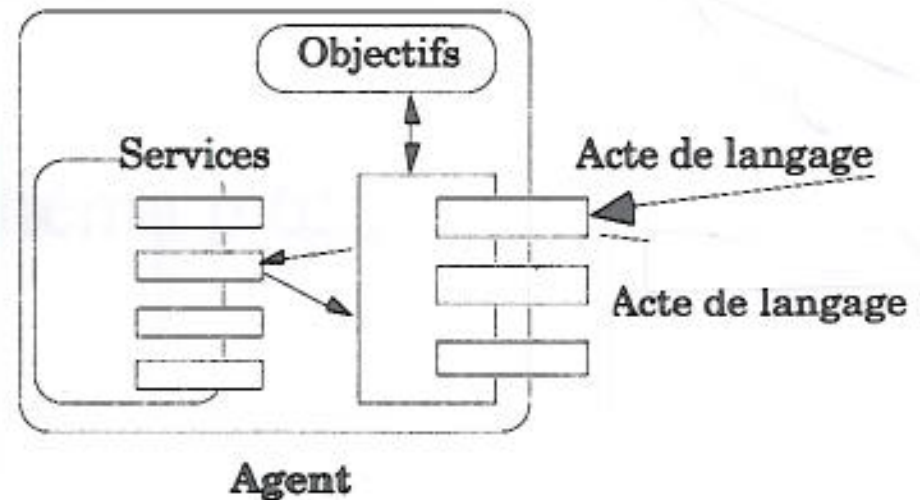
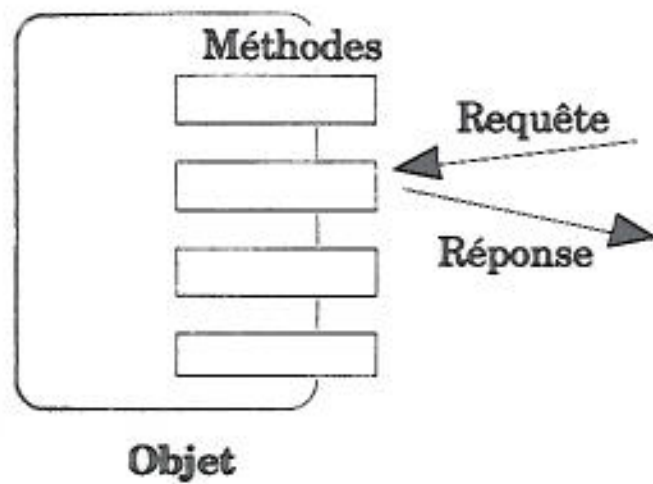
Petit historique (2)

- DVMT (Lesser et Corkill, 83) : modéliser des véhicules à partir d'informations de capteurs (redondantes, contradictoires et bruitées)
Planification multi-agent à l'aide de plans partiels : coopération et de négociation
- MACE (Gasser et al., 87) : composants essentiels d'une plate-forme générique
Notion d'envoi de messages + notion de représentation d'autrui + raisonnement sur ses compétences et ses croyances
- Contract net (Smith, 79) : système d'allocation de tâches fondé sur le protocole d'appels d'offre. Chaque agent est un décideur ou un exécutant
Diffusion les demandes le long d'un réseau
- Aujourd'hui
 - école américaine : SMA cognitifs composés d'un petit nombre d'agents très IA
 - formalisation logique : agents rationnels autonomes (Belief, Desir and Intention)
 - actes de langages et SMA : communications dans les SMA (KQML, Fipa ACL, ...)
 - réseaux de Petri : analyse, conception et validation de SMA
 - agents réactifs : mouvance vie artificielle

Objets/acteurs/agents

- Objets
 - relation classe/instance
 - héritage : dériver une classe d'une autre et faire bénéficier la première des caractéristiques de la seconde
 - envoi de message : par appel de procédures polymorphes (code différent)
 - niveau d'implémentation et d'exécution : langages à objets
- Acteur
 - communiquent par envoi de messages asynchrones bufferisés
 - n'attendent pas le retour d'un calcul : réponse envoyée à un autre acteur
 - niveau d'implémentation et d'exécution
- Agents
 - tentent de satisfaire des objectifs
 - peut refuser d'effectuer un travail (manque de compétences, trop occupé,...)
 - communication : pas uniquement des demandes d'exécution informations ou demandes d'informations
 - niveau conceptuel

Objets/acteurs/agents



Applications

- Résolution distribuée de problèmes : conception de produits industriels, compréhension du langage naturel
- Résolution de problèmes distribués : DVMT, surveillance et diagnostic de réseau
- Simulation multi-agent
 - représenter les individus, leurs comportements et leurs interactions
 - recherche de modèles
 - Contrôler des caractéristiques et reproduire des séries expérimentales
SIMDELTA (delta du Niger au Mali), SIMPOP (évolution de fonctions urbaines)
- Construction de mondes synthétiques
 - situations jouets ou réelles simplifiées pour analyser certains mécanismes
 - exemples : proies-prédateurs, robots explorateurs, ...
- Robotique distribuée
 - robotique mobile : robots coopérant pour accomplir une mission
 - robotique cellulaire : robot articulé, chaque composant est un agent

Interaction

- Interaction
 - mise en relation dynamique de plusieurs agents
 - conséquences d'actions de plusieurs agents en même temps
 - élément nécessaire à la constitution d'organisations sociales
- Situation d'interaction

comportements résultant du regroupement d'agents devant satisfaire leurs objectifs en tenant compte des ressources limitées et de leurs compétences individuelles
- 3 critères
 - objectifs ou intentions des agents (buts compatibles ou incompatibles)
 - ressources que les agents possèdent (mécanismes de résolution de conflit, de coordination d'actions pour anticiper les conflits)
 - moyens dont les agents disposent pour parvenir à leurs fin (compétences suffisantes ou non)

Types d'interaction

Buts	Ressources	Compétences	Types de situation	Catégorie
Compatibles	Suffisantes	Suffisantes	Indépendance	Indifférences
Compatibles	Suffisantes	Insuffisantes	Collaboration simple	Coopération
Compatibles	Insuffisantes	Suffisantes	Encombrement	Coopération
Compatibles	Insuffisantes	Insuffisantes	Collaboration coordonnée	Coopération
Incompatibles	Suffisantes	Suffisantes	Compétition individuelle pure	Antagonisme
Incompatibles	Suffisantes	Insuffisantes	Compétition collective pure	Antagonisme
Incompatibles	Insuffisantes	Suffisantes	Conflits individuels pour des ressources	Antagonisme
Incompatibles	Insuffisantes	Insuffisantes	Conflits collectifs pour des ressources	Antagonisme

Coopération

= collaboration + coordination d'actions + résolution de conflits

- coopération comme attitude intentionnelle
 - les agents s'engageant dans une action commune après avoir adopté un but commun
 - coopération \Leftrightarrow ? intention de coopérer
 - la coopération ne résulte pas seulement d'une attitude mais doit être comprise en terme de comportement et de résultat
 - la coopération est le *bénéfice positif* obtenu grâce aux interactions des agents (accroissement des performances, résolution de conflits, amélioration de la survie)
- coopération du point de vue de l'observateur
 - la coopération considérée comme l'activité d'un ensemble d'agents par un observateur n'ayant pas accès aux états mentaux des agents
 - *indices de coopération* : ne s'occuper que des comportements observables (coordination de l'action, degré de parallélisation, partage des ressources, robustesse, non-redondance des actions, non-persistance des conflits,...)

Méthodes de coopération

- Regroupement et multiplication
 - rapprochement physique par bloc dans l'espace
 - réseau de communication faisant comme si les agents étaient proches
 - multiplication pour l'augmentation des performances et de la fiabilité
- Communication
 - bénéficier des informations et du savoir-faire des autres agent
(communications par envois de messages ou diffusion d'un signal dans l'environnement)
- Spécialisation
 - agents de plus en plus adaptés à leurs tâches
 - augmentation de la capacité du groupe à résoudre des problèmes semblables
- Collaboration par partage de tâches et de ressources
 - travailler à plusieurs sur une tâche commune (offre et demande ou distribution de tâches)
- Coordination d'actions
 - tâches supplémentaires pour que les actions puissent s'accomplir dans les meilleures conditions
- Résolution de conflit par arbitrage et négociation
 - règles de comportement limitant conflits et préservant individus et sociétés

Organisations (1)

Définition

- agencement de relations entre composants ou individus produisant un système
- façon dont sont réparties les tâches, les informations, les ressources et la coordination d'actions
- organisation concrète : instanciation d'une structure organisationnelle
- structure organisationnelle : classes d'agents caractérisées par les rôles des agents et l'ensemble des relations abstraites entre ces rôles

Niveaux d'organisation

- organisations individuelles \neq organisations collectives
- démarche d'analyse structurée : analyse fonctionnelle, analyse structurale, paramètres de concrétisation

Organisations (2)

- Analyse fonctionnelle
 - organisation : système de rôles caractérisant les fonctions nécessaires à l'organisation pour qu'elle s'adapte à ses finalités et à l'environnement
 - rôles pouvant évoluer avec la dynamique de l'organisation
 - chaque agent dispose de rôles caractérisant les différents services abstraits qu'il peut remplir au sein de l'organisation
- Paramètres de concrétisation
 - répartition des compétences entre agents
 - agents très spécialisés ? ou agents ayant toutes les compétences ?
 - spécialisation ou redondance ?
 - degré de spécialisation :
nb compétences d'un agent / nb compétences nécessaires pour résoudre le pb
 - degré de redondance : proportion d'agents possédant les mêmes compétences

Organisations (3)

Analyse structurale

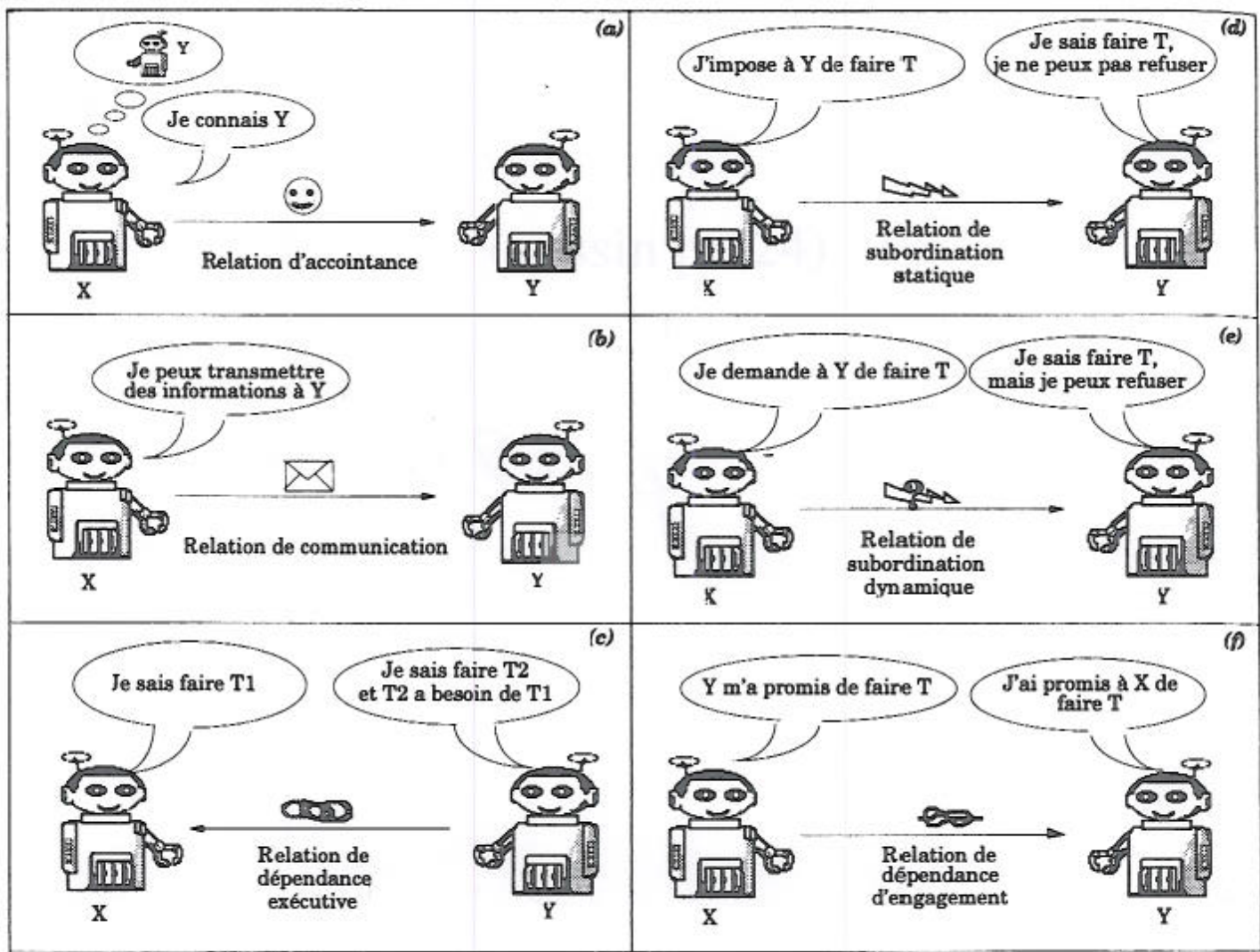
Interactions possibles entre agents en dégagant les relations abstraites qui les relient, et la manière dont elles évoluent

- Agentification : exemple contrôle aérien (Steeb et Camarata, 88)
 - + agents = avions → approche centrée sur l'objet : avion responsable de ses actions via une interaction avec les autres
 - + agents = secteurs d'espace → approche centrée sur l'espace : chaque partie contrôle les objets de son secteur ; avions = objets passifs sous les ordres de la tour de contrôle
 - + agents = phases de pilotage → approche fonctionnelle : phases de pilotage sont des experts gérant de manière centralisée les mouvements de tous les avions
- Relations abstraites
 - + description des formes d'interactions
 - + relations statiques ou dynamiques

Relations entre agents

7 types de relations

- relation d'acointances : A connaît B, il en a une représentation + communications directes
- relation communicationnelle : A est capable d'envoyer des messages à B
- relation de subordination : transfert d'exécution entre A et B ; si relation statique, B ne peut pas refuser, si dynamique, B peut refuser
- relation opérative : dépendances liées aux tâches, A dépend de B pour ses actions ; si dynamique, un agent s'engage à accomplir quelque chose
- relation informationnelle : le savoir de A dépend de celui de B, A s'en remet à B pour certaines croyances,
- relation conflictuelle : conflit entre agents pour accéder à des ressources, nécessité de coordonner les accès
- relation compétitive : compétition entre agents ayant des buts incompatibles



Organisations individuelles

structure d'un agent : plus élaborée pour agents cognitifs que réactifs

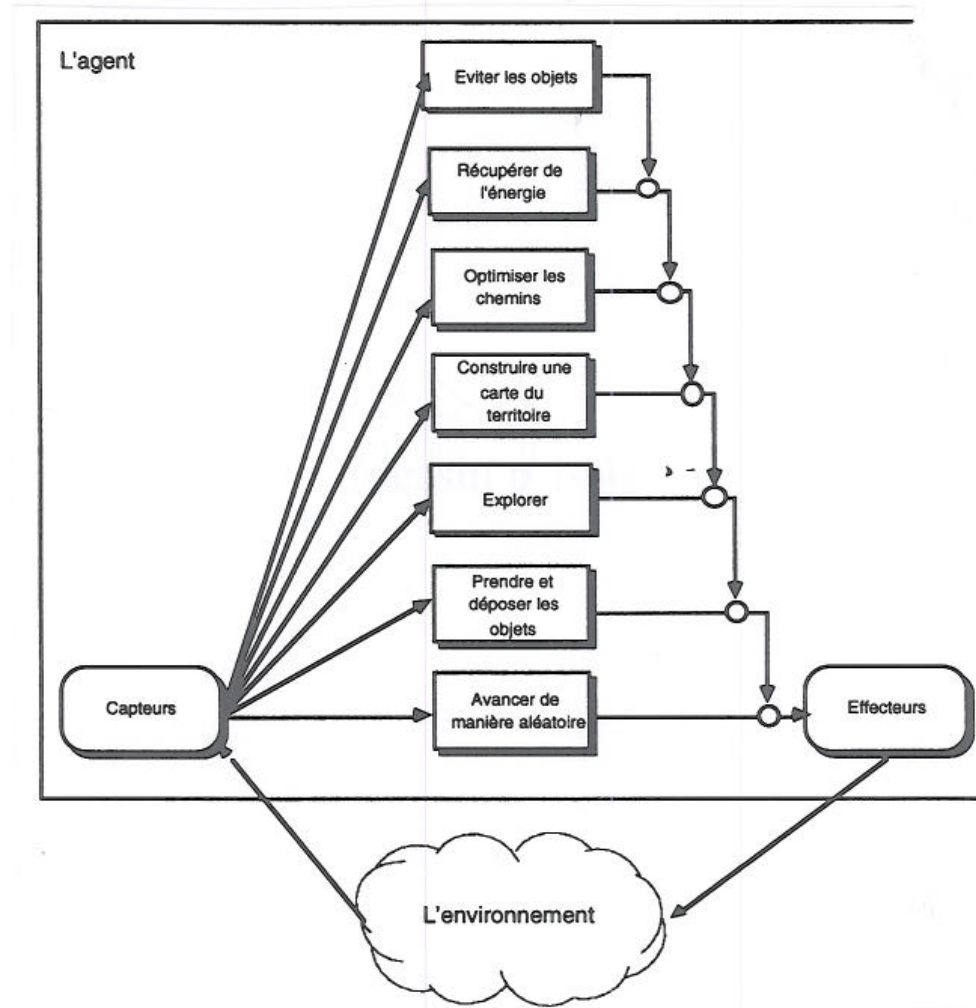
Pour les agents réactifs

- modules verticaux à comportement très limité : interactions fixes entre modules, rapport de dominance défini lors de la conception, tâches en parallèle, mais si conflit, seules informations fournies par le module dominant seront considérées
- algorithmes génétiques
- architecture connexioniste, ...

Pour les agents cognitifs

- système à base de règles de production
- architecture à tableau noir : une des plus utilisées dans les SMA cognitifs symboliques
- modules horizontaux liés par des connexions préétablies : fonctions perceptives et motrices, émission et interprétation des communications, base de croyances, gestion des engagements, expertise du domaine, gestion des buts et prise de décisions, planification des actions)
- Architecture multi-agent

Architecture d'agent réactif



Architecture BDI (agent cognitif)

