

Coordination et Négociation dans les Systèmes Multi-Agents



Bernard ESPINASSE
Aix-Marseille Université (AMU)
LSIS UMR CNRS 7296
2012



Types d'interactions entre agents
Coordination et coopération d'agents
Négociation entre agents

Plan

1. Types d'interactions entre agents

- Types de relations entre les actions des agents
- Types d'interactions entre agents
- Interactions entre agents coopérants : coordination
- Interactions entre agents en conflits : négociation

2. Coordination dans les SMA

- Coordination entre êtres humains
- La coordination dans les SMA : différentes approches
- La coordination comme résolution de problème
- Types de coordination d'action entre agents
- Caractéristiques de la coordination
- Coordination et planification
- Coordination réactive

3. Négociation dans les SMA

- La négociation dans les SMA
- Typologie des négociations
- Réseaux contractuels : Contract Net Protocole (CNP)
- Négociation basée sur la théorie des jeux : Enchères et marchés
- Négociation basée sur les heuristiques
- Négociation basée sur l'argumentation

Références bibliographiques

Cours :

- Gleize M.P., Cours "Intelligence collective", Université de Toulouse, IRIT.
- Quinqueton J., "Systèmes multi-agents", Université de Montpellier, LIRMM.
- Esfandiari B., "Software Agents" Course, University of Carleton, Canada.
- Finin T., Labrou Y., "Tutorial on Agent Communication Languages", University of Maryland Baltimore Country.
- Florea A. M., "Agents et Systèmes Multi-agents", Université de Bucarest, Roumanie.
- ...

Articles :

- Sandholm T.W., "Distributed rational decision making". In Multiagent Systems - A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, G. Weiss (Ed.), The MIT Press, 2001, p.201-258.
- Rosenschein J.S., Zlotkin G., "Designing conventions for automated négociation". In Readings in Agents, M. Huhns & M. Singh (Eds.), Morgan Kaufmann, 1998, p.253-370.
- Jennings N.R., et al. "Automated négociation: prospects, methods, and challenges", Journal of Group Decision and négociation, 2000.
- ...

Références bibliographiques

Livres :

- Ferber J. (95), **Les systèmes multi-agents**, InterEditions.
- Weiss G. - editor (00), **Multiagent Systems**, MIT Press.
- Singh M. (94), **Multiagent Systems**, Springer Verlag.
- Conte R., Castelfranchi C. (1995), **Cognitive and Social Action**, UCL Press.
- Haddadi A. (95), **Communication and Coopération in Agent Systems**, Springer Verlag.
- Dennett, D. C., 1987. "The intentional stance", MIT Press.
- O'Hare G.M.P. & Jennings N.R. - editors (96), **Foundations of Distributed Artificial Intelligence**, Wiley-Interscience.
- Bradsham M. - editor (97), **Software Agents**, AAAI Press - The MIT Press.
- Huhns M.N. & Singh M.P. - editors (97), **Readings in Agents**, Morgan-Kaufmann.
- ...



1. Types d'interactions entre agents

- Types de relations entre les actions des agents
- Types d'interactions entre agents
- Interactions entre agents coopérants : coordination
- Interactions entre agents en conflits : négociation

Types de relations entre les actions des agents [Von Martial 92]

Lorsque les agents réalisent leurs actions, certaines **actions exécutées simultanément** peuvent soit entraîner des **conflits** soit **améliorer les performances**

Catégories de relations pouvant exister entre ces actions [Von Martial 92]:

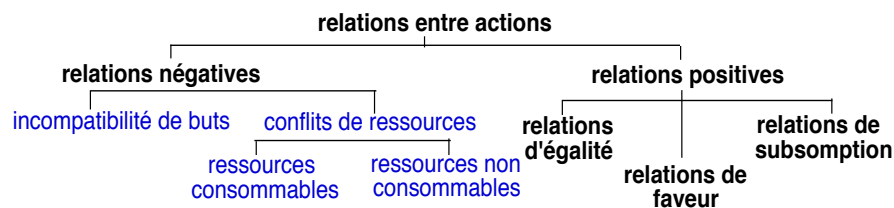
- **relations négatives** (ou **conflictuelles**) :

gênent ou empêchent plusieurs actions de se réaliser simultanément : incompatibilité de buts ou limitation de ressources (Ex: "rester près de la porte" et "ouvrir complètement la porte")

- **relations positives** (ou **synergiques**) :

favorisent les actions en les faisant bénéficier les unes des autres (Ex: "sortir le chien" et "se dégourdir les jambes")

Types de relations entre les actions des agents [Von Martial 92]



relations positives (ou **synergiques**) :

- **relations d'égalité** : certaines actions ne sont pas liées à un agent particulier et peuvent être réalisées par un autre agent
- **relations de subsumption** : l'action a d'un agent A fait partie des actions b d'un agent B, et en réalisant b, B réalise du même coup a
- **relations de faveur** : l'action en se réalisant favorise la possibilité d'en réaliser une autre

Types d'INTERACTIONS entre agents [Ferber 95]

- **Buts compatibles et incompatibles** : le but d'un agent a est incompatible avec celui d'un agent b si les agents a et b ont comme buts respectifs d'atteindre les états décrits respectivement par p et par q et que $p \Rightarrow \neg q$
- **Ressources** = tous les éléments environnementaux et matériels utiles à la réalisation d'une tâche
- **Compétences** (capacités) des agents

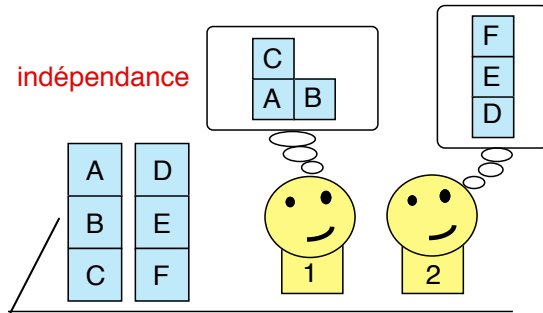
Types d'interactions :

Buts	Ressources	Compétences	Types d'interaction	Catégorie
compatibles	suffisante	suffisante	indépendance	indifférence
compatibles	suffisante	insuffisante	collaboration simple	coopération
compatibles	insuffisante	suffisante	engorgement	coopération
compatibles	insuffisante	insuffisante	collaboration coordonnée	coopération
incompatibles	suffisante	suffisante	compétition individuelle pure	antagonisme
incompatibles	suffisante	insuffisante	compétition collective pure	antagonisme
incompatibles	insuffisante	suffisante	conflits individuels pour des ressources	antagonisme
incompatibles	insuffisante	insuffisante	conflits collectifs pour des ressources	antagonisme

Indifférence : Indépendance des agents

pas d'interactions entre les agents du fait que qu'ils ont :

- des **buts compatibles** (autrement dit leurs buts ne sont pas en conflits)
- des **ressources suffisantes**
- les **capacités requises**



Coopération entre agents

un agent **doit coopérer** avec d'autres agents du fait :

- qu'il n'est **pas capable** de l'accomplir **seul** ou
- que les **autres sont plus efficaces**

2 points de vue :

- **des attitudes des agents :**

Ex: des robots qui s'aident pour porter du poids

- **de l'observateur qui interprète à posteriori les comportements :**

Ex: construction d'un nid de termites

- **interdépendance des actions**
- **nombre de communications effectuées**

Coopération entre agents

la coopération s'étend de :

- **la coopération totale :**

les agents peuvent **délaisser leurs buts pour répondre aux besoins des autres agents** afin d'assurer une meilleure **coordination**:

- généralement mise en oeuvre dans la résolution distribuée de problèmes
- nécessite de nombreuses communications

- **à l'antagonisme total :**

les agents **ne coopèrent pas**, leurs **buts respectifs** sont **bloqués** : les communications sont minimales => **négociation**

Coopération : Collaboration simple

les agents ont :

- des **buts compatibles**
- des **ressources suffisantes**
- des **capacités insuffisantes**
- **partage** de **tâches** et d'**informations**

Ex: collaboration de spécialistes pour la résolution d'un problème qu'aucun n'a la capacité de résoudre tout seul

Coopération : Encombrement

les agents ont :

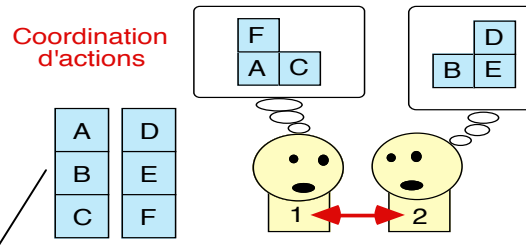
- des **buts compatibles**
- des **capacités suffisantes**
- des **ressources insuffisantes**

Ex: les agents vont donc se gêner- => conflits sur les accès aux ressources: cas du trafic aérien, gestion de stocks, ...

Coopération : Collaboration coordonnée

les agents ont :

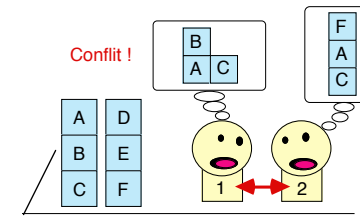
- des **but**s compatibles
- des **capacités** suffisantes
- des **ressources** insuffisantes



4 buts génériques pour établir la coopération [Durfee & al. 89]:

- **accroître le taux de finalisation des tâches** : grâce au parallélisme et aux interactions positives
- **accroître le nombre de tâches réalisables** : grâce au partage de ressources (information, expertise, ...)
- **accroître les chances de finaliser des tâches** : en les dupliquant et en utilisant éventuellement des modes de réalisation différents
- **réduire les interférences entre tâches** : en évitant les interactions négatives

Antagonisme : Compétition



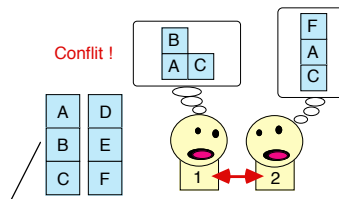
Compétition individuelle pure

- buts **compatibles**
 - capacités **suffisantes**
 - ressources **suffisantes**
 - les agents doivent négocier ou "lutter" pour atteindre leurs buts.
 - Il y a compétition pure car l'accès aux ressources n'est pas un enjeu.
 - Il n'y a pas d'interaction en vue d'une coordination des efforts.
- Ex: compétitions sportives individuelles

Compétition collective pure

- buts **incompatibles**
 - ressources **suffisantes**
 - capacités **insuffisantes**
 - les agents se regroupent (coalitions) en vue d'atteindre leurs buts.
 - groupes (coalitions) d'agents unis par des liens de collaborations coordonnées.
 - les groupes s'affrontent entre eux.
- Ex : course en équipe avec passage de relais

Antagonisme : Conflits entre agents



Conflits individuelles pour les ressources

- buts **incompatibles**.
 - capacités **suffisantes**.
 - ressources **insuffisantes** (risques de conflits).
- Ex: compétition pour un poste dans une entreprise, compétition entre entreprises pour avoir une position dominante sur le marché.

Conflits collectifs pour des ressources

- buts **incompatibles**
 - capacités **insuffisantes**
 - ressources **insuffisantes**
 - les agents doivent s'associer ou se regrouper pour acquérir des ressources
- Ex : Affrontements en équipes (football, ...)

Interactions entre agents COOPÉRANTS : COORDINATION

Contexte :

- agents **coopérants**, pas d'antagonismes entre agents, parfois des conflits liés aux ressources
- **tenir compte des contraintes** que les actions des autres agents impliquent sur le choix des actions de chaque agent
- **coordination classique** : les agents doivent être en mesure de reconnaître les interactions entre les différents sous-buts pour pouvoir, soit les ignorer, soit les résoudre
- **coordination dynamique** : les agents se communiquent leurs plans (partiels) et leurs buts selon un niveau d'abstraction approprié (partial global planning):
 - ces communications vont permettre à chacun d'anticiper quelles seront les actions futures des uns et des autres => augmenter la cohérence de l'ensemble
 - comme les agents coopèrent, le receveur d'un message peut utiliser les informations reçues afin d'ajuster sa propre planification

Interactions entre agents EN CONFLIT : NEGOCIATION

Contexte :

- agents **sont en conflits**, antagonismes (agents ego-centrés)
- la coordination des **interactions** entre les agents se basent principalement sur la **négociation** :
 - utilisée comme **méthode de coordination** et de **résolution de conflits**
 - utilisée pour l'**allocation de tâches** et les **changements de plans**
 - **difficile à définir** de façon précise

Négociation entre agents égo-centrés :

résolution décentralisée de conflits par les agents :

- possédant une **rationalité limitée**
- possédant des **informations incomplètes**
- pouvant **s'échanger** de manière itérative des **propositions** et des **contre-propositions**



2. Coordination dans les SMA

- **Coordination entre êtres humains**
- **La coordination dans les SMA : différentes approches**
- **La coordination comme résolution de problème**
- **Types de coordination d'action entre agents**
- **Caractéristiques de la coordination**
- **Coordination et planification**
- **Coordination réactive**

Coordination entre êtres humains [Mintzberg]

3 processus fondamentaux de coordination :

Coordination par ajustement mutuel :

- les personnes doivent **s'échanger de nombreuses informations**
- les personnes doivent **faire plusieurs ajustements** à leurs propres **comportements en tenant compte des comportements des autres** personnes
- aucune personne n'a de contrôle sur les autres personnes

Coordination par supervision directe :

- par ajustement mutuel on établit une **relation** dans laquelle une des personnes a le **contrôle** sur les autres : **superviseur**
- le superviseur **supervise** l'utilisation des **ressources**
- le superviseur peut **imposer** des **comportements** aux autres personnes

Coordination par standardisation :

- le superviseur **coordonne** les activités
- pour cela, il **établit** des **procédures** que doivent suivre les personnes subordonnées dans des **situations identifiées**

Coordination dans les SMA

Objet : éviter comportement chaotique, maintenir la **cohérence** de l'ensemble

Agents superviseur :

- détient des informations de haut niveau sur les agents
- peut **créer des plans d'actions** et **assigner les tâches** aux autres agents
- doit **connaître** à tout moment les **buts**, les **connaissances** et les **activités** des autres agents

=> difficile à mettre en place dans la pratique

Questions auxquelles la coordination doit répondre :

- **Avec quel(s) agents** se coordonner ?
- **Quand ? et où ?** doit-on **accomplir** les actions de coordination ?
- **Comment détecter** et **traiter** les **interactions entre actions** (conflits, renforcements) ?
- **Comment maintenir la coordination** ?

La coordination dans les SMA : différentes approches

Approche de Jennings :

- **Engagements** (promesses en vue de réaliser certaines actions): avec les engagements des autres agents, un agent peut prédire les actions qu'il peut faire, et les coordonner avec celles des autres
- **Conventions** (lois sociales partagées par tous les agents) : elles permettent de faire le suivi des engagements dans des circonstances changeantes, en définissant les conditions pour lesquelles ils doivent être réévaluées, et spécifier alors les actions à exécuter (Ex: code de la route)

Approche de von Martial : basée sur les **relations positives** et les **relations négatives** entre les actions des agents

Approche de Malone :

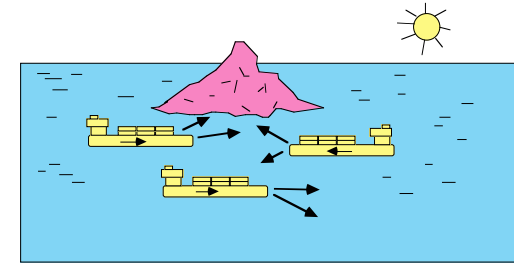
- **Buts** : identification et sélection de buts
- **Plans** : mapping des plans aux buts (planification)
- **Agents** : mappings des buts aux agents (allocation de buts et négociation)
- **Interdépendances** : gestion des interdépendances (allocation de ressources, ordonnancement et synchronisation)

La coordination comme résolution de problème [J. Ferber 95]

Avec qui coordonner ses actions ? solution souvent donnée par le **problème lui-même** (Ex: contrôle aérien, ...)

Comment ? en s'appuyant sur :

- **les dépendances mutuelles entre actions** : utiliser au mieux les **degrés de liberté** des agents
- **les relations entre actions** : analyser les relations positives et négatives



=> ici modifier le moins possible le comportement des agents les plus contraints

Types de coordinations d'action entre agents

4 types principaux :

- **Coordination par synchronisation (par ajustements mutuels):**
 - coordination de bas niveau (implémentation)
 - formalisme de description et de preuve : réseau de Pétri

Ex: synchronisation de mouvements (jambes d'un cycliste), synchronisation d'accès à une ressource
- **Coordination par planification (de centralisé à distribuée):** l'action comme processus de coordination ; 3 types :
 - planification centralisée pour agents multiples
 - coordination centralisée pour plans partiels
 - coordination distribuée pour plans partiels
- **Coordination par réglementation (standardisation):** par exemple par l'usage de **code**, **loi** ou **conventions sociales** (code de la route)
- **Coordination réactive** : de type stimulis-réponse (agents réactifs)

Caractéristiques de la coordination : temporelles et organisationnelles [Ferber 95, Durfee & al. 89]

- **caractéristiques temporelles:** rapidité, adaptabilité, prédictivité du système de coordination :

	synchronisation	planification	réactive	règlement
rapidité	très bonne	faible	très bonne	bonne
adaptabilité	très faible	faible	très bonne	bonne
prédictivité	faible	très bonne	faible	moyenne

- **caractéristiques organisationnelles:** manière dont est organisée la coordination : centralisation/distribution, mode de communication, liberté de manoeuvre :

	synchronisation	planification	réactive	règlement
distribution	indifférent	indifférent	indifférent	centralisé
communication	message	messages	stimuli/marques	indifférent
liberté	très faible	faible	grande	assez faible

Caractéristiques de la coordination : qualité, réalisation et généralisation [Durfee & al. 89, Ferber 95]

- **Qualité et d'efficacité**: qualité des résultats de la coordination, évitement de conflit, nombre d'agents pouvant être coordonnés
- **Réalisation**: quantité d'informations nécessaires, degré de représentation mutuelle, difficulté de mise en oeuvre
- **Généralisation**: la coordination est-elle assez générale pour autoriser une hétérogénéité des agents ou s'appliquer à différents domaines

	synchronisation	planification	réactive	règlement
qualité	assez bonne	très bonne	assez bonne	bonne
évit. de conflits	bon	bon	faible	bon
nb agents	grand	faible	très grand	grand
échanges	moyen	beaucoup	peu	peu
représentations	peu	beaucoup	peu	peu
mise en oeuvre	moyenne	difficile	facile	moyenne
hétérogénéité	faible	très faible	élevée	moyenne
généralisation	faible	moyenne	moyenne	moyenne

Coordination par planification centralisée

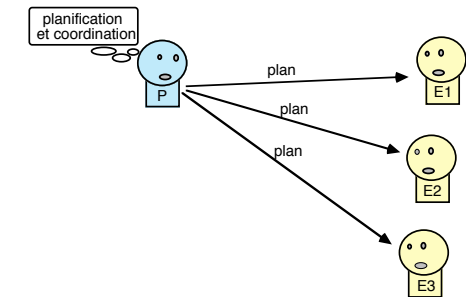
un système (ou agent) central planifie et distribue les plans aux agents, en résolvant les problèmes de synchronisation et d'allocation de ressources :



les autres agents sont simplement des exécutants

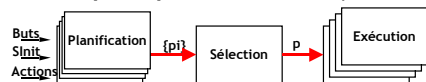
3 étapes :

1. plan général partiel, exprimé sous forme d'un graphe acyclique
2. branches pouvant être en parallèle, points de synchronisation quand elles se joignent
3. allocation des tâches aux exécuteurs



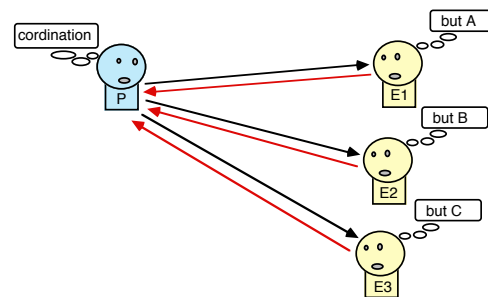
Coordination centralisée pour plans partiels

- un seul coordinateur, plusieurs planificateurs-exécuteurs
- la planification est distribuée
- la coordination par fusion des plans partiels construits par les agents est centralisée



3 cas possibles :

1. Indépendance des actions
2. Relations positives entre actions
3. Relations négatives et conflits de ressources

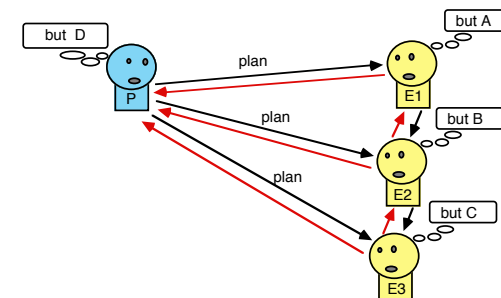


Coordination distribuée pour plans partiels

- plusieurs planificateurs-exécuteurs, qui peuvent se communiquer leurs plans
- coordination par échange de plans partiels jusqu'à satisfaction des buts



- la planification, comme la coordination des plans, sont distribués :



Coordination distribuée pour plans partiels

Questions :

- **avec qui** coordonner ses plans?
- **quand les** coordonner?

Problèmes :

- détecter les **synergies** et les **conflits**
- **convergence** des plans (**Ex : système PGP (Lesser, Durfee, Decker,...)**)
- hypothèse d'**homogénéité** des agents
- limitation du **nombre d'agents**
- hypothèse de **régularité du monde**
- **problèmes temporels** : durée des actions, simultanéité

Solutions envisageables :

- hiérarchisation des plans
- engagement des agents
- ...

Coordination réactive

Coordination adaptée aux agents réactifs :

- **Coordination par action située :**
 - proximité: champ de potentiel
 - outil commun: synchronisation
- **Coordination du comportement de meute aux systèmes anticollision :**
 - les techniques élémentaires
 - des robots collectifs
 - les bancs de poissons
 - les champs de forces symétriques
- **Marquage de l'environnement :**
 - marques et synchronisation d'action
 - marques et amélioration des performances
- **Actions de coordination:** robots miniers

3. Négociation dans les SMA



- La négociation dans les SMA
- Typologie des négociations
- Réseaux contractuels : Contract Net Protocole (CNP)
- Négociation basée sur la théorie des jeux : Enchères et marchés
- Négociation basée sur les heuristiques
- Négociation basée sur l'argumentation

Négociation entre agents

Dans les SMA, la **négociation** = processus par lequel des agents résolvent leur conflits en :

- **coordonnant** leurs actions
- **se partageant** des ressources limitées
- **faisant valoir leurs points de vue différents**

Ceci afin de trouver **satisfaisant au mieux** leurs intérêts respectifs.

Remarque :

la négociation est une approche possible, d'autres alternatives pourraient être :

- de **décider de manière autoritaire** (mais on n'explique pas les conflits et on peut altérer les intérêts des agents)
- de **faire voter les agents**.

Définitions de la négociation entre agents

Une définition faible [Bussmann & Muller 92]:

"....negotiation is the communication process of a group of agents in order to reach a mutually accepted agreement on some matter."

"... la négociation est un processus de communication d'un groupe d'agents permettant d'atteindre un accord mutuellement accepté ..."

- **Accord pouvant être sur** : un prix, le choix d'un lieu et d'une date de réunion, d'une action commune, d'un objectif commun, ...
- **Processus nécessitant** : l'échange d'information, la relaxation de buts initiaux, des concessions mutuelles (recherche d'un consensus)

Remarques :

- pour négocier les agents doivent **raisonner** sur les **croiances, désirs et intentions des autres agents** [Rao & Georgeff 95]
- **usage de divers techniques d'IA et de mathématiques** (logique, raisonnement par cas, révision de croyances, optimisation, théorie des jeux, ...)

Grands types de négociation

Négociation compétitive (Competitive negotiation):

- les agents **d'intérêts différents** tentent un **choix de groupe** sur des alternatives bien définies ("agents of disparate interests attempt to make a group choice over well-defined alternatives" [Rosenschein & Zlotkin 94])
- ils ont des **buts indépendants** et **interagissent** entre eux
- ils sont a priori **pas coopératifs**, en **compétition** mais **partagent de l'information**

Ex: achats-ventes sur le Web, accès à une ressource commune, planification de rendez-vous, partage de tâches, etc. Commerce électronique : (KASBAH [Chavez & Maes, 1996], MAGMA [Tsvetovaty & Gini, 1996], ...)

Négociation coopérative (Cooperative negotiation):

- les agents ont un **but commun unique** ("a global goal/single task envisioned for the system" [Smith & Davis 81])
- les agents sont **collaboratifs**, ils **coopèrent**

Ex: le contrôle aérien, collaboration de stratégies dans le domaine des batailles navales pour définir la meilleure tactique, ...

Principes généraux de la Négociation Compétitive

Elle implique :

- un **nombre limité d'agents**
- un **langage commun**, un **cadre commun** (une abstraction du problème et de ses solutions), des **actions essentielles** (agents) : **proposer, contre-proposer, appuyer, accepter, rejeter, écarter, se retracter**
- de la **connaissance spécialisée de négociation** (peut être codée dans des agents tiers « Facilitateurs »)

Concepts principaux :

- un **accord** : un **plan** commun entre 2 agents satisfaisant les buts de chacun
- l'**utilité d'un accord** pour un agent : le montant qu'il accepte de payer moins ce que l'accord lui coûte
- l'**ensemble de négociation** : l'ensemble de tous les accords qui ont une utilité positive pour chaque agent

Situations possibles d'interaction [Rosenschein & Zlotkin 94] :

- le **conflit**: l'ensemble de négociation est vide
- le **compromis**: les agents préfèrent être seul, mais acceptent un accord négocié
- le **consensus** : les 2 agents préfèrent tous les accords de l'ensemble de négociation plutôt que d'atteindre leurs buts individuellement

Composantes du modèle de négociation dans les SMA

- **langage de négociation** (fonctionnement de la société d'agents) : composé d'un **ensemble de primitives de communication** précisant la manière dont les agents communiquent
- **protocole de négociation** (fonctionnement de la société d'agents) : **ensemble des règles qui régit la négociation** (propositions légales, états de la négociation)
- **objets de négociation** : c'est sur ces **objets** que porte la **négociation** (e.g prix, délai, temps de réponse)
- **processus de décision** (fonctionnement de l'agent) :
 - c'est le **coeur** de fonctionnement et l'intelligence de la négociation
 - il oriente la **stratégie** de l'agent au cours de la négociation
 - la stratégie peut être entièrement **définie et immuable**, ou alors **modifiable** en fonction des **stratégies des autres** agents (observation, supposition).

La **cardinalité des participants** de la négociation : négociation un-à-un, un-à-plusieurs, plusieurs-à-plusieurs.

Théorie de la négociation [Rosenschein & Zlotkin 94]

Proposée par Rosenschein et Zlotkin, elle établit des **propriétés particulières** pour certains domaines de négociations, pour **élaborer** des **protocoles spécifiques** :

"We are not interested in describing the ways humans interact, and simulating that behavior in machines. Instead, we are interested in creating social environments for machines with provably optimal, beneficial behavior. Rather than describing a social phenomenon, we are doing social engineering, helping designers establish an automated society's rules"

Elle formule 5 hypothèses :

1. **maximisation des utilités** : les agents doivent être conçus pour **maximiser leurs utilités**
2. **absence d'effets de mémoire des négociations passées** : les **actions** des agents **indépendantes** des éventuelles **négociations passées**
3. **comparaison des utilités** : les **stratégies** des agents sont **visibles** des **autres agents**
4. **capacités symétriques** : les **agents** ont les **mêmes capacités** et des **ressources illimitées** pour atteindre leurs **buts**
5. **absence de transfert d'utilité entre agents** : les agents **ne peuvent transférer** vers d'autres agents, ce qu'ils ont acquis par la négociation.

Théorie de la négociation : Domaines de négociation

Elle définit **3 domaines de négociation** permettant de classer les différents types d'interactions et choisir le meilleur protocole de négociation :

1. Domaines orientés tâches (TOD : Task Oriented Domains) :

- les agents ont pour but de réaliser leurs tâches dont la **réalisation** est **indépendante** des autres
- il n'y a **pas d'interactions implicites** entre les **agents**
- domaine **naturellement coopératif**

2. Domaines orientés états (SOD : State Oriented Domains) :

- les agents tentent de **déplacer l'environnement** dans lequel ils évoluent d'un état donné **vers un autre** qui leur est **plus favorable**
- les **actions des agents** peuvent avoir des **effets de bords** et **influencer** sur les **buts des autres**
- domaines où des **conflits réels peuvent apparaître** car :
 - les **agents** peuvent avoir des **buts différents**
 - un **état final satisfaisant les buts de tous les agents** peut ne **pas exister**

Théorie de la négociation : Domaines de négociation

3. Domaines orientés utilité (WOD : Worth Oriented Domains) :

- les agents peuvent **paramétrer les buts qu'ils ont à atteindre**.
Alors que dans le TOD, un but consiste à réaliser une tâche et que dans le SOD un but consiste à atteindre un certain état (sans relaxation possible) ;
- les agents ont pour objectif **d'atteindre tout ou partie d'un but** :
 - modulation faite par une **fonction d'utilité** dirigeant le comportement des participants
 - l'utilisation des fonctions d'utilité permet aux participants **de faire des compromis, fléchir** sur leurs **buts** et **relaxer des contraintes**
 - pour décider, les agents attribuent un gain pour chaque état final possible et ils ont pour but d'atteindre un état final qui **maximise leur fonction d'utilité** (état final peut être un sous-ensemble des buts qu'il s'est fixé au départ)
- les agents **favorisent la coopération** et contribuent à trouver une **solution optimale commune**.

Théorie de la négociation : Propriétés des protocoles

Protocole de négociation : définit l'ensemble des actions possibles des agents
Propriétés des protocoles pour aider la conception des systèmes de négociation automatisés [Rosenschein et Zlotkin] :

1. Efficacité : la situation d'accord conclue doit être :

- **Pareto-optimale** : une situation S1 est dit Pareto optimale si \forall S2 une autre situation : (1) aucun agent ne préfère S2 à S1 et (2) au moins un agent préfère S1 à S2
- ou **globalement-optimale** : la somme des gains des agents est maximisée

2. Stabilité : aucun agent ne peut modifier le protocole de négociation pour l'orienter en sa faveur (forcer les autres à faire des concessions sans en faire)

3. Simplicité : pour être efficace, le protocole doit être léger en nombre de messages échangés et en temps de calcul

4. Distributivité : le protocole n'est pas centralisé

5. Symétrie : le protocole ne doit pas avantager un agent en particulier.

Théorie de la négociation : limites

Certaines hypothèses de travail sont assez irréalistes :

- **Capacités et ressources des agents :**
 - on suppose que les agents ont les **mêmes capacités** et **des ressources illimitées** => système de négociation fortement **symétrique** et **équitable**.
=> Malheureusement, il existe des cas où les capacités des agents et les ressources dont ils disposent sont limitées
- **Conception de la stratégie des agents :**
 - on suppose que la stratégie de chaque agent est **publique** => les concepteurs connaissent la **stratégie optimale** et **l'intègre** en concevant les agents.
=> Si la stratégie de chaque agent est privée et qu'il n'existe aucun mécanisme de découverte de ces stratégies alors la théorie n'est pas applicable. Une alternative possible serait de définir une couche de pré-négociation

Quelques modèles de négociation entre agents

Négociation coopérative (Cooperative negotiation):

- les agents ont un **but commun unique**
- les agents sont **collaboratifs**, ils **coopèrent**

▪ **Contract Net Protocole - CNP [Davis & Smith 81-83]**

Négociation compétitive (Competitive negotiation):

- les agents **d'intérêts différents** tentent un **choix de groupe** sur des alternatives bien définies
- les agents ont des **buts indépendants** et **interagissent** entre eux
- les agents a priori pas coopératifs, en compétition mais partagent de l'information

▪ **Négociation basée sur la théorie des jeux**

- **Equilibre de Nash**
- **Enchères**

▪ **Négociation basée sur les heuristiques**

▪ **Négociation basée sur l'argumentation**

Négociation coopérative : le Contract Net Protocole (CNP) [Davis & Smith 81-83]

Modèle proposé par **Davis et Smith (81-83)**, s'inspire de l'économie de marchés

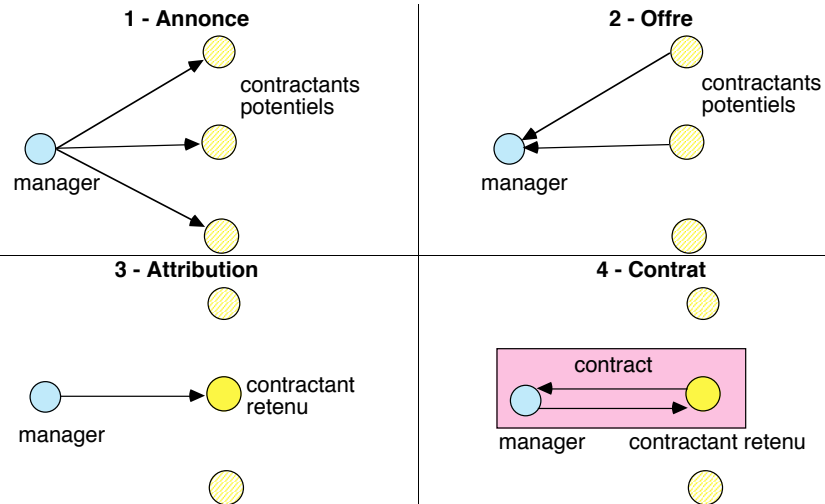
Principe général de la coordination par contrat : "Contract-net":

- les agents peuvent prendre **2 rôles**: **manager** et **contractant**
- un agent manager **décompose un problème** en **sous problèmes**
- il **annonce** ensuite chaque sous-problème à un ensemble d'agents "**contractants potentiels**"
- les **agents contractants évaluent** l'annonce : ils peuvent échanger avec l'agent manager les informations lors de l'accomplissement cette évaluation
- les **agents contractants** qui ont les ressources et capacités nécessaires **font des offres**
- l'**agent manager évalue** les soumissions et **accorde** le contrat à l'agent contractant qui a fait l'offre la meilleure.

Le Contract Net Protocole - CNP [Davis & Smith 81-83]

- le protocole assigne **dynamiquement** des **rôles** (manager/contractant) aux agents
- un **agent manager** ayant une nouvelle tâche :
 - il la **décompose** en sous-tâches
 - il **envoie un message d'annonce** à d'autres **agents contractants** contenant :
 - **un slot adresse** (peut se limiter à celui qui envoie l'annonce)
 - **une spécification d'éligibilité**
 - **une description abstraite de la tâche**
 - **des spécifications d'offre** (à quoi l'offre doit ressembler)
 - **un temps d'expiration**
 - il **attend** les **offres**
- les **agents contractants** intéressés **analysent tous les messages d'annonce** qu'ils ont reçus et **soumettent une offre appropriée** à l'agent manager
- l'**agent manager sélectionne** la meilleure offre et **informe** le contractant avec un message d'offre acceptée
- on garde des **informations** sur les **performances** (rapports intermédiaires/finaux)

Le Contract-Net Protocole - CNP [Davis & Smith 81-83]



Contract net : protocoles

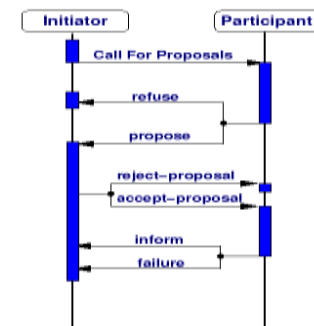
- protocole 1 :
 - **TO :** *
 - **FROM :** AREA 1
 - **TYPE:** TASK ANNOUCEMENT
 - **CONTRACT:** V7786
 - **TASK ABSTRACTION:**
 - task type vehicle
 - vehicle group fundamental fho
 - **EGIBILITY SPECIFICATION:**
 - must have procédure name process-vehicie
 - **BID SPECIFICATION** nil
- protocole 2 :
 - **TO:** VEHICLE 1
 - **FROM:** AREA 1
 - **TYPE:** AWARD
 - **CONTRACT:** V7786
 - **TASK SPEC :** v-name v1 group (...) group(...)
 - report recipient AREA I
 - ...
 - **TO:** AREA 1
 - **FROM:** VEHICLE 1
 - **TYPE:** FINAL REPORT

- **CONTRACT:** V7786
- **RESULT DESCRIPTION:** VEHICLE-NAME V1 POSITION LAT 46.9N LONG 16.9E

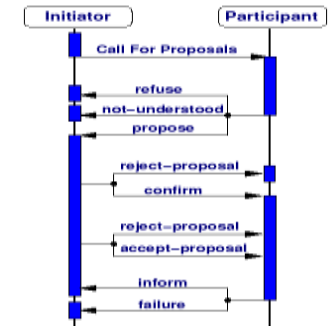
Le Contract Net Protocole - CNP [Davis & Smith 81-83]

Nombreuses extensions du CNP :

- **FIPA 2002 :** tours successifs, confirmation et refus de proposition par la FIPA
- **Sandholm 1993 :** enrichie par un mécanisme de prix (les agents calculent localement leurs coûts marginaux pour réaliser des ensembles de tâches et le choix du contractant se base sur ces coûts)



Actes de langages dans le Contract Net Protocol (FIPA)



Actes de langages dans le Contract Net Protocol étendu (FIPA)

Négociation compétitive : basée sur la théorie des jeux

Critères d'évaluation :

- Critères pour évaluer les protocoles de négociation entre plusieurs agents égo-centrés
- Des agents sont rationaux
- **Comportement rationnel** : un agent préfère une utilité (un profit) plus grande à une plus petite
- **La maximisation du profit** : profits individuels, profits du group, ou bien-être ("welfare") social
- **Bien être social** :
 - La somme des utilités (profits) des agents dans une solution.
 - Mesure le bien global des agents
 - Problème: comment comparer les utilités

Négociation basée sur la théorie des jeux : Critères d'évaluation

Efficacité Pareto :

- Une solution x , i.e., un **vecteur de profit** $p(x_1, \dots, x_n)$, est « **efficace** (ou optimal) **Pareto** », s'il n'y a pas un autre solution x' tel qu'au moins un agent est mieux dans x' que dans x et aucun agent n'est pas pire dans x' que dans x
- Mesure le **bien-être global**, ne demande **pas de comparaison d'utilités**
- **Bien-être social** \subset **efficacité Pareto**

Rationalité individuelle (RI) :

- **RI de la participation d'un agent** : le profit de l'agent dans la solution négociée n'est pas plus petit que celui obtenu si l'agent n'aurait pas négocié
- Un **mécanisme est RI** si la participation est **RI pour tous les agents**

Négociation basée sur la théorie des jeux : Critères d'évaluation

Stabilité :

- un **protocole est stable** si une fois que les agents ont trouvé une solution, ils ne la changent pas
- **Stratégie dominante** : l'agent obtient le profit maximal avec une stratégie indépendante des stratégies utilisées par les autres :

Soit $r = f(\text{Act}_A, \text{Act}_B)$ le résultat (état) des actions Act_A de l'agent A et Act_B de l'agent B

On dit qu'une stratégie $S_1 = \{r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1n}\}$ **domine** une autre stratégie $S_2 = \{r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2m}\}$,

si n'importe quel résultat $r \in S_1$ est préféré à n'importe quel résultat $r' \in S_2$

Négociation basée sur la théorie des jeux : Critères d'évaluation

Équilibre de Nash :

2 stratégies, S_1 de l'agent A et S_2 de l'agent B, sont dans un **équilibre Nash** ssi :

- dans le cas où l'agent A adopterait S_1 l'agent B ne peut pas faire mieux que d'utiliser S_2 et
- dans le cas où l'agent B adopterait S_2 , l'agent A ne peut pas faire mieux que de d'utiliser S_1

Définition généralisée :

- pour plusieurs agents qui suivent les stratégies S_1, S_2, \dots, S_k .
- l'ensemble de stratégies $\{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ suivies par les agents A_1, A_2, \dots, A_k est dans un équilibre de Nash si, pour chaque agent A_i , la stratégie S_i est la meilleure stratégie à suivre par A_i pourvu que les autres agents suivent les stratégies $\{S_1, S_2, \dots, S_{i-1}, S_{i+1}, \dots, S_k\}$

Problèmes :

- si pas d'équilibre de Nash
- si plusieurs équilibres de Nash
- garantit la stabilité seulement au début du jeu

Négociation basée sur la théorie des jeux : Critères d'évaluation

La dilemme du prisonnier :

- Bien-être social ?
- L'équilibre de Nash ?

		Jouer colonne	
		coopération	défection
Jouer ligne	coopération	3, 3	0, 5
	défection	5, 0	2, 2

Considérations sur l'efficacité :

- Pour obtenir une "rationalité parfaite" :
 - Le nombre d'options à évaluer est trop grand
 - Parfois aucun algorithme ne trouve la solution optimale
- Rationalité limitée :
 - limite le temps/ressources pour évaluer les options
 - réduit l'espace de recherche
 - impose des restrictions sur le type d'options

Négociation basée sur la théorie des jeux : Enchères (1)

La théorie des enchères (protocoles, stratégies des agents) :

- Un protocole centralisé, incluant un **initiateur** et **plusieurs participants**
- L'**initiateur** veut vendre un **objet** au **plus grand prix** et les **participants** veulent l'**acheter** au **plus petit prix possible**
- L'initiateur **annonce un objet pour la vente** (parfois l'objet peut être une combinaison d'autres objets, ou un objet avec plusieurs attributs)
- Les participants **font des offres** (peuvent être faites en plusieurs fois, en fonction du type d'enchère)
- L'**initiateur** choisit le **gagnant**

Les paramètres des enchères :

- **Enchères avec valeur privée** : la valeur d'un agent pour un objet dépend seulement de ses préférences privées
- **Enchères avec valeur commune** : la valeur de l'objet dépend complètement de l'évaluation des autres
- **Enchères avec valeur corrélée** : la valeur de l'objet dépend des évaluations internes et externes.

Divers protocoles d'enchères (1)

Enchère anglaise (premier prix – offre publique) :

- chaque participant annonce **publiquement** son offre.
- le participant avec la **plus grande soumission** gagne l'objet au prix de son offre
- **Stratégie** :
 - **Dans les enchères à valeurs privées** : la stratégie dominante est de toujours faire une offre avec un peu plus grande que la plus grande offre actuelle et s'arrêter quand la valeur privée est atteinte.
 - **Dans les enchères à valeurs corrélées** : le participant augmente le prix à un taux constant, ou à un taux qu'il considère approprié.

Enchère premier prix – offre cachée :

- chaque participant soumet une offre **sans savoir les offres des autres**.
- le participant avec la **plus grande soumission** gagne l'objet au prix de son offre
- **Stratégie** :
 - Pas de stratégie dominante
 - Offrir moins que sa vraie évaluation, mais cela dépend des autres soumissions qui ne sont pas connues.

Divers protocoles d'enchères (2)

Enchère Hollandaise (descendante) :

- l'initiateur diminue tout le temps le **prix jusqu'à ce qu'un participant achète l'objet au prix annoncé courant**
- **Stratégie** :
 - Équivalente (en stratégies) avec l'enchère « premier-prix offre-cachée »
 - Efficace en temps réel

Enchère Vickery (deuxième prix – offre cachée) :

- chaque participant soumet une offre **sans savoir les offres des autres**.
- Le **participant avec la plus grande offre** gagne, **mais au prix de la deuxième plus grande offre**
- **Stratégie** : la stratégie dominante du participant est d'offrir sa vraie évaluation

Enchère tous payent :

- chaque participant doit payer le montant de son offre (ou autre montant) à l'initiateur

Problèmes avec les protocoles d'enchères

Des blocages peuvent apparaître

Initiateur menteur :

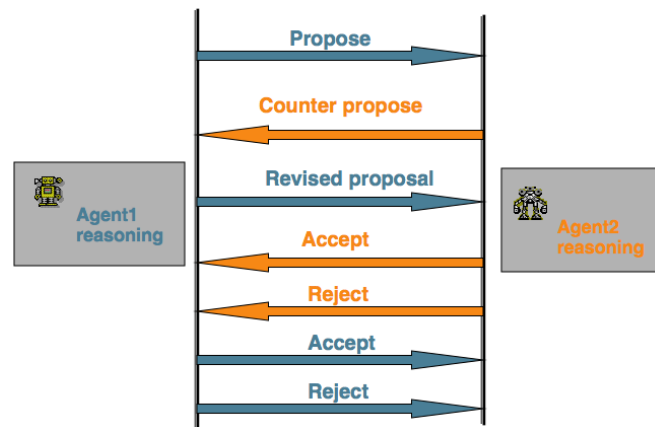
- Problème dans l'**enchère Vickery**
- Problème dans l'**enchère anglaise** : l'initiateur utilise des faux participants dans l'enchère pour augmenter l'évaluation de l'objet par les autres participants
- L'initiateur offre le deuxième plus grand prix pour obtenir son prix réservé, il est possible qu'il arrive à garder l'objet
- Les enchères avec des valeurs communes peuvent être soumises à la malédiction du gagnant (« winner's curse »)
- Des enchères liées : le participant peut mentir sur la valeur d'un objet pour obtenir une combinaison d'objets à leur prix d'évaluation

Négociation basée sur les heuristiques (1)

- Produit une **solution bonne mais pas optimale**
- Négociation basée sur des **heuristiques** :
 - approximations des techniques de la théorie des jeux
 - modèles de négociation informels
- Sans médiateur central
- Les actes de paroles sont privés entre les agents négociants
- Le protocole ne donne pas un cours optimal d'action
- Problème principal: la prise des décisions heuristique pendant la négociation

Négociation basée sur les heuristiques (2)

D'après A.M. Florea :



Négociation basée sur les heuristiques (3)

- L'**objet de la négociation (NO)** peut être :
 - une **action** que l'agent négociateur A demande à un autre agent B d'effectuer
 - un **service** que l'agent A demande à B
 - l'**offre d'un service** que A veut effectuer pour B si B accepte les conditions de A

Un objet (NO) de négociation :

NO03:NO

- **Name:** Paint_House
- **Cost:**Value:100, Type: integer, Modif=Yes;
- **Deadline:**Value: May_12, Type: date, Modif=No;
- **Quality:**Value: high, Type: one of (low, average, high), Modif=Yes

Primitives de négociation :

- **(Request NO)** : demande d'un objet de négociation
- **(Accept_name(NO))** : accepte la demande de NO
- **(Reject_name(NO))** : refuse la demande de NO
- **(ModReq_name(NO) value(NO,X,V1))** : modifie la demande en modifiant la valeur de l'attribut X du NO à une autre valeur V1

Négociation basée sur l'argumentation (1)

- **Arguments** utilisés pour convaincre l'autre d'accepter la proposition faite
- **Différents types d'arguments**
- Chaque type d'argument définit des **pré-conditions** pour son utilisation, si elles sont remplies, alors l'agent peut utiliser l'argument.
- L'agent a besoin d'une **stratégie** pour décider quel argument utiliser
- **On utilise un modèle BDI** : la décision pour choisir le **bon argument** dépend :
 - des propres **buts** et **croyances** de l'agent
 - des **croyances** de l'agent sur l'autre agent.

Négociation basée sur l'argumentation (2)

Exemple : Système d'argumentation ANA [Kraus, Sycara et Evenchik 1998]

- **Les agents ANA** :
 - sont des **agents égocentrés**
 - utilisent une **méthode de négociation** pour essayer de **convaincre les autres** d'accepter leurs propositions en cas de refus.
- **Dans ce but, les agents doivent être capable** :
 - de **représenter** leurs **propres croyances, désirs et buts**,
 - de **raisonner** sur les **croyances, désirs et buts** des **autres agents**
 - d'essayer **d'influencer** les **croyances** et les **intentions** des **autres agents** du système.

Négociation basée sur l'argumentation (3)

Arguments utilisés dans ANA [Kraus, Sycara et Evenchik 98] :

1. Appels à une promesse passée : le négociateur *A* rappelle *B* d'une promesse passée concernant l'objet de négociation « NO », i.e., l'agent *B* a promis dans une négociation passée à l'agent *A* d'offrir ou effectuer un NO.

Pré-conditions: *A* doit vérifier si une promesse d'un NO a été reçue dans passé dans une négociation conclue avec succès.

2. Promesse d'une récompense future : le négociateur *A* promet de faire NO pour un autre agent *B* à un moment dans le futur.

Pré-conditions: *A* doit trouver un désir de l'agent *B* pour un moment dans le futur, si possible un désir qui peut être satisfait par une action (service) que *A* peut effectuer mais *B* non.

Négociation basée sur l'argumentation (4)

Arguments utilisés dans ANA [Kraus, Sycara et Evenchik 98] :

3. Appels au propre intérêt : l'agent *A* croit que arrivant à un accord sur NO est dans l'intérêt de *B* et essaye de convaincre *B* de ça.

Pré-conditions: *A* doit trouver (ou inférer) un des désirs de *B* qui sera satisfaite si *B* a NO ou *A* doit trouver un autre objet de négociation NO' qui a été offert auparavant dans le marché et il croit que NO est mieux que NO'.

4. Menace : le négociateur menace de refuser faire/offrir quelque chose à *B* ou il menace qu'il fera quelque chose qui contredit les désirs de *B*.

Pré-conditions: *A* doit trouver un des désirs de *B* directement satisfaite par un NO que *A* peut offrir ou *A* doit trouver une action qui est contradictoire avec ce qu'il croit être un des désir de *B*.

Exemples de négociations dans les SMA (1)

Kasbah [JS96] :

- plateforme de place de marché virtuelle implémentée au MIT Media Laboratory.
- à la création d'un agent, on définit des paramètres (e.g le prix de vente désiré, le prix de vente minimal) qui sont utilisés au cours de la négociation.
- Kasbah fonctionne dans un mode semi-automatisé : les paramètres de la négociation sont modifiables à tout moment par l'utilisateur, possible aussi de l'utiliser dans un mode automatisé, la stratégie de l'agent repose alors sur des fonctions de type linéaire, quadratique ou cubique.
- La négociation dans Kasbah est de cardinalité 1-N et ne concerne que le prix.

MAGNET [CJMG98] :

- plateforme de place de marché virtuelle utilisant des SMA qui négocient
- prend en compte les aspects liés à la sécurité et aux transactions (une entité centralisée peut traiter plusieurs types de transactions et contrôler les fraudes).
- le protocole de négociation se base sur le CNP.
- dans ce modèle de négociation, il y a un intermédiaire explicite qui interagit avec les agents (système centralisé).

Exemples de négociations dans les SMA (2)

Négociation de ressources dans les réseaux [Jennings et al. 2000] :

- négociation automatisée pour la réservation dynamique de ressources dans les Réseaux Privés Virtuels (VPN), au travers de 3 niveaux successifs de négociation utilisant le CPN étendu :
 - 1. la négociation de cardinalité 1-N (1 contactant, N contactés) entre agents-clients pour organiser un rendez-vous (e.g réunion de vidéo-conférence) à un niveau de service donné
 - 2. la négociation, de cardinalité 1-1 (1 client, 1 fournisseur de service), entre les agents-clients et les agents-services, est initié depuis l'agent-client contactant vers tous les agents-services existants.
 - 3. la négociation, de cardinalité N-M, entre les agents-services et les agents-connexions pour allouer les ressources physiques existantes compte tenu du type de service (e.g vidéo-conférence), des créneaux horaires, de la QoS (bande-passante, gigue, taux de perte)