

## Table des matières

<b>Liste des figures</b> .....	<b>4</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>5</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>6</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>8</b>
<b>Chapitre 1. La radio cognitive</b> .....	<b>11</b>
1.1 Introduction .....	12
1.2 Définitions .....	12
1.2.1 Historique.....	12
1.2.2 Radio cognitive .....	12
1.2.3 Le principe de la radio cognitive .....	13
1.2.4 Radio logicielle (Software radio).....	13
1.2.5 Radio logicielle restreinte (SDR).....	14
1.2.6 Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte .....	15
1.3 Architecture du radio cognitive .....	16
1.4 Cycle de cognition .....	17
1.5 Fonctions de la radio cognitive .....	19
1.5.1 Détection de spectre.....	19
1.5.2 Gestion du spectre.....	20
1.5.3 Mobilité du spectre .....	21
1.6 Domaine d'application de radio cognitive .....	22
1.7 Conclusion .....	23
<b>Chapitre 2. Les systèmes multi-agents</b> .....	<b>24</b>
2.1 Introduction .....	25
2.2 Définition d'un agent.....	25
2.2.1 Les caractéristiques d'un agent.....	26
2.2.2 Architecture concrète pour un agent.....	28

2.2.2.1. Architecture d'un agent logique .....	28
2.2.2.2. Architecture d'un agent réactive .....	28
2.2.2.3. Architecture d'un agent BDI .....	29
2.2.2.4. Architecture d'un agent multi-niveaux .....	30
2.2.3 Modèle type d'un agent .....	31
2.3 Les systèmes multi-agents .....	32
2.3.1 Communication entre les agents .....	32
2.3.1.1. Les protocoles de coordination.....	33
2.3.1.2. Les protocoles de coopération .....	33
2.3.1.3. La négociation .....	33
2.4 Application des systèmes multi-agents dans les télécommunications .....	34
2.4.1 Applications des SMA dans le web .....	35
2.4.2 Application des SMA aux réseaux privés virtuels.....	35
2.4.3 Utilisation des SMA dans le cadre des mobiles de troisième génération et du RI .	36
2.4.4 Application des SMA à la supervision et gestion de réseaux .....	36
2.5 Les plateformes multi-agents .....	37
2.6 Conclusion .....	38
<b>Chapitre 3. Accès dynamique au spectre .....</b>	<b>39</b>
3.1 Introduction .....	40
3.2 Accès dynamique au spectre.....	40
3.2.1 Accès au spectre en utilisant les enchères .....	40
3.2.2 Accès au spectre en utilisant la théorie des jeux.....	41
3.2.3 Accès au spectre en utilisant les approches des Markov .....	42
3.2.4 Accès au spectre en utilisant les systèmes multi-agents .....	42
3.3 Négociation .....	44
3.3.1 Négociation les systèmes multi-agents .....	45
3.3.1.1. Négociation aux enchères.....	45
3.3.1.2. Négociation pour l'allocation des tâches .....	48
3.3.1.3. Négociation heuristique.....	50
3.3.1.3. Négociation par argumentation .....	53
3.4 Conclusion .....	56
<b>Chapitre 4. Problématique, solution proposée et implémentation .....</b>	<b>57</b>

4.1 Introduction .....	58
4.2 Problématique et solution proposée .....	58
4.3 Implémentation des solutions proposées .....	59
4.3.1 Topologie de réseau utilisé .....	59
4.3.2 Scénario proposé.....	59
4.3.3 Algorithmes proposés .....	60
4.3.3.1 Méthode FIFO .....	61
4.3.3.2 Méthode d’enchère à enveloppe scellée .....	61
4.3.3.3 Méthode d’enchère à enveloppe scellée avec programmation dynamique	62
4.3.3.4 Méthode d’enchère anglaise .....	63
4.3.3.5 Méthode d’enchère anglaise avec la méthode d’aide à la décision multicritère TOPSIS .....	65
4.3.3.6 Méthode de négociation heuristique .....	66
4.3.4 Présentation de l’application.....	67
4.4 Conclusion .....	74
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>75</b>
<b>Bibliographies .....</b>	<b>77</b>
<b>Annexe A .....</b>	<b>82</b>
<b>Annexe B .....</b>	<b>86</b>

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Répartition matériel/logiciel dans une radio logicielle .....	14
<b>Figure I.2</b> : Relation entre la radio cognitive et la radio logicielle restreinte .....	16
<b>Figure I.3</b> : Architecture de la radio cognitive .....	16
<b>Figure I.4</b> : Cycle de cognition de Mitola .....	17
<b>Figure I.5</b> : Cycle de cognition simplifié .....	17
<b>Figure I.6</b> : Accès au spectre Coopératif et non-coopératif .....	21
<b>Figure II.1</b> : L'agent dans son environnement .....	26
<b>Figure II.2</b> : Diagramme d'une architecture BDI .....	30
<b>Figure II.3</b> : Architecture horizontale .....	31
<b>Figure II.4</b> : Architecture verticale .....	31
<b>Figure II.5</b> : Les niveaux de description du modèle agent 'ACTOR' .....	32
<b>Figure III.1</b> : Organigramme représentant les types d'enchères .....	47
<b>Figure III.2</b> : Etapes du protocole réseau contractuel .....	49
<b>Figure III.3</b> : Négociation heuristique .....	52
<b>Figure III.4</b> : Protocole de négociation heuristique .....	53
<b>Figure IV.1</b> : Topologie du réseau utilisé .....	59
<b>Figure IV.2</b> : Organigramme de scénario proposé .....	60
<b>Figure IV.3</b> : Exemple sur négociation heuristique .....	66
<b>Figure IV.4</b> : Interface principale de l'application réalisée .....	67
<b>Figure IV.5</b> : Interface d'affichage les résultats obtenus pour l'enchère anglaise .....	68
<b>Figure IV.6</b> : Interface d'affichage les résultats obtenus pour toutes les méthodes proposées. ....	69
<b>Figure IV.7</b> : Interface d'affichage les prix proposés dans chaque tour d'enchère anglaise.....	70
<b>Figure IV.8</b> : Comparaison entre les méthodes proposées en termes de gains obtenus par les PU .....	71
<b>Figure IV.9</b> : Comparaison entre les méthodes proposées en termes de nombre de SU satisfaits .....	72
<b>Figure IV.10</b> : Comparaison entre les méthodes proposées en termes de temps de réponses par les PU .....	72
<b>Figure IV.11</b> : Comparaison entre les méthodes proposées en termes de taux d'occupation les canaux.....	73
<b>Figure A.1</b> : Architecture logiciel de La plate-forme JADE .....	84

## Liste des tableaux

<b>Tableau II.1</b> : Domaines des télécommunications couverts par les entités agent .....	34
<b>Tableau III.1</b> : Comparaison entre un agent et une Radio Cognitive .....	43
<b>Tableau IV.1</b> : Exemple sur la simulation de la méthode d'enchère à enveloppe scellée .....	62
<b>Tableau IV.2</b> : Exemple sur la simulation de la méthode d'enchère à enveloppe scellée avec la programmation dynamique .....	63
<b>Tableau IV.3</b> : Les paramètres liés aux PU .....	68
<b>Tableau IV.4</b> : Les paramètres liés aux SU .....	68
<b>Tableau IV.5</b> : Les résultats obtenus avec un seul tour .....	69
<b>Tableau IV.6</b> : Comparaison entre les méthodes d'un seul tour .....	70
<b>Tableau IV.7</b> : Les résultats obtenus avec plusieurs tours .....	70
<b>Tableau IV.6</b> : Comparaison entre les méthodes d'un plusieurs tours .....	71

## Liste des abréviations

AMS	Agent Management System
MAVT	Multiple Attribute Value Theory
ACC	Agent Communication Channel
ACL	Agent Communication Language
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	l'Agent de Négociation Automatisé
API	Application Programme Interfaces
B2B	Business To Business
B2C	Business To Consumer
BDI	Belief Desire Intention
C2C	Consumer To Consumer
CAN	Conversion Analogique/Numérique
CDDL	Common Development and Distribution Licence
CNA	Conversion Numérique /Analogique
CORMAS	COMmon Resources Multi-Agent System
DA	Dummy Agent
DF	Director Facilitator
EDI	Echange de Données Informatisées
EN	Equilibre de Nash
FIFO	First In First Out
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
IA	Intelligence Artificielle
IAD	Intelligence Artificielle Distribuée
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
JADE	Java Agent Development framework
JVM	Java Virtual Machine
KQML	Knowledge Query and Manipulation Language
KTH	Kungliga Tekniska hogskolan ( Institut royal de technologie)
LTM	mémoire à long terme
MADMC	Méthode d'Aide à la Décision Multicritère
PCS	Personnel Communication Support
PU	Primary User
QoI	Quality of Information
RC	Rdio cognitive
RF	Rdio Frequency
RI	Réseau Intelligent
RLR	radio logicielle Restreinte
SA	Sniffer Agent
SDR	Radio logicielle restreinte
SMA	System multi-agents

SMART	Simple Multi-Attribute Rating Technique
STM	mémoire à court terme
SU	Secondary User
TOPSIS	Technique for Order by Similarity to Ideal Solution
UMTS	Universal Mobile Télécommunication System
UTA	Utility Theory Additive
VHE	Virtual Home Environment
VPN	Réseaux Privés Virtuels
WRAN	Wireless Regional Access Networks

# **Introduction générale**

## 1. Contexte

La croissance fulgurante de l'utilisation des systèmes de communication sans fil et la forte expansion des services mobiles et satellites dans le monde entier a poussé les chercheurs à améliorer les performances de ces réseaux. C'est dans ce cadre que des études sont menées dans le domaine de la radio cognitive par des chercheurs tels que ceux de l'institut Eurocom.

La radio cognitive est un système qui permet à un terminal de pouvoir interagir avec son environnement. Cela signifie que celui-ci sera capable de percevoir son environnement, de le modéliser et de s'y adapter. Il pourra donc détecter les fréquences libres et les utiliser, contribuant ainsi à une meilleure efficacité spectrale.

Le principe de la RC nécessite une gestion alternative du spectre qui est la suivante : un utilisateur secondaire pourra à tout moment accéder à des bandes de fréquence qu'il trouve libres, c'est-à-dire, non occupées par l'utilisateur primaire possédant une licence sur cette bande. L'utilisateur secondaire devra les céder une fois le service terminé ou une fois qu'un utilisateur primaire aura montré des velléités de connexion.

## 2. Problématique

La récente et rapide évolution des technologies sans fil entraîne une forte demande en termes de ressources spectrales. On ne prévoit que la demande de fréquences continue d'augmenter avec le développement de nouvelles techniques de télécommunications ce qui augmente l'allocation du spectre statique qui est un problème majeur dans les réseaux dans les réseaux sans fils.

Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé la théorie des enchères et négociation heuristique qui sont des techniques d'accès dynamique au spectre pour résoudre le problème d'encombrement.

## 3. Contribution

La résolution coopérative de problèmes prend une place prépondérante dans les recherches en IAD (Intelligence Artificielle Distribuée). Un domaine de recherche relativement complexe, dérivé de l'IAD, est celui des Systèmes Multi Agents (SMA).

Nous avons mis en place plusieurs méthodes telles qu'une variante FIFO, l'enchère à enveloppe scellée avec et sans programmation dynamique, l'enchère anglaise avec sans méthode d'aide à la décision multicritère TOPSIS et négociation heuristique. Toutes ces



méthodes ont été implémentées à l'aide de l'outil JADE. Les résultats obtenus nous permis de confirmer que l'utilisation d'enchère anglaise avec la méthode l'aide à la décision multicritères TOPSIS a beaucoup d'avantage en termes de gain obtenu par les PU, nombre de SU satisfaits et le temps d'occupation les canaux.

#### **4. Plan de travail:**

Ce modeste mémoire est composé de quatre chapitres, ils sont organisés comme suit:

##### **Chapitre 1 :**

S'attarde à décrire le cadre général de notre mémoire à savoir la radio cognitive. Un petit aperçu sur la radio logicielle sera donné pour ensuite décrire la relation entre cette dernière et la RC. Par la suite, les différentes phases du cycle de cognition seront détaillées pour comprendre le fonctionnement exact de ce paradigme. Enfin, nous citons quelques domaines d'application de la radio cognitive.

##### **Chapitre 2:**

Le second chapitre, nous présentons un état de l'art sur les systèmes multi-agents. Nous détaillons les principaux services qu'un environnement d'exécution devrait fournir à ces agents. Nous évoquons également la migration d'un agent et l'interaction entre les agents. Finalement nous discutons les différentes plateformes d'agents existantes de nos jours.

##### **Chapitre 3:**

Présente une brève description sur les diverses méthodes d'accès dynamique au spectre tels que la théorie des jeux, les chaînes de Markov et les systèmes multi agents. Tandis que, nous nous concentrons sur les approches d'accès au spectre basé sur les systèmes multi agents.

##### **Chapitre 4:**

Ce chapitre présente l'application réalisée et les résultats obtenus dans la phase de test. Nous avons commencé par citation les outils qu'on a choisis pour la simulation, puis la topologie proposée. Une fois que les résultats sont obtenus, une expérimentation est effectuée pour montrer que l'utilisation des enchères à plusieurs tours avec la méthode TOPSIS est la solution la plus efficace pour améliorer la gestion et l'utilisation du spectre radio.

# **Chapitre I**

## **La radio cognitive**

## 1. Introduction

La récente et rapide évolution des technologies sans fil entraîne une forte demande en termes de ressources spectrales. Pour pallier à ce problème il faut une bonne gestion du spectre et donc une utilisation plus efficace de celui-ci. C'est dans ce cadre que des études sont menées dans le domaine de la radio cognitive par des chercheurs tels que ceux de l'institut Eurocom.

La radio cognitive est un système qui permet à un terminal de pouvoir interagir avec son environnement. Cela signifie que celui-ci sera capable de percevoir son environnement, de le modéliser et de s'y adapter. Il pourra donc détecter les fréquences libres et les utiliser, contribuant ainsi à une meilleure efficacité spectrale.

Nous allons étudier dans ce chapitre la radio cognitive dans ses différents aspects principes, architecture, fonctions et les différents domaines d'application.

## 2. Définitions

### 2.1 Historique

L'idée de la radio cognitive a été présentée officiellement par Joseph Mitola III à un séminaire à KTH, l'Institut royal de technologie, en 1998, publié plus tard dans un article de Mitola et Gerald Q. Maguire, Jr en 1999 [MIT 99].

Connu comme le « Père de la radio logicielle ». Dr. Mitola est l'un des auteurs les plus cités dans le domaine. Mitola combine son expérience de la radio logicielle ainsi que sa passion pour l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle pour mettre en place la technologie de la radio cognitive.

### 2.2 Radio cognitive

La 'cognition' est un processus par lequel on acquiert des connaissances, elle regroupe les divers processus mentaux allant de l'analyse perceptive de l'environnement à la commande motrice en passant par la mémorisation, le raisonnement, les émotions et le langage.

Le terme radio cognitive (RC) est utilisé pour décrire un système ayant la capacité de détecter et de reconnaître son cadre d'utilisation, ceci afin de lui permettre d'ajuster ses paramètres de fonctionnement radio de façon dynamique et autonome et d'apprendre des résultats de ses actions et de son cadre environnemental d'exploitation, comme le souligne Mitola [ MIT 99].

Cette capacité permet d'adapter chaque appareil aux conditions spectrales du moment et offre donc aux utilisateurs un accès plus souple, efficace et complet à cette ressource. Cette approche peut améliorer considérablement le débit des données et la portée des liaisons sans augmenter la bande passante ni la puissance de transmissions. La RC offre également une solution équilibrée au problème de l'encombrement du spectre en accordant d'abord l'usage prioritaire au propriétaire du spectre, puis en permettant à d'autres de se servir des portions inutilisées du spectre [HAY 99].

Le SDR Forum (élaboration des normes industrielles du matériel et du logiciel des technologies, en ce moment il mène des travaux de recherches sur la radio cognitive et l'efficacité du spectre) et le groupe de travail P1900 de l'IEEE ont approuvé en Novembre 2007 cette définition:

"Une radio intelligente est une radio dans laquelle les systèmes de communications sont conscients de leur environnement et état interne, et peuvent prendre des décisions quant à leur mode de fonctionnement radio en se basant sur ces informations et objectifs prédéfinis. Les informations issues de l'environnement peuvent comprendre ou pas des informations de localisation relatives aux systèmes de communication".

### **2.3 Le principe de la radio cognitive**

Le principe de la radio cognitive, repris dans la norme IEEE 802.22, nécessite une gestion alternative du spectre qui est la suivante : un mobile dit secondaire pourra à tout moment accéder à des bandes de fréquence qu'il juge libre, c'est-à-dire, non occupées par l'utilisateur dit primaire possédant une licence sur cette bande. L'utilisateur secondaire devra les céder une fois le service terminé ou une fois qu'un utilisateur primaire aura montré des velléités de connexion.

Un Réseau Cognitif coordonne les transmissions suivant différentes bandes de fréquences et différentes technologies en exploitant les bandes disponibles à un instant donné et à un endroit donné. Il a besoin d'une station de base capable de travailler sur une large gamme de fréquences afin de reconnaître différents signaux présents dans le réseau et se reconfigurer intelligemment.

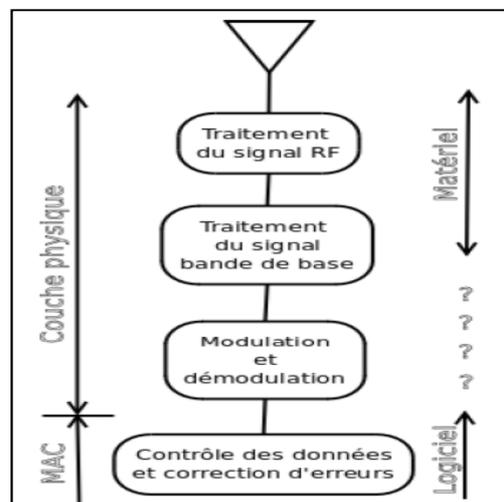
### **2.4 Radio logicielle (Software radio)**

C'est grâce aux travaux de Joseph Mitola que le terme Radio logicielle est apparu en 1991 pour définir une classe de radio reprogrammable et reconfigurable.

Une radio logicielle, en anglais *Software Radio*, est un système de radiocommunication configurable utilisant des techniques de traitement logiciel sur des signaux radiofréquences. Une radio logicielle utilise des circuits numériques programmables pour effectuer du traitement de signal. Sa flexibilité lui permet de s'adapter à un large spectre de réseaux, protocoles et techniques de radiocommunication, et de répondre au besoin croissant de performance et d'interopérabilité entre systèmes hétérogènes. L'objectif ultime de la radio logicielle consiste en une dématérialisation complète de l'interface radio. Elle fait partie de la tendance globale des circuits électroniques à migrer du "tout transistor" vers le "tout logiciel".

L'évolution ultime de la radio logicielle est la radio intelligente (radio cognitive). Une radio cognitive est une radio logicielle dans laquelle les éléments de communication sont conscients de leur environnement (localisation, etc.) et de leur état interne, peuvent prendre des décisions en fonction de leur comportement et d'objectifs prédéfinis, et sont également capables d'apprentissage.

Une radio logicielle est composée de deux sous-systèmes : un sous-système matériel et un sous-système logiciel. La répartition des opérations réalisées dans les sous-systèmes matériels et logiciels est représentée dans le schéma suivant.



**Figure I.1 : Répartition matériel/logiciel dans une radio logicielle**

### 2.5 Radio logicielle restreinte (SDR)

Une radio logicielle restreinte (RLR, ou en anglais SDR – *Software Defined Radio*) est un système de transmission radio où certaines fonctions sont réalisées par du matériel dédié, paramétrable et contrôlable par logiciel, et où d'autres fonctions telles que le traitement numérique du signal sont programmables par logiciel. Le terme de radio

cognitive restreinte est apparu pour la première fois en 1992 dans l'article scientifique « *Software Radios : Survey, Critical Evaluation and Future Directions* » [MIT 00a]. Il est composé de :

- une tête RF analogique configurable, composée de filtres, coupleurs, mélangeurs, oscillateurs locaux à fréquence intermédiaire, amplificateurs de puissance à large bande et à faible bruit,
- un étage de conversion analogique/numérique (CAN) et numérique/analogique (CNA),
- une section numérique programmable assurant la mise en forme du spectre, l'adaptation et le traitement numérique en bande de base,
- une section logicielle assurant le contrôle, la commande et la configuration logicielle des différents étages.

### **2.6 Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte**

L'une des principales caractéristiques de la RC est la capacité d'adaptation où les paramètres de la radio (fréquence porteuse, puissance, modulation, bande passante) peuvent être modifiés en fonction de : l'environnement radio, la situation, les besoins de l'utilisateur, l'état du réseau, la géolocalisation,...etc.

La radio logicielle est capable d'offrir les fonctionnalités de flexibilité, de reconfigurable et de portabilité inhérentes à l'aspect d'adaptation de la radio cognitive. Par conséquent, cette dernière doit être mise en œuvre autour d'une radio logicielle. En d'autres termes, la radio logicielle est une "technologie habilitante" pour la radio cognitive [MET 10].

Bien que de nombreux modèles différents soient possibles, l'un des plus simples modèles conceptuels qui décrit la relation entre la radio cognitive et la radio logicielle restreinte est illustré dans la figure I.2. Dans ce modèle simple, les éléments de la radio cognitive entourent le support radio logicielle restreinte.

Le "cognitive engine" représente la partie chargée de l'optimisation ou du contrôle du module radio logicielle restreinte en se basant sur quelques paramètres d'entrée tels que les informations issues de la perception sensorielle ou de l'apprentissage de l'environnement radio, du contexte utilisateur, et de l'état du réseau.

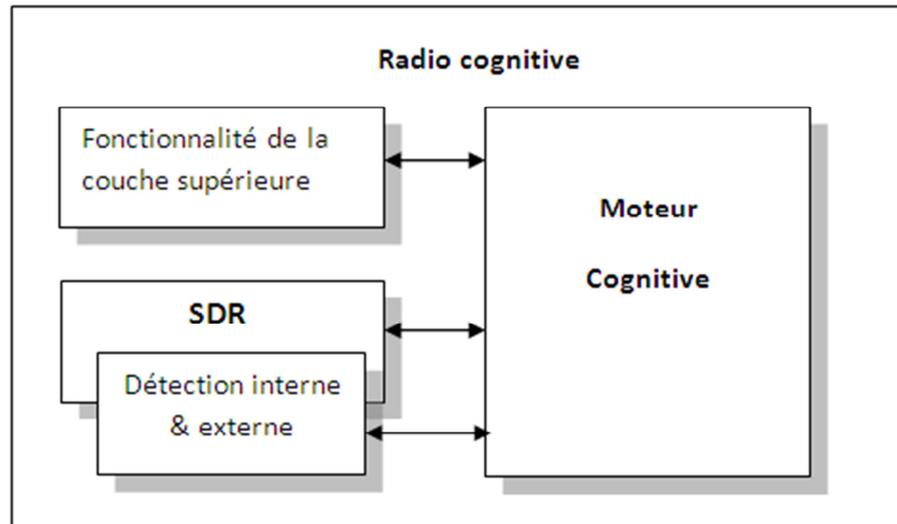


Figure I.2 : Relation entre la radio cognitive et la radio logicielle restreinte

### 3. Architecture de la radio cognitive

Mitola a défini l'architecture d'une radio cognitive par un ensemble cohérent de règles de conception par lequel un ensemble spécifique de composants réalise une série de fonctions de produits et de services.

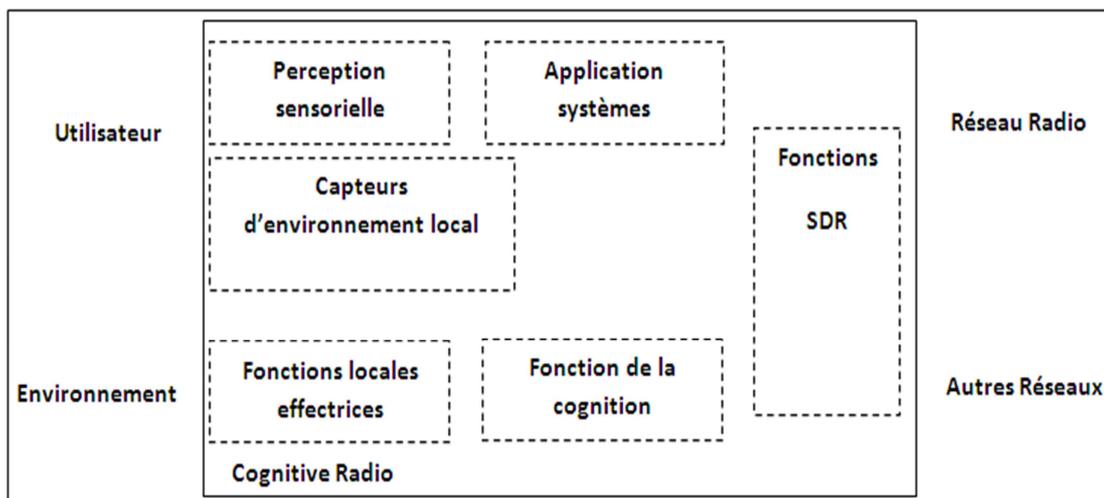


Figure I.3 : Architecture de la radio cognitive

Les six composantes fonctionnelles de l'architecture d'une radio cognitive sont:

- La perception sensorielle de l'utilisateur qui inclut l'interface haptique (du toucher), acoustique, la vidéo et les fonctions de détection et de la perception. Les fonctions SP de l'utilisateur peuvent inclure un matériel optimisé, par exemple, pour calculer les vecteurs de flux vidéo en temps réel pour aider la perception d'une scène.

- Les capteurs de l'environnement local (emplacement, la température, l'accéléromètre, compas, etc.)
- Les applications système (les services médias indépendants comme un jeu en réseau).
- Les fonctions SDR (qui incluent la détection RF et les applications radio de la SDR).
- Les fonctions de la cognition (pour les systèmes de contrôle, de planification, de l'apprentissage).
- Les fonctions locales effectrices (synthèse de la parole, du texte, des graphiques et des affiches multimédia) [MET 10].

#### 4. Cycle de cognition

La composante cognitive de l'architecture de la radio cognitive comprend une organisation temporelle, des flux d'inférences et des états de contrôle.

Ce cycle synthétise cette composante de manière évidente. Les stimuli entrent dans la radio cognitive comme des interruptions sensorielles envoyées sur le cycle de la cognition pour une réponse. Une telle radio cognitive observe l'environnement, s'oriente, crée des plans, décide, et puis agit [MIT 00b].

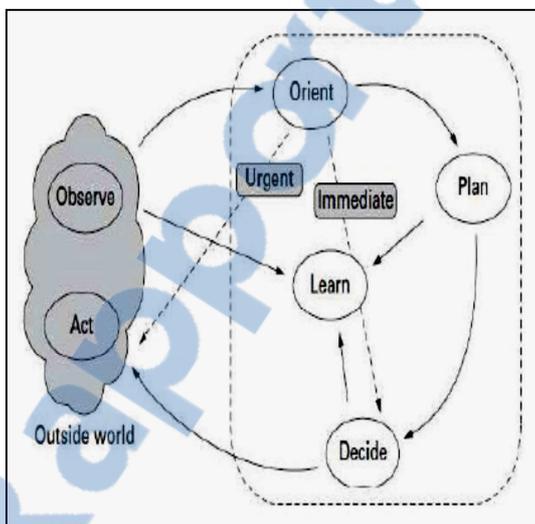


Figure I.4 : Cycle de cognition de Mitola

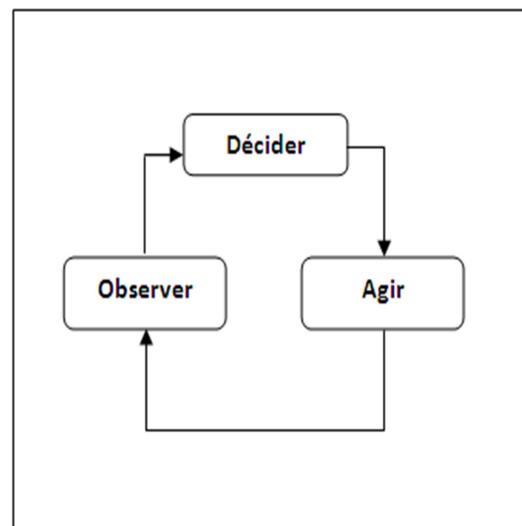


Figure I.5: Cycle de cognition simplifié

##### Phase d'observation (détecter et percevoir)

La radio cognitive observe son environnement par l'analyse du flux de stimuli entrant. Dans la phase d'observation, la radio cognitive associe l'emplacement, la température, le niveau de lumière des capteurs, et ainsi de suite pour en déduire le contexte de communication. Cette phase lie ces stimuli à des expériences antérieures pour discerner

les modèles au fil du temps. La radio cognitive rassemble les expériences en se souvenant de tout.

### **Phase d'orientation**

La phase d'orientation détermine l'importance d'une observation en liant à celle-ci une série connue de stimuli. Cette phase fonctionne à l'intérieur des structures de données qui sont analogues à la mémoire à court terme (STM), que les gens emploient pour s'engager dans un dialogue sans forcément se souvenir de tout à la même mesure que dans la mémoire à long terme (LTM). Le milieu naturel fournit la redondance nécessaire pour lancer le transfert de la STM à la LTM.

La correspondance entre les stimuli courants et les expériences stockées se fait par reconnaissance des stimuli ou par reliure.

La reconnaissance des stimuli se produit quand il y a une correspondance exacte entre un stimulus courant et une expérience antérieure. La réaction peut être appropriée ou dans l'erreur.

Chaque stimulus est situé dans un contexte plus large, qui inclut d'autres stimuli et les états internes, y compris le temps. Parfois, la phase d'orientation provoque une action qui sera lancée immédiatement comme un comportement réactif « stimulus réponse ».

Une panne d'électricité, par exemple, peut directement invoquer un acte qui sauve les données (le chemin « immédiate » de la phase Action sur la figure). Une perte de signal sur un réseau peut invoquer une réaffectation de ressources. Cela peut être accompli via la voie marquée « urgent » dans la figure.

### **Phase de planification**

La plupart des stimuli sont traités avec délibérative plutôt qu'avec réactivité. Un message entrant du réseau serait normalement traité par la génération d'un plan (dans la phase de plan, la voie normale). Le plan devrait également inclure la phase de raisonnement dans le temps. Généralement, les réponses réactives sont préprogrammées ou apprises en étant dit, tandis que d'autres réactions de délibération sont prévues.

### **Phase de décision**

La phase de décision sélectionne un plan parmi les plans candidats. La radio peut alerter l'utilisateur d'un message entrant ou reporter l'interruption à plus tard en fonction des niveaux de QoI (Quality of Information) statués dans cette phase.

### **Phase d'action**

Cette phase lance les processus sélectionnés qui utilisent les effecteurs sélectionnés qui accèdent au monde extérieur ou aux états internes de la radio cognitive.

L'accès au monde extérieur consiste principalement à composer des messages qui doivent être envoyés dans l'environnement en audio ou exprimés dans différents langages appropriés.

Une action radio cognitive peut également actualiser les modèles internes, par exemple, l'ajout de nouveaux modèles aux modèles internes existants. L'acquisition de connaissances pourrait être achevée par une action qui crée les structures de données appropriées.

### **Phase d'apprentissage**

L'apprentissage dépend de la perception, des observations, des décisions et des actions. L'apprentissage initial est réalisé à travers la phase d'observation dans laquelle toutes les perceptions sensorielles sont continuellement comparées à l'ensemble de l'expérience antérieure pour continuellement compter les événements et se souvenir du temps écoulé depuis le dernier événement.

L'apprentissage peut se produire quand un nouveau modèle est créé en réponse à une action. Par exemple, les états internes antérieurs et courants peuvent être comparés avec les attentes pour en apprendre davantage sur l'efficacité d'un mode de communication [NGO 08].

## **5. Fonctions de la radio cognitive**

Les principales fonctions de la radio cognitive sont les suivantes:

### **5.1 Détection du spectre**

Détecter le spectre non utilisé et le partager sans interférence avec d'autres utilisateurs. La détection des utilisateurs primaires est la façon la plus efficace pour détecter les espaces blancs du spectre.

L'un des objectifs de la détection du spectre, en particulier pour la détection des interférences, est d'obtenir le statut du spectre (libre /occupé), de sorte que le spectre peut être consulté par un utilisateur secondaires en vertu de la contrainte d'interférence. Le défi réside dans le fait de mesurer l'interférence au niveau du récepteur primaire causée par les transmissions d'utilisateurs secondaires.

## 5.2 Gestion du spectre

Capter les meilleures fréquences disponibles pour répondre aux besoins de communication des utilisateurs.

Les radios cognitives devraient décider de la meilleure bande de spectre pour répondre aux exigences de qualité de service sur toutes les bandes de fréquences disponibles, donc les fonctions de gestion du spectre sont nécessaires pour les radios cognitives. Ces fonctions de gestion peuvent être classées comme suit:

- **Analyse du spectre**

Les résultats obtenus de la détection du spectre sont analysés pour estimer la qualité du spectre. Une des questions ici est de savoir comment mesurer la qualité du spectre qui peut être accédée par un utilisateur secondaire. Cette qualité peut être caractérisée par le rapport signal/bruit, la durée moyenne et la corrélation de la disponibilité des espaces blancs du spectre. Les informations sur cette qualité de spectre disponible à un utilisateur par radio cognitive peuvent être imprécises et bruyantes. Des algorithmes d'apprentissage de l'intelligence artificielle sont des techniques qui peuvent être employées par les utilisateurs de la radio cognitive pour l'analyse du spectre.

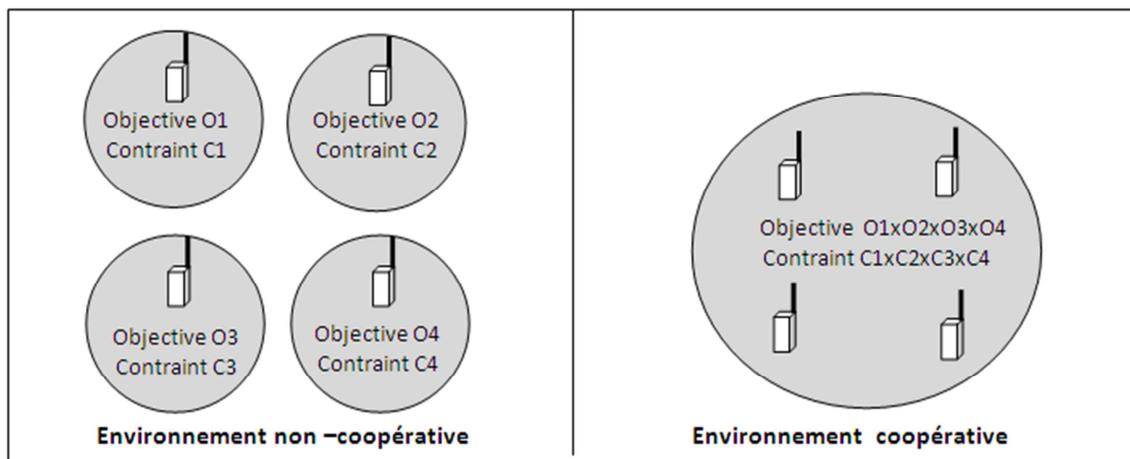
- **Décision sur le spectre**

- **Modèle de décision:** un modèle de décision est nécessaire pour l'accès au spectre. La complexité de ce modèle dépend des paramètres considérés lors de l'analyse du spectre. Le modèle de décision devient plus complexe quand un utilisateur secondaire a des objectifs multiples. Par exemple, un utilisateur secondaire peut avoir l'intention de maximiser son rendement tout en minimisant les perturbations causées à l'utilisateur primaire. Les méthodes d'optimisation stochastique (le processus de décision de Markov) seront un outil intéressant pour modéliser et résoudre le problème d'accès au spectre dans un environnement radio cognitif.

- **Compétition / coopération dans un environnement multi utilisateurs :** Lorsque plusieurs utilisateurs (à la fois primaires et secondaires) sont dans le système, leur préférence va influencer sur la décision du spectre d'accès. Ces utilisateurs peuvent être coopératifs ou non coopératifs dans l'accès au spectre. Dans un environnement non-coopératif, chaque utilisateur a son propre objectif, tandis que dans un environnement coopératif, tous les utilisateurs peuvent collaborer pour atteindre un seul objectif. Par exemple, plusieurs utilisateurs secondaires peuvent entrer en compétition les uns avec les autres pour accéder au spectre radio (par exemple, O1, O2, O3, O4 dans la figure ci-

dessous) de sorte que leur débit individuel soit maximisé. Au cours de cette concurrence entre les utilisateurs secondaires, tous veillent à ce que l'interférence causée à l'utilisateur primaire est maintenue en dessous de la limite de température de brouillage correspondante. La théorie des jeux est l'outil le plus approprié pour obtenir la solution d'équilibre pour le problème du spectre dans un tel scénario.

Dans un environnement coopératif, les radios cognitives coopèrent les unes avec les autres pour prendre une décision pour accéder au spectre et de maximiser une fonction objectif commune en tenant compte des contraintes. Dans un tel scénario, un contrôleur central peut coordonner le spectre de gestion.



**Figure I.6: Accès au spectre Coopératif et non-coopératif**

### 5.3 Mobilité du spectre

C'est le processus qui permet à l'utilisateur de la radio cognitive de changer sa fréquence de fonctionnement.

Les réseaux radio cognitifs essaient d'utiliser le spectre de manière dynamique en permettant à des terminaux radio de fonctionner dans la meilleure bande de fréquence disponible, de maintenir les exigences de communication transparentes au cours de la transition à une meilleure fréquence.

- Recherche des meilleures bandes de fréquence

La radio cognitive doit garder une trace des bandes de fréquence disponibles de sorte que si nécessaire (par exemple, un utilisateur autorisé est détecté), il peut passer immédiatement à d'autres bandes de fréquences. Lors de la transmission par un utilisateur secondaire, l'état de la bande de fréquences doit être respecté.

- Auto-coexistence et synchronisation

Quand un utilisateur secondaire effectue un transfert du spectre, deux questions doivent être prises en compte. Le canal cible ne doit pas être actuellement utilisé par un autre utilisateur secondaire (l'exigence d'auto-coexistence), et le récepteur de la liaison secondaire correspondant doit être informé de la non-intervention du spectre [HOS 09].

## 6. Domaines d'application de la radio cognitive

Le concept de la radio cognitive peut être appliqué à une variété de scénarios de communication sans fil, nous allons décrire quelques-uns :

- **Les réseaux sans fil de prochaine génération** : La radio cognitive devrait être une technologie clé pour la prochaine génération de réseaux sans fil hétérogènes. La radio cognitive fournira des renseignements intelligents à la fois pour l'utilisateur et pour le fournisseur d'équipements.
- **Coexistence de différentes technologies sans fil** : Les nouvelles technologies sans fil (IEEE 802.22) sont en cours d'élaboration pour la réutilisation des fréquences radio allouées à d'autres services sans fil (service TV). La radio cognitive est une solution qui fournit la coexistence de ces différentes technologies et services sans fil. Par exemple, IEEE 802.22, basée sur les utilisateurs WRAN peut utiliser efficacement la bande TV quand il n'y a pas d'utilisation du téléviseur à proximité ou quand une station de télévision ne diffuse pas.
- **Services de cyber santé (eHealth services)**: Depuis que les équipements médicaux et les capteurs bios signal sont sensibles aux interférences électromagnétiques, la puissance d'émission des appareils sans fil doit être soigneusement contrôlée. En outre, différents dispositifs biomédicaux (équipement et appareils chirurgicaux, de diagnostic et de suivi) utilisent la transmission RF. L'utilisation du spectre de ces dispositifs doit être choisie avec soin pour éviter toute interférence avec l'autre.
- **Réseaux d'urgence**: les réseaux de sécurité publique et d'urgence peuvent profiter des concepts de la radio cognitive pour fournir la fiabilité et la flexibilité de communication sans fil.

- **Réseaux militaires** : Avec la radio cognitive, les paramètres de la communication sans fil peuvent être adaptés de manière dynamique en fonction du temps et de l'emplacement ainsi que de la mission des soldats.

## 7. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents concepts liés à des notions importantes concernant la radio cognitive qui est un système intelligent qui est capable de sentir son environnement dans le but de déterminer les caractéristiques de celui-ci, de détecter les ressources disponibles comme les bandes de fréquences ou de la présence d'utilisateurs prioritaires. Celui-ci doit alors adapter ses caractéristiques et son comportement en fonction de l'ensemble des paramètres externe qu'il a détecté et des besoins de son utilisateur. La radio cognitive doit alors réagir d'une façon autonome et instantanée. Il existe plusieurs techniques qui nous permettent d'utiliser la fréquence radio d'une façon plus efficace et facilitent l'accès dynamique aux spectres.

Comme nous allons le voir au chapitre suivant, les systèmes multi-agents (SMA) permettent de résoudre certains problèmes en utilisant plusieurs agents d'"intelligence" plutôt réduite et donc de faible complexité.

## **Chapitre II**

# **Les systèmes multi-agents**

## 1. Introduction

L'approche classique de l'intelligence artificielle (IA), qui s'appuie sur une centralisation de l'expertise au sein d'un système unique, a montré ses limites dans différents domaines de l'informatique.

L'intelligence artificielle distribuée (IAD) est définie comme étant la branche de l'IA qui s'intéresse à la modélisation du comportement « intelligent » par la coopération entre un ensemble d'agents.

L'IAD propose la distribution de l'expertise sur un groupe d'agents devant être capables de travailler et d'agir dans un environnement commun et résoudre les éventuels conflits. Actuellement le domaine des systèmes multi-agents est un champ de recherche très actif, qui s'intéresse aux comportements collectifs produits par les interactions de plusieurs agents.

Ce chapitre s'intéresse aux Systèmes Multi-Agents (SMA), et leurs applications dans le domaine des télécommunications ainsi que les interactions, la coopération, la coordination et la communication entre les agents.

## 2. Définition d'un agent

La notion d'agent n'est pas simple à définir. Il existe en effet plusieurs définitions ou significations données à cette notion. C'est la raison pour laquelle plusieurs auteurs essayent d'en donner une définition avant de se pencher sur l'utilisation de ce paradigme dans tel ou tel contexte.

Ces dix dernières années, le concept d'agent a été utilisé et étudié dans plusieurs domaines. Toutefois, il n'y a encore aucun consensus, entre les différents chercheurs, quant à la définition même du mot « agent ». Selon Nwana [NWA 96], il y a au moins deux raisons qui permettent d'expliquer cette difficulté.

La première réside dans le fait que les chercheurs, dans le domaine des agents, ne sont pas à l'origine de ce terme comme l'ont été, par exemple, les chercheurs dans le domaine de la logique floue. En effet, le terme agent a été et continue d'être utilisé dans la vie de tous les jours par des personnes travaillant dans des domaines très différents. Par exemple, on parle d'agent de voyage, d'agent immobilier, d'agent d'assurance, etc.

La deuxième raison est que même dans la communauté des chercheurs sur les agents logiciels, le mot « agent » est utilisé pour décrire des systèmes très différents les uns des autres. Pour ajouter à la confusion, les chercheurs sont allés même jusqu'à inventer

plusieurs synonymes au mot «agent ». Ils ont ainsi inventé, par exemple, « knowbots » (robots à base de connaissances), « softbots » (robots logiciel), taskbots (robots à base de tâche), « userbots » (robots pour utilisateur), robots, agents personnels, agents autonomes, assistants personnels, etc. Il est vrai qu'une telle prolifération de termes trouve sa justification dans le fait que les agents peuvent prendre différentes formes physiques (robot ou agent logiciel) et qu'ils peuvent aussi jouer plusieurs rôles.

Jennings [JEN 96] a proposé la définition suivante pour un agent : un agent est un système informatique, situé dans un environnement, qui agit d'une façon autonome et flexible pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu.

En général, un agent représente un composant logiciel réutilisable qui fournit un accès contrôlé à des services et des ressources.

Le comportement de chaque agent est contraint par des politiques qui sont définies par des agents de contrôle de haut niveau. La figure suivante représente un agent dans son environnement, l'agent est activé en entrée par les capteurs de l'environnement et produit en sortie des actions.

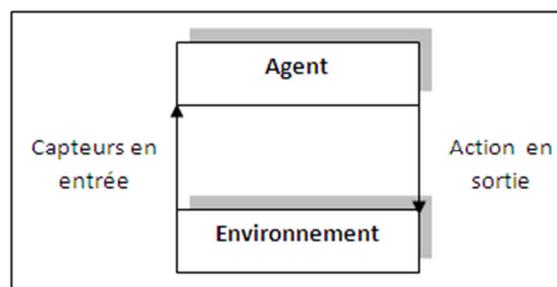


Figure II.1 : L'agent dans son environnement

### 2.1. Les caractéristiques d'un agent

En utilisant quelques définitions de la littérature, il est possible de créer un ensemble de caractéristiques d'agent primaires, secondaires et tertiaires [CHR 02]. Les caractéristiques primaires sont inhérentes de la plupart des définitions populaires d'agent, les caractéristiques secondaires sont l'ensemble de caractéristiques, liées aux agents, prolongées habituellement. Le troisième ensemble de caractéristiques contient davantage les caractéristiques abstraites, désirables et qui ressemblent à celles de l'humain.

#### ▪ Caractéristiques primaires

**Autonome** : l'agent peut spontanément effectuer certaines tâches, peut prendre des initiatives.

**Communicative/sociale** : Un agent devrait avoir un niveau élevé de communication avec d'autres agents. Le protocole de communication entre agent le plus commun KQML (Knowledge Query and Manipulation Language).

**Réactive** : Un agent devrait pouvoir percevoir son environnement (qui peut être un monde physique, un utilisateur via une interface graphique ou une collection d'autres agents) et réagir à ses changements, que ce soit la modification des objectifs de l'utilisateur ou des ressources disponibles.

- **Caractéristiques secondaires**

**Proactive** : les agents n'agissent pas simplement en réponse à leur environnement, ils sont capables d'exposer un comportement dirigé but en prenant l'initiative.

**Adaptatif** : un agent adaptatif est un agent capable de contrôler et d'adapter ses aptitudes (communicationnelles, comportementales, etc.) en réponse aux connaissances internes ou aux changements de l'environnement.

**Orienté-but/intentions** : ces agents ont un plan d'action interne explicite pour accomplir un but ou ensembles des objectifs.

**Persistence** : les agents persistants ont un état interne qui reste cohérent.

**Mobilité** : les agents mobiles peuvent décider d'émigrer à une machine différente ou à un autre réseau tout en maintenant la persistance.

- **Caractéristiques tertiaires**

**Emotion** : agents avec la capacité d'exprimer l'émotion ou l'humeur comme un être humain. De tels agents pourraient également avoir une certaine forme de caractère ou d'aspect anthropomorphe.

**L'intelligence** : agents avec la capacité de raisonner, apprennent et adaptent dans le temps. Un agent est intelligent s'il est capable de réaliser des actions flexibles et autonomes pour atteindre les objectifs qui lui ont été fixés. La flexibilité signifie la réactivité, la pro-activité et les attitudes sociales.

## 2.2. Architecture concrète pour un agent

Il existe quatre classes d'agents :

- Les agents logiques : les décisions prises par les agents sont basées sur des déductions logiques.
- Les agents réactifs : les décisions prises par les agents sont basées sur une correspondance entre les situations et les actions.
- Les agents BDI : les états internes des agents sont exprimés sous la forme de croyance (Belief), de désirs (Desire) et d'intentions (Intention), la prise de décision est basée sur l'état interne de l'agent.
- Les agents multi-niveaux : l'approche multi-niveaux est utilisée pour organiser les connaissances internes des agents.

### 2.2.1. Architecture d'un agent logique

Les connaissances des agents sont décrites sous la forme d'expression logique. L'agent utilise la déduction logique pour résoudre les problèmes et pour caractériser son comportement.

Pour comprendre les principaux problèmes de cette approche, on examine un agent dont la base de faits est constituée des formules logiques suivantes : Ouvert (valve), température (réacteur), pression (réservoir).

Les formules représentent l'environnement de l'agent, si l'agent pense que la valve est ouverte, alors il possède le fait Ouvert (valve) dans sa base, mais la présence de ce fait n'implique pas que la réalité de son environnement soit en accord avec ce fait.

Pour cela, il suffit que le capteur fonctionne mal, ou que le raisonnement qui a conduit à la production de ce fait soit faux ou que l'interprétation de la formule Ouvert soit complètement différente selon le concepteur de l'agent et l'agent lui-même. Dans la pratique, l'approche logique est irréalisable dans des environnements complexes, et fortement dynamiques.

### 2.2.2. Architecture d'un agent réactive

Les approches réactives sont issues des problèmes et limites rencontrés par l'approche logique.

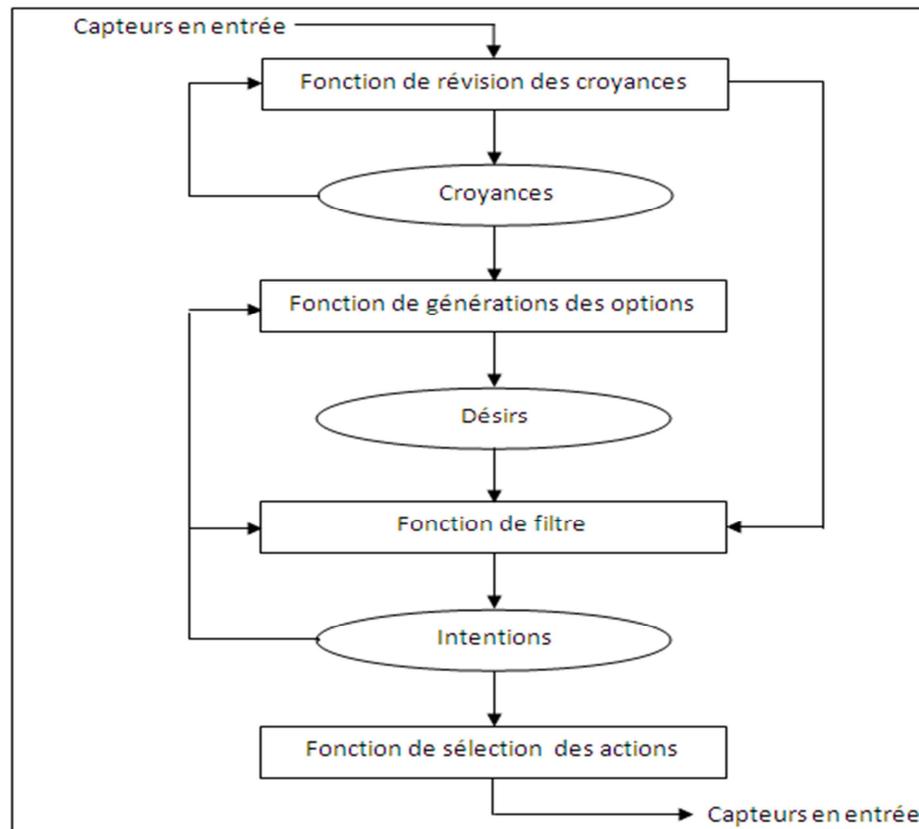
Un exemple d'architecture couramment utilisée pour concevoir des agents réactifs est celui de l'architecture de subsomption proposée par Brooks [BRO 86]. Le principe de

cette architecture est de concevoir le processus décisionnel en considérant un ordre de priorité entre des modules qui représentent les tâches pouvant être accomplies par l'agent.

### 2.2.3. Architecture d'un agent BDI

L'architecture BDI est une autre approche utilisée dans la conception des agents délibératifs. BDI est un acronyme qui signifie, en anglais, *Belief, Desire, Intentions*. Ce qui se traduit en français par croyances, désirs et intentions. Les agents se basent donc sur ces trois aspects pour choisir leurs actions. Dans ce cadre, Wooldrige [11] propose une architecture ayant sept composantes, telles que présentées sur la figure II.2 :

- Un ensemble de *croyances* courantes, représentant les informations que l'agent possède à propos de son environnement courant ;
- Une *fonction de révision des croyances*, qui prend les entrées des capteurs et les croyances actuelles de l'agent et qui détermine un nouvel ensemble de croyances ;
- Une *fonction de génération des options*, qui détermine les options disponibles pour l'agent (i.e. ses désirs), en se basant sur les croyances courantes de l'agent à propos de son environnement et sur ses intentions courantes ;
- Un ensemble de *désirs*, représentant les options disponibles à l'agent ;
- Une *fonction de filtre*, qui représente le processus de délibération de l'agent et qui détermine les intentions de l'agent en se basant sur ses croyances, ses désirs et ses intentions courantes ;
- Un ensemble d'*intentions* courantes, représentant le centre d'attention actuel de l'agent, c'est-à-dire les buts envers lesquels il s'est engagé et envers lesquels il a engagé des ressources ;
- Une *fonction de sélection des actions*, qui détermine l'action à effectuer en se basant sur les intentions courantes de l'agent.



**Figure II.2 : Diagramme d'une architecture BDI**

#### 2.2.4. Architecture d'un agent multi-niveaux

L'objectif des architectures multi-niveaux est de faire une synthèse constructive sur les deux approches réactive et proactive. L'approche proactive veut dire que l'agent est capable, sur sa propre initiative, de fixer des buts pour atteindre ses objectifs.

Dans ces architectures il existe au moins deux modes de contrôle des échanges d'information entre les niveaux [WOO 99].

- Le contrôle horizontal : les modules sont connectés aux capteurs en entrée et à des actions en sortie, chaque module se comporte comme un agent, l'architecture comporte  $n$  niveaux et  $m$  actions possibles par niveau, donc nous avons  $mn$  interactions possibles.

- Le contrôle vertical : il y a un module qui gère les capteurs en entrée et un autre qui gère les actions en sortie. On utilise un contrôle des flux d'information entre les niveaux, le contrôle est basé soit sur le mode à une passe soit sur le mode à deux passes.

Les flux d'information dans le mode à une passe arrivent sur un module spécialisé, puis travers en séquence les autres modules jusqu'au dernier qui pilote la sortie.

Dans le mode à deux passes, les flux d'information suivent le même chemin que dans le mode à une passe, puis redescendent l'architecture en sens inverse pour revenir au module interface de l'agent.

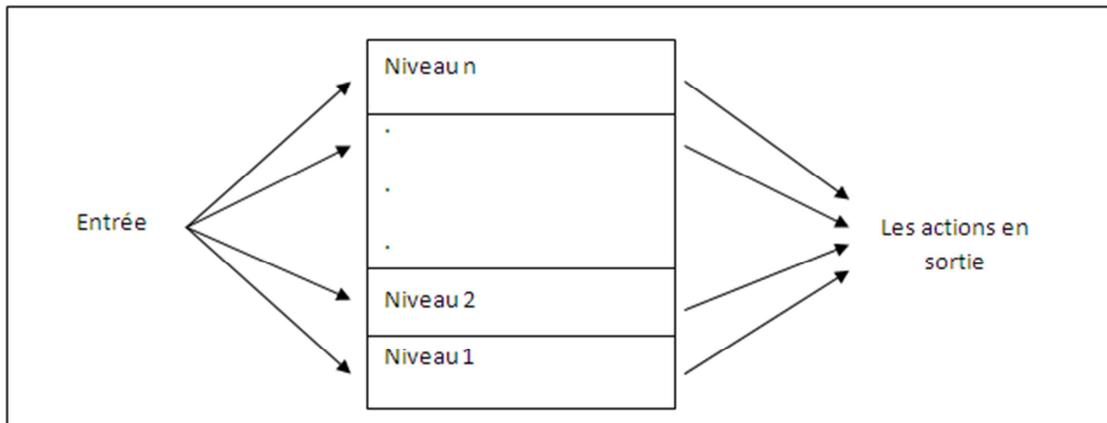


Figure II.3 : Architecture horizontale

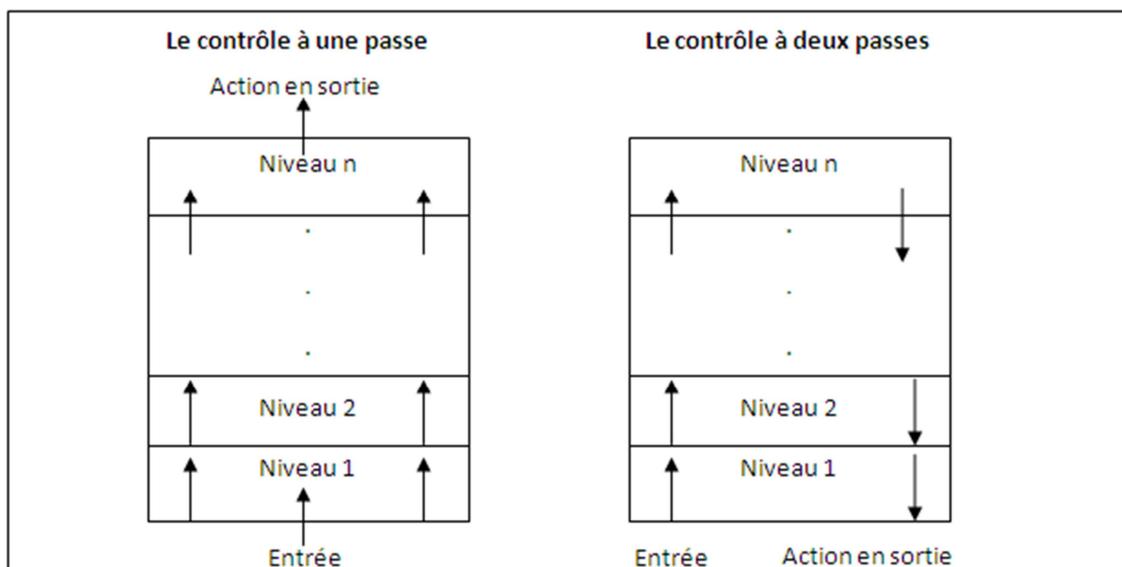


Figure II.4 : Architecture verticale

### 2.3. Modèle type d'un agent

- Frasson et Gouardères [FRA 96] ont proposé le modèle agent « ACTOR » qui représente une architecture implémentée avec trois niveaux de description (réactive, adaptative et cognitive).
- Le 1er niveau (réactif) : il permet des comportements réflexifs basés sur une reconnaissance plus ou moins précise de modèles prédéfinis, ce niveau n'a pas de capacité d'apprentissage.

- Le 2ème niveau (adaptatif) : l'apprentissage autorise la modélisation de comportements des agents planificateurs qui sont chargés des stratégies ainsi que des interactions avec les autres agents.
- Le 3ème niveau (cognitif) : il autorise l'apprentissage et la modélisation des modes de raisonnement employés par l'agent cognitif.

La figure suivante représente les trois niveaux de description du le modèle agent « ACTOR ».



**Figure II.5 : Les niveaux de description du modèle agent 'ACTOR'**

### 3. Les systèmes multi-agents

Un système multi-agents est un ensemble organisé d'agents. Il est constitué d'une ou plusieurs organisations qui structurent les règles de cohabitation et de travail collectif entre agents, dans un même système, un agent peut appartenir à plusieurs organisations [BRI 02].

Les systèmes multi-agents existants sont composés d'agents réactifs ou cognitifs suivant le problème traité.

#### 3.1.Communication entre les agents

Un agent doit être capable de communiquer avec les autres agents. Les agents communiquent entre eux en échangeant des messages. L'envoi et la réception de messages forment le niveau élémentaire de communication entre les agents.

L'agent peut participer à un dialogue en étant passif ou actif. Un agent passif doit accepter les questions des autres agents et répondre à leurs questions. Un agent actif doit proposer et envoyer des interrogations.

Dans un dialogue les agents alternent des rôles actifs et passifs, et échangent des séries de messages en respectant des protocoles bien précis, ce sont les protocoles de coordination, de coopération et de négociation.

### 3.1.1. Les protocoles de coordination

Les agents fonctionnent suivant deux principes : les engagements et les protocoles de coordination. Les engagements sont des structures qui permettent à un agent de s'engager à faire un ensemble d'actions vis-à-vis de lui-même et des autres agents. Les protocoles de coordination lui permettent de gérer ces engagements dans le cas où les circonstances dans lesquelles ils ont été élaborés, évoluent [HUM 99].

Les protocoles de coordination aident les agents à gérer leurs engagements, mais ne disent rien sur ce qu'un agent doit faire vis-à-vis des autres agents, quand l'agent modifie ses engagements.

### 3.1.2. Les protocoles de coopération

La coopération entre les agents consiste à décomposer les tâches en sous-tâches puis à les répartir entre les différents agents, il existe plusieurs décompositions possibles, le processus de décomposition doit donc tenir compte des ressources disponibles et des compétences des agents.

La décomposition peut être faite soit par le concepteur, ou par les agents eux-mêmes, grâce à des techniques de planification hiérarchisées ou encore elle est inhérente à la représentation du problème [HUM 99].

Les mécanismes utilisés pour distribuer les sous-tâches aux agents sont :

- L'économie de marché : les tâches sont allouées aux agents sur le principe de l'offre et de la demande, elles sont considérées comme des marchandises qui ont une valeur (achat/vente).
- Le contrat Net : annonces, offres et cycles d'attribution.
- La planification multi-agents : les agents planificateurs ont la responsabilité de la répartition des tâches.
- Les structures organisationnelles : certains agents ont des responsabilités fixes pour des tâches particulières.

### 3.1.3. La négociation

La négociation intervient lorsque des agents interagissent pour prendre des décisions communes, alors qu'ils poursuivent des buts différents.

Les trois principales voies de recherche sur la négociation sont :

- Les langages de négociation : il s'agit d'étudier les primitives de communication pour la négociation, leur sémantique et leur usage dans les protocoles.
- Le processus de négociation : il s'agit de proposer des modèles généraux de comportements des agents en situation de négociation.
- Le processus décisionnel : il s'agit d'étudier les algorithmes de comparaison des sujets de négociation, les fonctions d'utilité, et les caractéristiques des préférences des agents (positions, concessions et critères de compromis).

De nombreuses techniques de négociation ont été proposées. Elles sont, soit centrées sur l'environnement, soit centrées sur les agents.

L'idée de la négociation centrée sur l'environnement est de voir comment on peut agir sur l'environnement, en décrivant les règles qui régissent son fonctionnement, pour faciliter le bon fonctionnement des agents dans la résolution de conflit via la négociation.

Pour la négociation centrée sur l'agent, le problème n'est plus d'adapter le contexte à la négociation, mais le comportement de l'agent compte-tenu des propriétés du contexte donné.

#### 4. Application des SMA dans les télécommunications

Le tableau suivant montre les différents domaines des télécommunications couverts par les entités agent.

Domaines	Applications
Web et Internet	Assistance pour l'organisation de voyages
	Médiation dans le commerce électronique
	Création de communautés web
Services et réseaux de télécommunications	Réseaux privés virtuels (VPN) et entreprises virtuelles.
	Mobile de troisième génération de réseaux et réseau intelligent (RI)
	Supervision et gestion de réseaux
Ingénierie logicielle des télécommunications	Standardisation d'interopérabilité agent
	Méthodologie et atelier logiciel agent

**Tableau II.1 : Domaines des télécommunications couverts par les entités agent**

#### **4.1.Applications des SMA dans le web**

Parmi les applications des SMA dans le web, on s'intéresse aux expérimentations réalisées dans le domaine des services d'assistance dans l'organisation et le déroulement de voyages.

Ces expérimentations ont pour but d'intégrer les différents moyens de notification tels que le fax, et l'e-mail et d'offrir des services complémentaires prenant en compte le profil de l'utilisateur, tels que le calcul d'un itinéraire et la réservation de billets de transport.

On peut généraliser l'utilisation des agents dans le web au domaine du commerce électronique, l'intérêt des SMA dans ce contexte est très lié à l'évolution du commerce électronique vers un marché ouvert très libéral.

L'utilisation des agents dans ce domaine permet d'optimiser la recherche de produit, la comparaison des offres et la négociation des termes d'achat.

Une autre application des agents dans le Web consiste à créer des communautés virtuelles pour faciliter l'échange d'informations entre les cybernautes. Les recherches dans ce contexte s'intéressent à la création de communautés d'agents et à la migration des agents entre communautés [BOU 02].

#### **4.2.Application des SMA aux réseaux privés virtuels**

Les réseaux privés virtuels (VPN) sont des connexions sécurisées reliant deux réseaux privés via un réseau public, ils permettent d'utiliser ces réseaux publics pour étendre le concept d'Intranet au-delà du réseau privé d'une organisation et ce en préservant la sécurité de la communication.

Le concept de base sur lequel repose les VPN est le TUNNELING ou ENCAPSULATION de paquets de la couche IP ou de la couche réseau (suivant le protocole utilisé).

Les systèmes multi-agents sont utilisés pour automatiser la négociation des ressources réseau dans ce contexte.

L'intérêt de l'automatisation de la négociation entre les différents acteurs est étroitement lié au nombre d'acteurs présents sur le marché et à la dissociation des opérateurs réseau et des fournisseurs de services de télécommunications [BOU 02].

### **4.3. Utilisation des SMA dans le cadre des mobiles de troisième génération et du réseau intelligent**

Les caractéristiques des mobiles de troisième génération sont définies, en Europe, par la norme UMTS (Universal Mobile Télécommunication System). Cette norme introduit les infrastructures VHE (Virtual Home Environment) et PCS (Personnel Communication Support).

L'infrastructure VHE représente un middleware qui masque à l'utilisateur d'un mobile lors du changement de domaine les capacités réelles du réseau.

L'infrastructure PCS définit des polices personnalisées pour traiter les appels en fonction de critères variés tels que l'heure de réception, l'émetteur et le contenu.

Pour répondre à la convergence des réseaux mobiles et de l'Internet et à l'usage international des mobiles, les évolutions de réseaux surtout au niveau de l'administration et du contrôle de service doivent être considérées. Les systèmes multi-agents apportent des éléments de solution à ces évolutions, mais la plupart des travaux de recherche sur l'application des SMA aux réseaux mobiles sont récents et ont été peu expérimentés.

Dans ce contexte, un agent est considéré comme un composant dont les interactions avec les autres composants portent sur la fourniture et sur la qualité de service. C'est un moyen pour uniformiser le traitement des composants de services et des profils utilisateurs [BOU 02] [SAM 05].

### **4.4. Application des SMA à la supervision et gestion de réseaux**

Dans ce domaine d'application, les agents représentent des composants logiciels supervisant de façon décentralisée des ressources réseau. Ils sont utilisés pour développer des stratégies de contrôle de la surcharge du réseau, ainsi que pour développer des stratégies de coopération permettant de coordonner la supervision de ressources dépendant de différentes autorités.

Les travaux sur l'application des agents à la gestion de réseau sont encore peu développés, mais il existe des solutions alternatives fondées sur des approches distribuées pour traiter de problème dans lesquels l'organisation des agents est hiérarchique et où le contexte n'est pas un environnement ouvert. Ces solutions ne sont pas basées sur les langages agents mais sur les mécanismes de reconnaissance de scénarios [BOU 05].

## 5. Les plateformes multi-agents

Des plates-formes typiques incluent l'architecture d'un ordinateur, le système d'exploitation, programmant des langues et l'interface utilisateur liée (des bibliothèques de système de temps d'exécution ou l'interface utilisateur graphique).

Une plate-forme est un élément crucial dans le développement logiciel. Une plate-forme pourrait être simplement définie comme un endroit pour lancer le logiciel. Le fournisseur de plate-forme offre un engagement au développeur de logiciels que le code de logique exécutera successivement tant que la plate-forme fonctionne en plus d'autres plates-formes.

Plateforme est Inter-giciel pour le développement d'applications pair à pair d'agents intelligents pour ce domaine de mémoire de système multi agent.

- **JADE**

(Java Agent DEveloppement) est un Framework de développement de systèmes multi-agents, open-source et basé sur le langage Java. Jade fournit des classes qui implémentent « JESS » pour la définition du comportement des agents.

L'outil possède trois modules principaux (nécessaires aux normes FIPA). Le DF (Director Facilitator) fourni un service de pages jaunes à la plate-forme. L'ACC (Agent Communication Chanel) gère la communication entre les agents. L'AMS (Agent Management System) supervise l'enregistrement des agents, leur authentification, leur accès et utilisation du système. Les agents communiquent par le langage FIPA ACL. Un éditeur est disponible pour l'enregistrement et la gestion des agents. Aucune autre interface n'est disponible pour le développement ou l'implémentation.

- **CORMAS**

(COmmon Resources Multi-Agent System) est un Framework de développement de systèmes multi-agents, open-source et basé sur le langage de programmation orientée objet Small Talk.

- **MAGIQUE**

Est une plate-forme pour agents physiquement distribués écrite en Java et fournissant un modèle de communication original d'appel à la cantonade. Dans MAGIQUE, les compétences sont dissociées des agents. L'architecture des agents et les différentes compétences sont développées séparément. Les compétences sont ensuite greffées comme plugin dans les agents au gré du concepteur.

## 6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'approche multi-agents, tout en essayant de clarifier la terminologie du domaine comme IAD, SMA. Un système multi-agents s'adapte mieux à la réalité des environnements complexes que l'intelligence artificielle classique. Un système multi-agents enrichit le processus de résolution de problèmes en le partageant entre plusieurs agents. Les systèmes multi-agents sont difficiles à mettre en œuvre et ne présentent un intérêt que lorsque des solutions plus simples ne sont pas appropriées c'est à dire dans le cas d'environnements complexes. Un tel environnement est caractérisé par un grand nombre d'acteurs, ou de composants, de larges possibilités d'interaction (chaque composant peut interagir avec un nombre important d'autres composants). Dans ce qui suit nous allons nous présenter les concepts de base liés à la négociation et les plus importants protocoles de négociation.

# Chapitre III

## Accès dynamique au spectre

## 1. Introduction

La croissance explosive des services sans fil ces dernières années illustre la demande croissante des consommateurs pour les communications, ainsi le spectre devient plus encombré. Nous savons que l'allocation du spectre statique est un problème majeur dans les réseaux sans fil. Généralement, ces allocations conduisent à une utilisation inefficace du spectre et elles créent des trous ou des espaces blancs dans le spectre. Pour résoudre le problème de l'encombrement, les réseaux RC utilisent l'accès dynamique au spectre.

La communication coopérative est connue comme un moyen pour surmonter les limites des systèmes sans fil [LET 09]. Cependant, puisque les utilisateurs ont généralement une connaissance limitée de leur environnement, nous prétendons que le comportement coopératif peut leur fournir les informations nécessaires pour résoudre les problèmes globaux.

Fondamentalement, un utilisateur secondaire ne possède pas une licence pour son utilisation du spectre et il peut y accéder soit de manière opportuniste soit par la coexistence avec les utilisateurs voisins autorisés. Ce type d'accès est appelé « partage de licence » et un assez grand nombre de solutions existent déjà dans la littérature [YAN 10].

Nous avons trouvé un grand nombre de travaux proposés relatifs à l'accès au spectre, ceux utilisant les ventes aux enchères, un grand nombre d'approches utilisent la théorie des jeux, mais les approches utilisant les chaînes de Markov sont moins nombreuses. Cependant, quelques recherches ont été faites dans ce domaine en utilisant les systèmes multi-agents.

## 2. Accès dynamique au spectre

### 2.1. Accès au spectre en utilisant les enchères

Accès au spectre en utilisant les Enchères: Les enchères sont basées sur le concept de vente et d'achat des biens ou de services. Le but principal de l'utilisation des enchères dans les réseaux RC est de fournir une motivation aux utilisateurs secondaires pour maximiser leur utilisation du spectre. Afin d'utiliser pleinement le spectre, l'allocation dynamique du spectre utilisant les enchères est devenue une approche prometteuse qui permet aux utilisateurs secondaires de louer des bandes inutilisées par les utilisateurs primaires.

Dans les solutions basées sur les enchères, chaque canal est assigné à un seul réseau, c'est à dire qu'il n'y a pas la notion de SU et de PU dans le même canal. Une plateforme pour l'allocation du spectre dans la RC est proposée dans [GAU 10] utilisant les enchères où le régulateur peut allouer simultanément les droits d'être PU ou SU dans le canal.

Dans ces solutions, les comportements des utilisateurs sont mensongers, de sorte que le gestionnaire centralisé ne peut pas optimiser la fonction d'utilité globale du réseau [MIR 11].

## 2.2. Accès au spectre en utilisant la théorie des jeux

La Théorie des jeux peut être définie comme un cadre mathématique qui se compose de modèles et de techniques utilisés pour analyser le comportement itératif des individus préoccupés par leur propre bénéfice. Ces jeux sont généralement divisés en deux types [GAF 08] : jeux coopératifs et jeux compétitifs.

- **Jeux coopératifs:** tous les joueurs sont préoccupés par tous les gains globaux et ils ne sont pas très inquiets de leur gain personnel. Certains travaux récents [YAN 10][ZHA 09] utilisent la théorie des jeux coopératifs pour réduire la puissance de transmission des utilisateurs secondaires afin d'éviter de générer des interférences avec les transmissions des utilisateurs primaires.

- **Jeux compétitifs:** chaque utilisateur est principalement préoccupé par son gain personnel et donc toutes ses décisions sont prises de manière compétitive et égoïste. Dans la littérature existante, nous avons constaté que les concepts théoriques du jeu ont été largement utilisés pour des attributions de fréquences dans les réseaux RC [NIY 08] [WAN 10] [TAN 10], où lorsque les utilisateurs primaires et secondaires participent à un jeu, ils ont un comportement rationnel pour choisir les stratégies qui maximisent leurs propres gains.

La propriété la plus connue des approches de la théorie des jeux est appelée « Equilibre de Nash (EN) ». Dans l'EN, chaque joueur est supposé connaître les stratégies d'équilibre des autres joueurs, et aucun joueur n'a rien à gagner en changeant sa propre stratégie.

Dans les jeux de négociation, les joueurs individuels ont la possibilité de coopérer afin de parvenir à un accord mutuel. En même temps, ces joueurs peuvent avoir des conflits

d'intérêt et aucun accord ne peut être fait avec n'importe quel joueur individuel sans son approbation. Pour les réseaux RC, les jeux de négociation sont appliqués pour allouer des bandes de fréquences dans les réseaux centralisés et décentralisés. Il faut mentionner que même si les jeux coopératifs et compétitifs ne s'intéressent qu'à la résolution de l'EN et l'analyse de ses propriétés, ils ne fournissent pas de détails sur l'interaction des joueurs pour atteindre cet équilibre [WAN 10].

### **2.3. Accès au spectre en utilisant les approches de Markov**

Les approches de la théorie des jeux ne modélisent pas l'interaction entre les utilisateurs secondaires et primaires pour l'accès au spectre. Cette modélisation peut être réalisée en utilisant efficacement les chaînes de Markov [MIR 11].

Peu de recherches ont été effectuées dans ce domaine [XIN 10] [ZHA 08], par exemple, dans [XIN 10], un modèle de Markov est présenté, où chaque SU sélectionne aléatoirement sa propre chaîne au lieu d'échanger des messages de contrôle avec les autres utilisateurs voisins. Une approche très intéressante utilisant les modèles de Markov est développée par les auteurs de [LET 09] pour analyser les différentes politiques proposées pour le partage du spectre.

### **2.4. Accès au spectre en utilisant les systèmes multi-agents**

L'association des SMA avec la RC assure un futur remarquable pour la gestion optimale des fréquences (en comparaison avec les techniques de contrôle rigides proposées par les opérateurs de télécommunications). Dans le cas de l'utilisation des bandes sans licence, le terminal RC doit coordonner et coopérer pour un usage meilleur du spectre sans causer d'interférences.

Ahmed [AHM 11] propose une architecture basée sur les agents où chaque terminal RC est équipé d'un agent intelligent, il y a des modules pour collecter les informations à propos de l'environnement radio et bien sûr les informations collectées seront stockées dans une base de connaissance partagée qui sera consultée par tous les agents. L'approche proposée est basée sur les SMA coopératifs (les agents ont des intérêts en commun). Ils collaborent en partageant leurs connaissances pour augmenter leur gain individuel ainsi que collectif.

Des agents sont déployés sur les terminaux RC des utilisateurs primaires PU et des utilisateurs secondaires SU et coopèrent entre eux dans les travaux proposés par Mir

[MIR 10a] [MIR 10b] et Haykin [HAY 05]. Par SMA coopératif, on veut dire que les agents PU échangent des t-uples de messages dans le but de s'améliorer eux-mêmes ainsi que le voisinage des agents SU. Ils proposent que les SU doivent prendre leur décision en se basant sur la quantité du spectre disponible, le temps et le prix proposé par les agents PU. Et ils doivent commencer le partage du spectre dès qu'ils trouvent une offre appropriée (Sans attendre la réponse de tous les PU). En d'autres termes, l'agent SU doit envoyer des messages à l'agent PU voisin approprié, et bien sûr le PU concerné doit répondre à ces agents pour faire un accord sur le partage du spectre. Et bien sûr après la fin de l'utilisation du spectre, le SU doit payer le PU.

Une comparaison est faite par Mir [MIR 10b] entre un agent et une RC. Principalement, les deux sont conscients de leur environnement à travers les interactions, détection, surveillance. Ils sont autonomes, ils peuvent résoudre des tâches en se basant sur leurs propres capacités et bien sûr ils peuvent coopérer avec leurs voisins en échangeant des informations.

<b>Agent</b>	<b>Radio cognitive</b>
Conscience de l'environnement à travers les anciennes observations	Détecte les espaces blancs du spectre et les signaux des utilisateurs primaires
Agit à travers des actionneurs	Décider quelle bandes/canaux va être sélectionnés
Interaction via la coopération	Interaction via le balisage
Autonomie	Autonomie
Travaillent ensemble pour atteindre des objectifs communs	Travaillent ensemble pour un partage efficace du spectre
Contient une base de connaissance avec des informations locales et sur les agents voisins	Maintient certains modèles d'utilisation du spectre des utilisateurs primaires voisins.

**Tableau III.1 : Comparaison entre un agent et une Radio Cognitive**

Dans un système multi-agents avec agents égo-centrés, un des problèmes à résoudre est comment les agents peuvent arriver à une entente commune quand ils doivent coordonner leurs actions. Les agents peuvent être en situation de concurrence pour les ressources du système ou peuvent être forcés à demander aux autres agents de faire des actions pour leur compte. Puisque les agents sont égo-centrés, la coopération est loin

d'être garantie. La négociation est le mécanisme par lequel les agents peuvent arriver à un accord commun.

### 3. La négociation

On peut citer plusieurs définitions pour la négociation. David et Smith (1980) disent que: "Par négociation, on entend une discussion dans laquelle des individus intéressés échangent des informations et arrivent à un accord en commun."

Pruits (1981) donne une définition qui s'appuie sur des considérations psychologiques et pour laquelle le conflit est l'élément de base. "La négociation est le processus par lequel plusieurs individus prennent une décision commune. Les participants expriment d'abord des demandes contradictoires, puis ils essaient de trouver un accord par concession ou par la recherche de nouvelles alternatives". Si on regarde les deux définitions citées, on peut identifier deux aspects essentiels de la négociation: la communication et la prise de décisions.

Pour modéliser la négociation dans un logiciel multi-agents il faut alors prendre en compte les aspects suivants:

- **Le langage de négociation** : le langage utilisé par les agents pour échanger des informations pendant la négociation; le langage de négociation est composé d'un ensemble de primitives de communication.
- **Le protocole de négociation** : l'ensemble des règles qui régit la négociation: les participants possibles dans la négociation, les propositions légales que les participants peuvent faire, les états de la négociation (par exemple l'état initial où commence la négociation, l'état où on accepte des soumissions ou la fin de la négociation) et une règle pour déterminer quand on est arrivé à un accord ou quand il faut s'arrêter parce qu'aucun accord n'a pas pu être trouvé.
- **L'objet de négociation** : un objet abstrait qui comprend les attributs qu'on veut négocier; dans certains cas il s'agit de négocier uniquement le prix, mais dans d'autres cas il faut aussi négocier plusieurs attributs comme le temps nécessaire pour satisfaire une commande, la qualité des produits...etc.
- **Le processus de décision** : le modèle que l'agent utilise pour prendre des décisions pendant la négociation. La partie la plus importante de la prise des

décisions dans ce cas est la stratégie de négociation qui permet de déterminer quelle primitive de négociation l'agent doit choisir à un certain moment. Le processus de décision revient à répondre à la question: "Que dois-je faire maintenant?", par exemple liciter enchérir, abandonner, etc. Pour prendre une décision adéquate, un agent doit être capable de faire un raisonnement stratégique, notamment raisonner en tenant compte de ce que font/décident les autres agents et, s'il parvient à le savoir ou à le supposer, quel est le modèle de décision des autres agents.

Le protocole établit les règles de négociation. Par exemple, une négociation peut avoir lieu en un seul tour, comme l'enchère premier-prix offre-cachée, ou en plusieurs tours avec les participants faisant des offres (soumission) à chaque tour. L'exemple qui suit (qui peut avoir lieu aussi bien entre agents humains que logiciels) montre une négociation avec plusieurs tours. Le nombre de participants et les interactions possibles peuvent aussi varier:

- négociation un-à-un: un agent négocie avec un autre, par exemple dans le cas où on essaie de négocier le prix d'achat d'une maison avec le représentant d'une agence immobilière
- négociation un-à-plusieurs: un seul agent négocie avec plusieurs autres agents, par exemple les enchères où un agent veut vendre un objet
- négociation plusieurs-à-plusieurs: plusieurs agents négocient avec plusieurs d'autres agents en même temps, par exemple les participants à des enchères électroniques comme celles organisées par eBay.

### **3.1. Négociation dans les systèmes multi-agents**

#### **3.1.1. Négociation aux enchères**

Les enchères étaient assez restreintes auparavant, car elles s'organisaient à des moments bien définis, et avec un nombre limité de participants. Avec l'explosion du commerce électronique, les enchères sont devenues un mécanisme d'achat et vente des produits disponibles à une grande échelle; voir eBay ou Yahoo Shopping. Dans le commerce électronique, en fonction de la nature de la transaction, on peut identifier plusieurs types

d'activités de e-commerce: business to business (B2B), business-to-consumer (B2C) et consumer-to-consumer (C2C). Dans les trois types de e-commerce les enchères sont la méthode la plus étudiée. Par exemple, dans Internet Auction List il y a plus de 2500 compagnies d'enchères mentionnées (en 2002). Comme dans d'autres types de négociation, les agents intelligents utilisés dans les enchères peuvent faciliter pour l'utilisateur la participation et les décisions à prendre.

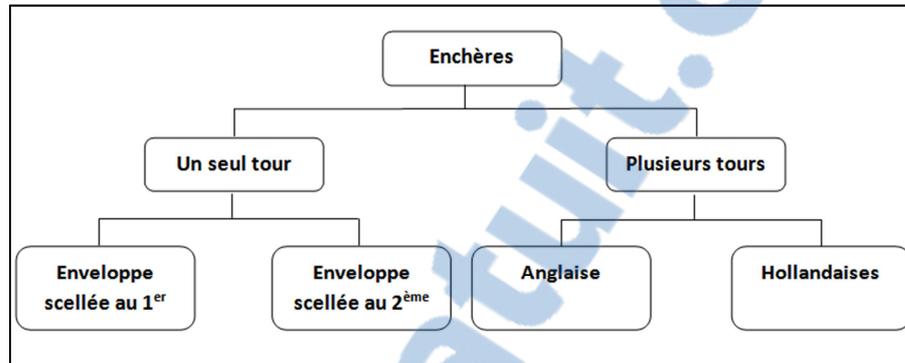
Les enchères sont des mécanismes d'interaction assez simples; pourtant il y a beaucoup de problèmes à étudier, concernant principalement le choix du protocole et de la stratégie à utiliser. Une enchère comprend, d'habitude, un initiateur qui annonce un objet à vendre, et plusieurs participants qui sont intéressés à l'acheter. Parfois, l'objet peut être une combinaison d'autres objets ou un objet avec plusieurs attributs. L'initiateur veut vendre l'objet au prix le plus élevé possible et les participants veulent l'acheter au plus petit prix possible. Les participants font des offres, appelées aussi des soumissions. Les offres des participants peuvent se faire une seule fois ou en plusieurs tours, en fonction du protocole d'enchère. Parfois, l'initiateur impose une offre minimale acceptable, appelée prix de réservation. A la fin, l'initiateur choisit le gagnant, les règles pour choisir le gagnant étant, de même, spécifiques au protocole.

Les enchères peuvent être caractérisées en fonction de plusieurs particularités. La plus importante est si l'objet mis aux enchères a une valeur privée ou commune pour les participants. Un participant accorde une valeur privée à un objet si cet objet a une valeur uniquement pour lui-même. Si on met aux enchères un vieux modèle de machine à coudre, cet objet peut avoir une grande valeur privée pour un collectionneur de machines à coudre, même si la machine ne fonctionne plus, mais une très petite valeur privée pour un participant qui désire une machine pour fabriquer des vêtements. Un objet avec une valeur commune est un objet qui a la même valeur pour tous les participants. Par exemple, une nouvelle voiture Citroën mise aux enchères aura la même valeur pour les participants. Un troisième cas de valorisation est celui dans lequel on a une valeur corrélée pour l'objet, notamment l'objet a une valeur qui dépend aussi bien de la valeur privée pour le participant que de la valeur commune pour les autres; peut-être parce que le participant désire l'objet mais considère aussi la possibilité de le vendre, à son tour, plus tard.

Une autre particularité des enchères, qui dépend du protocole, est la règle du choix du gagnant. Il y a la possibilité que le gagnant soit celui qui a offert le prix le plus élevé, et

qui doit payer ce prix pour avoir l'objet mais aussi la possibilité que le gagnant paie le prix de la deuxième (plus grande) soumission.

Il y a beaucoup de protocoles d'enchère; dans ce qui suit on va présenter uniquement les plus importants, en discutant aussi quelle est la meilleure stratégie à choisir, lorsqu'une telle stratégie existe.



**Figure III.1 : Organigramme représentant les types d'enchères**

- Enchère anglaise (premier-prix offre-publique)

L'initiateur commence l'enchère, d'habitude par l'annonce d'un prix de réservation (le prix minimal pour lequel il est d'accord pour vendre l'objet). Chaque participant annonce publiquement son offre, en plusieurs tours successifs. Quand aucun participant ne veut plus augmenter son offre, l'enchère s'arrête et le participant ayant fait la plus grande offre gagne l'objet au prix de son offre. Dans les enchères à valeurs privées, la stratégie dominante est de faire une offre un peu plus grande que la dernière offre et de s'arrêter quand la valeur privée est atteinte. Dans les enchères à valeurs corrélées, le participant augmente le prix d'une quantité constante ou d'une quantité qu'il considère justifiée. En fait, dans ce cas, il n'y a pas à proprement dire une stratégie dominante.

- Enchère première offre-cachée

L'initiateur commence l'enchère et chaque participant soumet une offre, dans un tour unique, sans savoir les offres des autres. Le participant qui a fait la plus grande offre gagne l'objet et paye le montant de son offre.

Dans ce protocole il n'y a pas de stratégie dominante. Une bonne stratégie est celle d'offrir moins que sa valeur privée, mais on ne sait pas exactement combien en dessous parce que cela dépend des offres inconnues que les autres participants ont faites.

- Enchère hollandaise (descendante)

L'initiateur commence par proposer un prix et, par des tours successifs, diminue ce prix jusqu'au moment où un des participants achète l'objet au prix proposé. Le protocole est équivalent à celui de l'enchère premier-prix offre-cachée; en conséquence il n'y a pas de stratégie dominante, en général.

- Enchère Vickery (deuxième-prix offre-cachée)

Chaque participant soumet une offre sans savoir les offres des autres, dans un seul tour. Jusqu'à ce moment le protocole est le même que celui de l'enchère premier-prix offre-cachée. La différence est que le participant qui a fait l'offre la plus grande gagne mais il doit payer le prix de la deuxième plus grande offre.

La stratégie dominante d'un participant dans ce cas est de soumettre une offre avec sa valeur privée de l'objet. À cause de cette stratégie, l'enchère Vickery est un protocole préféré pour les agents logiciels. Pourtant, elle est moins répandue dans les enchères entre humains à cause du fait que l'initiateur peut mentir sur le deuxième prix le plus élevé et faire payer le gagnant plus que ce prix. Dans les enchères électroniques on peut imposer une signature digitale à toutes les offres des participants et, de cette manière, avoir une possibilité de vérifier le prix à payer.

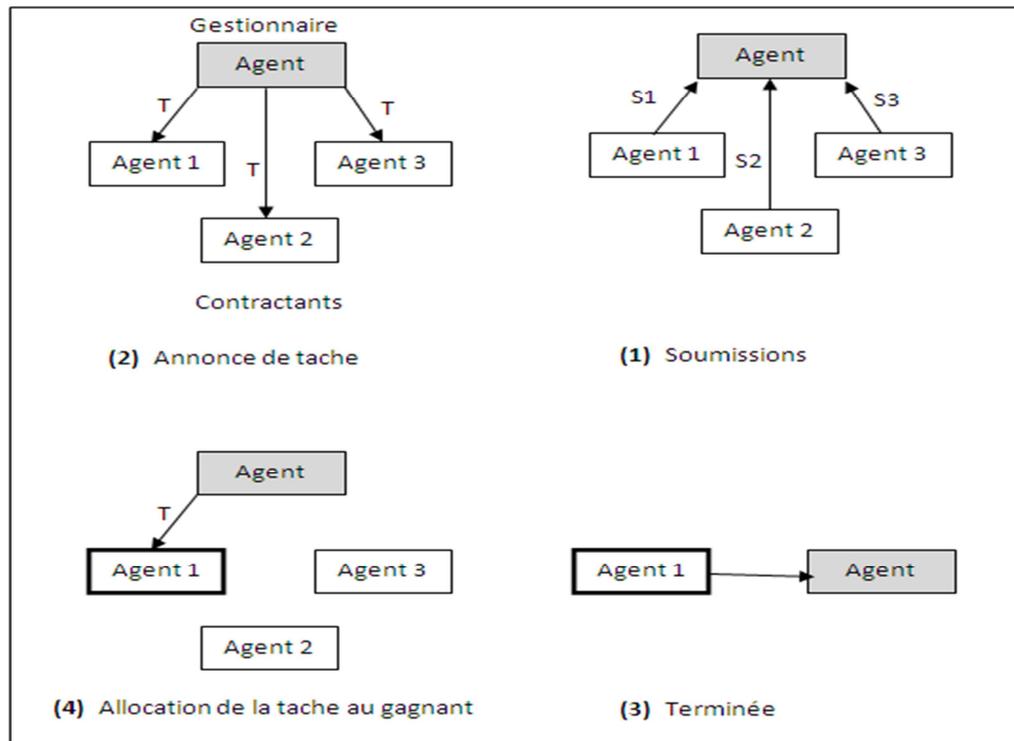
### 3.1.2. Négociation pour l'allocation des tâches

Jusqu'à maintenant on a discuté des protocoles de négociation entre agents égocentrés, c'est à dire entre agents ayant leurs propres buts. Dans cette section nous allons présenter des protocoles de négociation qui ont été conçus principalement en vue de la coordination des agents coopératifs, ayant les mêmes buts, qui partagent et résolvent ensemble des problèmes.

Le protocole réseau contractuel (Contract Net) a été une des premières approches utilisées dans les systèmes multi-agents pour résoudre le problème d'allocation des tâches. Le protocole s'appuie sur une métaphore organisationnelle: les agents coordonnent leurs activités grâce à l'établissement de contrats afin d'atteindre des buts

spécifiques. Dans le protocole réseau contractuel, les agents peuvent prendre deux rôles: gestionnaire et contractant. L'agent qui doit exécuter une tâche (le gestionnaire) commence par décomposer cette tâche en plusieurs sous-tâches. Le gestionnaire annonce chaque sous-tâche sur un réseau d'agents (les contractants). Les agents qui reçoivent une annonce de tâches à accomplir évaluent l'annonce.

Les agents qui ont les ressources appropriées, l'expertise ou l'information requise pour accomplir la tâche, envoient au gestionnaire des soumissions qui indiquent leurs capacités à réaliser la tâche. Le gestionnaire rassemble toutes les propositions qu'il a reçues et alloue la tâche à l'agent qui a fait la meilleure proposition. Ensuite, le gestionnaire et les contractants échangent les informations nécessaires durant l'accomplissement des tâches. Par exemple, le contractant annoncera au gestionnaire quand l'exécution de la tâche sera terminée. Dans des cas exceptionnels, un gestionnaire peut annuler le contrat: annoncer au contractant qu'il faut abandonner l'exécution de la tâche.



**Figure III.2 : Etapes du protocole réseau contractuel**

Les rôles des agents ne sont pas spécifiés d'avance. N'importe quel agent peut agir comme un gestionnaire et annoncer une tâche; n'importe quel autre agent peut être un contractant pour une annonce qu'on a faite. Cette flexibilité permet de nouvelles décompositions des tâches: un contractant pour une tâche spécifique peut agir comme

un gestionnaire en décomposant sa tâche et en annonçant les sous-tâches à d'autres agents. Les liens entre les gestionnaires et les contractants pour diverses tâches et sous-tâches forment un réseau contractuel hiérarchique qui permet la division des tâches et la synthèse des résultats.

### 3.1.3. Négociation heuristique

Dans cette section et la suivante on présentera d'autres mécanismes de négociation, en retournant au modèle des agents égocentrés. Dans les protocoles de négociation qu'on a déjà discutés, les agents pouvaient accepter ou repousser une proposition (offre). Si les agents peuvent uniquement accepter ou rejeter les propositions d'autres agents, alors la négociation peut être très longue et inefficace puisque l'auteur d'une proposition n'a pas le moyen de vérifier pourquoi la proposition est inacceptable, ni si les agents sont proches d'un accord, ni dans quelle direction une proposition peut être changée pour convenir à l'autre agent.

Pour améliorer l'efficacité de la négociation, les agents doivent fournir des réactions plus utiles aux propositions qu'ils reçoivent. Ces réactions peuvent prendre la forme d'une critique ou d'une contre-proposition (proposition refusée ou modifiée). Une critique est un commentaire sur la partie de la proposition que l'agent accepte ou refuse. Une contre-proposition est une proposition alternative engendrée en réponse à une proposition. À partir de telles réactions, l'auteur doit être capable d'engendrer une proposition qui est probablement plus apte à mener à un accord.

Considérons d'abord le concept de critique. Une critique fournit deux formes de réactions: elle suggère des contraintes sur les questions de négociation particulières et elle indique l'acceptation ou le rejet des caractéristiques particulières de la proposition ou de la proposition entière.

#### Exemple 1 :

Dialogue 1

*L'agent A:* je propose que vous fassiez la tâche T1 pour moi avant lundi et je vous paierai 100 unités.

*L'agent B:* je peux accepter de faire la tâche T1 avant lundi pourvu que vous me payiez plus.

La critique mentionne les aspects de la proposition qui sont acceptables et ceux qui ont besoin d'être modifiés.

#### Dialogue 2

*L'agent A:* je propose que vous fassiez la tâche T2 et je ferai pour vous la tâche T3.

*L'agent B:* je peux faire T2 pour vous mais je ne suis pas intéressé par la tâche T3.

La critique indique le rejet d'une partie de la proposition.

Les contre-propositions sont le deuxième mécanisme de réaction à une proposition. Une contre-proposition est une proposition qui est plus favorable à l'expéditeur et elle est faite en réponse à une proposition précédente. Les exemples qui suivent montrent des propositions suivies par des contre-propositions.

#### Exemple 2 :

#### Dialogue 3

*L'agent A:* je propose que vous fassiez la tâche T1 pour moi.

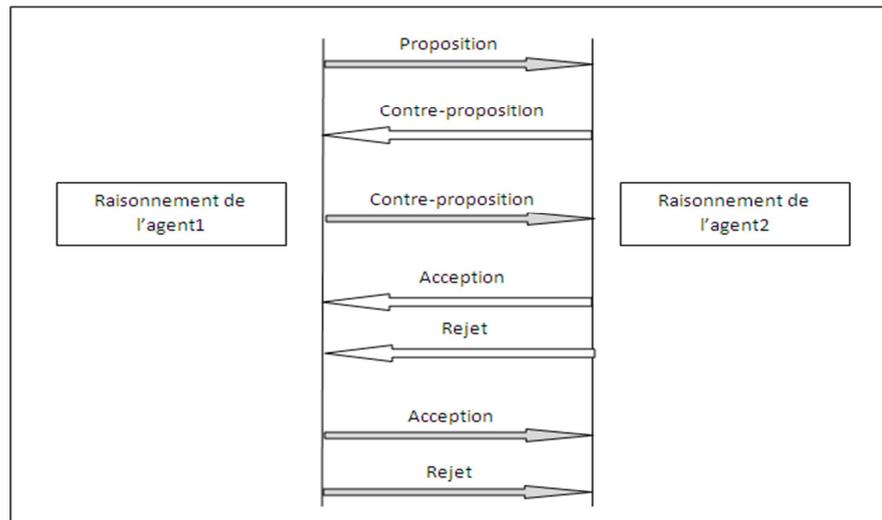
*L'agent B:* je propose de faire la tâche T1 pour vous si vous faites la tâche T2 pour moi.

#### Dialogue 4

*L'agent A:* je propose que vous fassiez la tâche T3 pour moi avant lundi et je vous paierai 100 unités.

*L'agent B:* je peux accepter de faire la tâche T3 avant lundi pourvu que vous me payiez 120 unités.

Dans le dialogue 3, la contre-proposition étend la proposition initiale alors que dans le dialogue 4, l'agent B amende une partie de la proposition initiale. Les contre-propositions diffèrent des critiques en ce que les réactions sont plus détaillées. Le schéma pour décrire un tel mécanisme de négociation est montré dans la figure suivante.



**Figure III.3 : Négociation heuristique**

Dans les méthodes heuristiques de négociation, l'objet de négociation est très important parce qu'il décrit les caractéristiques que les agents négocient. On présente exemple 3 d'un objet de négociation et une série de primitives de négociation dans un langage de négociation possible [FLO 00]. L'objet de négociation (ON) est l'intervalle des questions sur lesquelles un accord doit être trouvé. L'objet de la négociation peut être une action que l'agent négociateur A demandé à un autre agent B d'effectuer, un service que l'agent A demandé à B ou l'offre d'un service que A veut effectuer pour B si B accepte les conditions de A. L'objet de négociation est défini par plusieurs attributs, chaque attribut pouvant être négocié (Modifiable = Oui) ou non (Modifiable = Non). Cela correspond à la possibilité de modifier ou pas la valeur de l'attribut dans une contre-proposition.

### Exemple 3 :

Objet de négociation

*ON03* : ON

*Nom* : Peindre maison

*Coût* : Valeur : 100, Type : integer, Modifiable=Oui ;

*Date limite* : Valeur : 12 mai, Type : date, Modifiable=Non ;

*Qualité* : Valeur : grande, Type : un de (basse, moyenne, grande), Modifiable=Oui ;

Primitives de négociation

- (Request ON) - demande d'un objet de négociation
- (Accept nom(ON)) - accepte la demande de ON

- (Reject nom(ON)) - refuse la demande de ON
- (ModReq nom(ON) valeur (ON, X, V1)) - modifie la demande en modifiant la valeur de l'attribut X du ON a une autre valeur V1.

Le protocole est montré dans la figure suivante. Dans ce protocole plusieurs propositions et contre-propositions peuvent être échangées dans des tours suivants. L'agent A, avec la proposition A, est l'initiateur de la négociation, alors que l'agent B peut répondre avec les réponses p1B, p2B, p3B. Même si on ne l'indique pas d'une manière explicite dans le protocole, le nombre des contre-propositions qu'on peut faire est limité. Une fois que cette limite est atteinte, on arrive à un rejet.

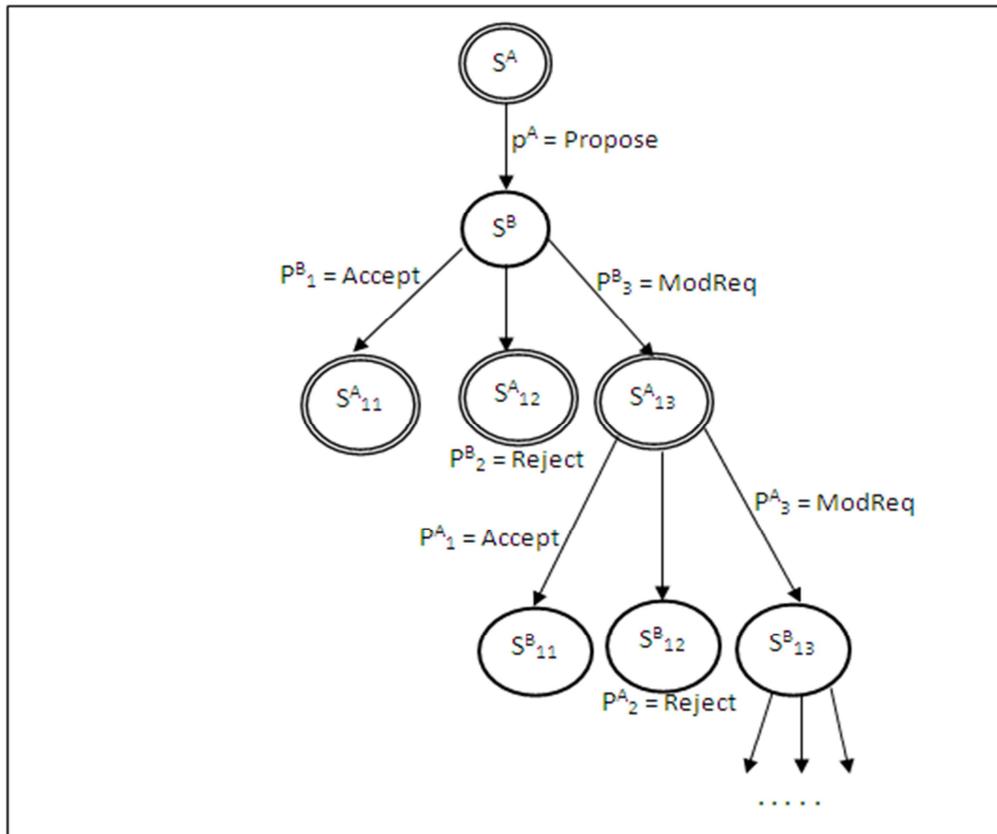


Figure III.4 : Protocole de négociation heuristique

### 3.1.4. Négociation par argumentation

Pendant la négociation heuristique, les agents peuvent essayer de changer le rejet ou la modification d'une proposition faite par un autre agent en utilisant des arguments. Ainsi, un agent peut essayer de persuader un autre agent de répondre favorablement à sa proposition en cherchant des arguments qui identifient de nouvelles occasions, créent de nouvelles occasions ou modifient les critères d'évaluation. En plus d'engendrer propositions, contre-propositions et critiques, un agent cherche à faire la proposition

plus attirante en fournissant une information supplémentaire sous forme d'arguments pour sa proposition. La nature et les types des arguments peuvent varier énormément.

Le philosophe Michael Gilbert suggère que si nous considérons l'argumentation comme elle se passe entre humains, nous pouvons identifier au moins quatre types différents d'arguments comme suit.

- **Mode logique :** Le mode logique d'argumentation ressemble à la preuve mathématique. Il a tendance à être de nature déductive. Si vous acceptez que A soit vrai et que A implique B alors vous devez accepter que B soit vrai. Le mode logique est peut-être l'exemple paradigmatique d'argumentation. C'est le genre d'argument que nous nous attendons à voir généralement dans les tribunaux et dans les articles scientifiques.
- **Mode émotif :** Le mode émotif d'argumentation est celui dans lequel l'agent plaide les sentiments, les attitudes ou tout autre état émotif. Un exemple est un argument de type: "Comment vous sentiriez-vous si cela vous arrivait ?"
- **Mode viscéral :** Le mode viscéral d'argumentation couvre les aspects physiques et sociaux de l'argument humain. Il est utilisé, par exemple, quand un participant menace l'autre.
- **Mode kisceral :** Le mode kisceral d'argumentation fait appel à l'intuition, à la religion,...etc.

Dans ce que suit, nous présentons les arguments utilisés dans un système d'argumentation nommé ANA (l'Agent de Négociation Automatisé) et développé par Kraus, Sycara et Evenchik (1998). Les agents ANA sont des agents égocentrés et 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 capables de représenter leurs propres croyances, désirs et buts, de raisonner sur les croyances, désirs et buts des autres agents et d'essayer d'influencer les croyances et les intentions des autres agents du système.

Le modèle d'agent dans le système est un modèle BDI et la décision pour choisir le bon argument dépend des propres buts, des rapports entre ces buts, des croyances de l'agent, et de ce que l'agent croit concernant l'autre agent.

Dans la négociation, les agents peuvent utiliser différents types d'arguments. Chaque type d'argument est défini par des pré-conditions pour son utilisation. Si ces conditions sont satisfaites, alors l'agent peut utiliser l'argument. Évidemment, parmi les arguments

possibles dans une certaine situation, l'agent doit choisir le bon argument; par conséquent l'agent a besoin d'une stratégie pour décider quel argument utiliser.

Les types d'arguments sont les suivants:

- **Appels à une promesse passée** : le négociateur A rappelle à B une promesse passée concernant l'objet de négociation, autrement dit l'agent B a promis dans une négociation antérieure à l'agent A d'offrir ou effectuer un objet de négociation.  
**Pré-conditions:** l'agent A doit vérifier si une promesse concernant un objet de négociation a été reçue dans le passé à l'occasion d'une négociation conclue avec succès.
- **Promesse d'une récompense future** : le négociateur A promet de faire l'objet de négociation  
Pour un autre agent B à un moment futur.  
**Pré-conditions:** l'agent A doit trouver un désir de l'agent B pour un moment futur, si possible un désir qui peut être satisfait par une action (service) que A peut effectuer mais que B ne peut pas effectuer.
- **Appels au propre intérêt** : l'agent A croit que la conclusion d'un accord sur l'objet de négociation est dans l'intérêt de B et essaye de convaincre B de cela.  
**Pré-conditions:** l'agent A doit trouver (ou déduire) un des désirs de B qui sera satisfait si l'agent B a l'objet de négociation ou A doit trouver un autre objet de négociation ON' qui a été offert auparavant sur le marché et démontrer que l'objet de négociation proposé est plus intéressant que ON'.
- **Appel à une pratique fréquente** : l'agent A croit que B a refusé la proposition parce que B croit que la proposition contredit un de ses buts. Dans ce cas, l'agent A donne à B l'exemple d'une pratique fréquente qui démontre que l'acceptation de la proposition ne contredit pas le but de B.  
**Pré-condition:** l'agent A doit trouver un autre agent ayant le même but que B, qui a été déjà d'accord avec une proposition semblable et qui a vu que l'accord n'a pas nui à ses buts.
- **Menace** : le négociateur menace de refuser à faire/offrir quelque chose à B ou il menace de faire quelque chose qui contredit les désirs de B.  
**Pré-conditions:** l'agent A doit trouver un des désirs de B directement satisfiable par un objet de négociation que l'agent A peut offrir ou A doit trouver une action qui est contradictoire avec ce qu'il croit être un des désirs de B.

#### 4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté diverses méthodes d'accès au spectre en partant des enchères où la fonction utilité du réseau n'est pas optimisée à chaque fois car elle dépend du comportement des utilisateurs, et passant ensuite par la théorie des jeux qui est largement utilisée dans ce domaine car elle permet d'aboutir à un équilibre entre les utilisateurs qui assure une gestion efficace du spectre. Nous nous sommes concentrés sur l'utilisation des systèmes multi agents dans l'accès dynamique au spectre, cependant cette méthode a été exploitée par une minorité de chercheurs (en comparaison avec la théorie des jeux) pour résoudre le problème de l'allocation du spectre. Différentes approches utilisant les SMA dans la RC sont étudiées.

Néanmoins, une étude de cas est nécessaire pour l'évaluation des différentes idées dans un environnement réel. Cette étude de cas va permettre d'aborder la phase d'implémentation. Cette dernière phase fera l'objet du chapitre suivant pour la validation de notre approche.

## **Chapitre IV**

# **Problématique, solution proposée et implémentation**

## 1. Introduction

Après avoir étudié les différentes méthodes de négociation entre les utilisateurs primaires et les utilisateurs secondaires dans les réseaux radios cognitifs, nous sommes parvenus de proposer d'utiliser d'enchère anglaise on se basant sur la méthode d'aide à la décision multicritère la technique pour ordre de préférence en similarité de solution idéale (TOPSIS). Il s'agit d'une méthode d'agrégation compensatoire qui compare un ensemble de solutions en identifiant les poids pour chaque critère, la normalisation des scores pour chaque critère et en calculant la distance géométrique entre chaque alternative et l'alternative idéale, qui est le meilleur score dans chaque critère (voir annexe B).

Cette solution sera implémentée en utilisant la plateforme JADE et l'API JFreeChart dans l'environnement de développement NetBeans 7.2 (voir annexe A).

## 2. Problématique et solution proposée

La croissance explosive des services sans fils ces dernières années illustre la demande croissante des communications, ainsi le spectre devient plus encombré. Nous savons que l'allocation du spectre statique est un problème majeur dans les réseaux sans fils.

La radio cognitive offre une solution équilibrée au problème de l'encombrement du spectre en accordant d'abord l'usage prioritaire au propriétaire du spectre (utilisateur primaire PU), puis permettant à d'autres de se servir des portions inutilisées du spectre.

Pour gérer intelligemment les ressources radio, des algorithmes de négociations et de coopération issus du domaine multi agents sont à exploiter afin d'assurer une répartition plus efficace du spectre.

Nous avons opté pour deux protocoles de négociation, le premier basé sur la théorie des enchères et la deuxième heuristiques, car nous pensons que se sont des approches ingénieuses pour l'allocation de ressources à un ensemble d'agents.

Pour être plus précis, nous avons choisis deux types d'enchères : un s'effectuant en un seul tour tel que les enchères à enveloppes scellées avec et sans programmation dynamique et un autre s'effectuant en plusieurs tours tel que les enchères anglaises avec et sans la méthode d'aide à la décision multicritère TOPSIS.

### 3. Implémentation des solutions proposées

#### 3.1 Topologie du réseau utilisé

Nous avons utilisé un réseau de radio cognitive basé sur une architecture distribuée avec l'existence d'un élément central qui est le coordinateur, le réseau est composé de trois utilisateurs primaires et quatre utilisateurs secondaires et un nœud coordinateur qui fait la coordination entre les utilisateurs primaire lorsque les utilisateurs primaire ne peuvent pas satisfaire une demande de l'utilisateur secondaire. La figure IV.1 montre la topologie du réseau utilisé.

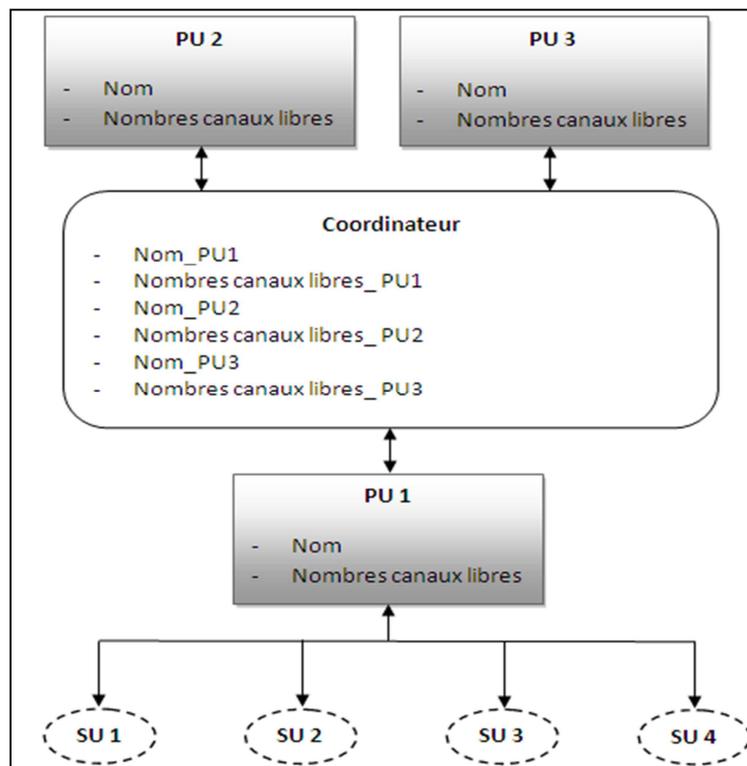
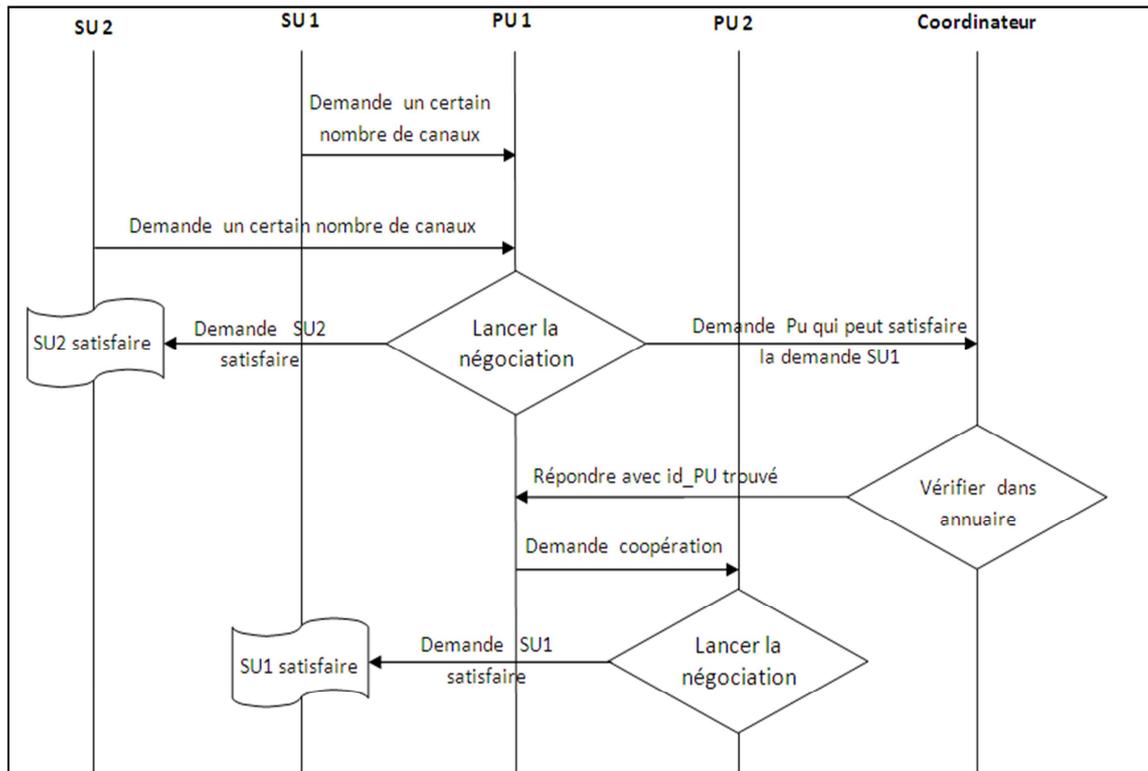


Figure IV.1 : Topologie du réseau utilisé

#### 3.2 Scénario proposé

Dans un premier temps, nous avons porté notre attention sur un type particulier de négociation « plusieurs à plusieurs » c'est-à-dire il y a plusieurs PU qui partagent son spectres et plusieurs SU qui ont besoin de bandes libres pour assurer la qualité de leur application. La figure IV.2 illustre le scénario qui sera traité dans la suite.

PU1 va envoyer la demande vert PU qui va satisfaire ces demandes ainsi de suite.



**Figure IV.2 : Organigramme de scénario proposé**

### 3.3 Algorithmes proposés

L'objectif est faire une comparaison entre les méthodes de négociations suivantes:

- Un seul tour
  - Méthode FIFO (First In first Out).
  - Méthode d'enchère à enveloppe scellée.
  - Méthode d'enchère à enveloppe scellée avec la programmation dynamique.
- Plusieurs tours
  - Méthode d'enchère anglaise.
  - Méthode d'enchère anglaise avec la méthode la méthode d'aide à la décision multicritère TOPSIS.
  - Méthode de négociation heuristique.

Dans ce qui suit, nous allons noter :

- Nbre\_SU : le nombre de SU.
- m: le nombre de canaux libres coté PU.
- W : tableau de taille égale au nombre de SU, W[i] est le nombre de canaux demandés par SU.

- C : tableau de taille égale au nombre de SU, C[i] représente le prix proposé pour W[i] par SU<sub>i</sub>.
- Pour la méthode TOPSIS on a proposé un vecteur des coefficients d'importance des critères :

T [prix, nombre\_canaux\_demandés, temps\_occupation] = T[0.5, 0.25, 0.25].

#### 4.3.1 Méthode FIFO

Le principe consiste à satisfaire la première demande reçue par PU avec la contrainte  $\sum_{i=0}^{n=Nbre\_SU-1} W[i] \leq m$ .

#### 4.3.2 Méthode d'enchère à enveloppe scellée

Le principe est simple, il consiste à attendre la réception de toutes les demandes et satisfaire la demande de SU qui propose un prix pour l'ensemble des canaux tels que le prix est supérieur à celui des autres SU et le nombre des canaux demandés est inférieur à celui disponible  $\sum_{i=0}^{n=Nbre\_SU-1} W[i] \leq m$ .

```

function Trier(W,C,m)
  n=C.length
  for i=0 to C.length do
    for j=i+1 to C.length do
      if C[i]<C[j] then
        Prix_Max=C[j]
        C[j]=C[i]
        C[i]=Prix_Max
        D =W[j]
        W[j]=W[i]
        W[i]=D
      end if
    end for
  if W[i]≤ m then
    W[i] demande satisfaite
    m=m-W[i]
  end if
end for
end function

```

*Exemple :*

m=5,

Nbre\_SU=4,

W= [1,2 ,2 ,3],

C= [82,73 ,70 ,80],

Les résultats obtenus configurer au tableau suivant

SU	Trier C[i] par un ordre décroissant	W[i]	Demande satisfaite oui/non
SU1	82	1	Oui (m=4)
SU4	80	3	Oui (m=1)
SU2	73	2	Non Car 2>m
SU3	70	2	Non Car 2>m

**Tableau IV.1 : Exemple sur la simulation de la méthode d'enchère à enveloppe scellée**

Le gain obtenu par le PU égal à 162.

### 4.3.3 Méthode d'enchère à enveloppe scellée avec la programmation dynamique

Il consiste à attendre la réception de toutes les demandes et satisfaire la demande de SU qui propose un prix pour l'ensemble des canaux tels que le prix unitaire est supérieur à celui des autres SU et le nombre des canaux demandés est inférieur à celui disponible  $\sum_{i=0}^{n=Nbre\_SU-1} W[i] \leq m$ .

L'algorithme proposé dans [AMR 13] pour la programmation dynamique est le suivant :

```

function Cout(W,C,m)
  n=C.length
  for j=0 to Nbre_SU do
    for i=0 to m do
      if j≤W[i-1] then
        tab[i][j]=tab[i-1][j]
      else
        tab[i][j]=max(tab[i-1][j],C[i+1]+ tab[i-1][j-W[i-1]])
      end if
    end for
  end for
  return tab[Nbre_SU ][m]
end function

```

*Exemple :*

m=5,

Nbre\_SU=4,

W= [1,2 ,2 ,3],

C= [82,73 ,70 ,80],

Les résultats obtenus configurer au tableau suivant

N°	Les choix possibles	Gain obtenu par PU	Nombre des canaux réservé	Demande satisfaite oui/non
1	SU1, SU2	155	3	Oui Car 3<m
2	SU1, SU3	152	2	Oui Car 3<m
3	SU1, SU4	162	4	Oui Car 4<m
4	SU1, SU2, SU3	225	5	Oui Car 5=m
5	SU1, SU2, SU4	235	6	Non Car 6>m
6	SU1, SU3, SU4	232	6	Non Car 6>m
7	SU2, SU3	143	4	Oui Car 4<m
8	SU2, SU4	153	5	Oui Car 5=m
9	SU2, SU3, SU4	223	7	Non Car 7>m
10	SU3, SU4	150	5	Oui Car 5=m

**Tableau IV.2 : Exemple sur la simulation de la méthode d'enchère à enveloppe scellée avec programmation dynamique**

Le gain obtenu par le PU égal à 225 car le PU choisit la quatrième possibilité.

On a traité le même exemple pour les deux méthodes, la méthode d'enchère à enveloppes scellées avec programmation dynamique permet à PU de vérifier tout les cas possibles pour obtenir le meilleur gain avec la contrainte  $\sum_{i=0}^{n=Nbre\_SU-1} W[i] \leq m$ , par contre la méthode d'enchère à enveloppes scellées sans programmation dynamique ne donne pas des multi choix à PU.

#### 4.3.4 Méthode d'enchère anglaise

Il consiste à attendre la réception de toutes les demandes, chaque SU annonce publiquement son offre, en plusieurs tours successifs. Quand aucun SU ne veut plus augmenter son offre, l'enchère s'arrête et le SU ayant fait la plus grande offre gagne

l'objet au prix de son offre et le nombre des canaux demandés est inférieur à celui disponible  $\sum_{i=0}^{n=Nbre\_SU-1} W[i] \leq m$ .

L'algorithme proposé dans [AMR 13] pour les enchères anglaises est le suivant :

```
function ANGLAISE
  for i=0 to Nbre_SU-1 do
    max_su[i]=random*1000
    if max_su[i] > max then
      max=max_su[i]
    end if
    C[i]=random*100
    C[i]=C[i]/W[i]
    bool[i]=1
  end for
  while nb_bool ≠ 0 do
    for i=0 to Nbre_SU-1 do
      if bool[i]=0 then
        continue
      end if
      if C[i] > max_su[i] then
        if bool[i] =1 then
          C[i]=max_su[i]
          bool[i] =0

          end if
          nb_bool=nb_bool-1
        end if
        if C[i] > max1 then
          max1=C[i]
        end if
      end for
      prix_pu=max1
      for i=0 to Nbre_SU-1 do
        if bool[i] ≠ 0 then
          C[i]=random*100
        end if
      end for
    end while
    return prix_pu
end function
```

### 4.3.5 Méthode d'enchère anglaise avec la méthode d'aide à la décision multicritère TOPSIS

Il consiste à attendre la réception de toutes les demandes, chaque SU annonce publiquement son offre, en plusieurs tours successifs. Quand aucun SU ne veut plus augmenter son offre, l'enchère s'arrête et le SU ayant fait : la plus grande offre, le plus petit demandes des canaux et le plus petit temps d'occupation du canal gagne l'objet au prix de son offre et le nombre des canaux demandés est inférieur à celui disponible  $\sum_{i=0}^{n=Nbre\_SU-1} W[i] \leq m$ .

L'algorithme qui permet obtenir (Maximin de prix , Minimal de demande des canaux, Minimal temps d'occupation un canal ) c'est une l'un des méthodes d'aide à la décision multicritère TOPSIS proposé par Hwang et Yoon [HWA 81] , l'idée fondamentale de cette méthode consiste à choisir une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale (meilleure sur tous les critères) et de s'éloigner le plus possible de la pire solution (qui dégrade tous les critères) (Voir annexe B) .

Leur principe est le suivant :

- Etape 1 : Normaliser les performances comme suit

$$E' = e''_{ji} = \left[ \frac{g_j(a_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [g_j(a_i)]^2}} ; i=1,2,\dots,m ; \text{et } j=1,2,\dots,n \right]$$

- Etape 2 : Calculer des performances normalisées par les coefficients d'importance relative des attributs.

$$e''_{ij} = \pi_j \cdot e'_{ij} , i=1,2,\dots,m ; \text{et } j=1,2,\dots,n$$

- Etape 3 : Déterminer les profils idéal ( $a^*$ ) et anti-idéal ( $a_*$ ).

$$a^* = \{ \text{Max } e''_{ij} , i=1, 2, \dots, m ; \text{et } j=1, 2, \dots, n \} ; e^*_j = \text{Max}_i \{ e''_{ij} \}$$

$$a^* = \{ e^*_j , j=1, 2, \dots, n \}$$

$$a_* = \{ \text{Min } e''_{ij} , i=1, 2, \dots, m ; \text{et } j=1, 2, \dots, n \} ; e_{j*} = \text{Min}_i \{ e''_{ij} \}$$

$$a_* = \{ e_{j*} , j=1, 2, \dots, n \}$$

- Etape 4 : Calculer la distance euclidienne par rapport aux profils  $a^*$  et  $a_*$ .

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e''_{ij} - e^*_j)^2} , i=1, 2, \dots, m$$

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e''_{ij} - e_{j*})^2} , i=1, 2, \dots, m$$

- Etape 5 : Calculer un coefficient de mesure du rapprochement au profil idéal.

$$C_i^* = \frac{D_{i^*}}{D_i^* + D_{i^*}}, i=1, 2, \dots, m \text{ avec } 0 \leq C_i^* \leq 1$$

- Etape 6 : Ranger les actions en fonction des valeurs décroissantes de  $C_i^*$ .

### 4.3.6 Méthode de négociation heuristique

Tous les SU proposent leurs offres qui seront accepté, rejeté, ou lui donne une occasion d'améliorer l'offre ainsi de suite. La négociation s'arrête quand l'acceptation ou le rejet l'un des parties (PU ou SU) et le nombre des canaux demandés est inférieur à celui disponible  $\sum_{i=0}^{n=Nbre\_SU-1} W[i] \leq m$ .

Exemple :

m=5,

Nbre\_SU=4,

W= [1,2 ,2 ,3],

C= [82,73 ,70 ,80],

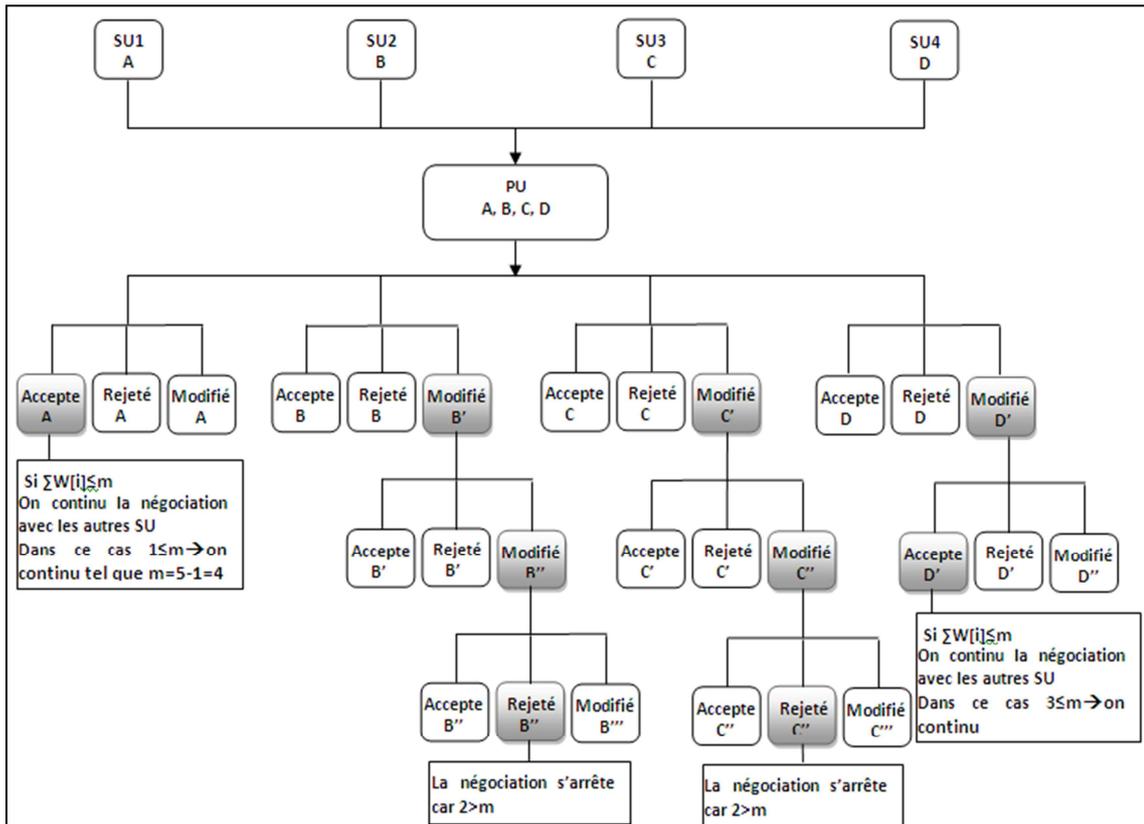


Figure IV.3 : Exemple sur négociation heuristique

A, B, C, D : présentes les propositions initiales de chaque SU.

$A', B', C', D', B'', C'', D'', B''', C'''$  : présentes les propositions modifiables pour chaque SU.

Lorsque PU reçu deux propositions acceptable au même temps, si possible accepter les deux avec la somme des nombres des canaux est vérifier la condition  $\sum_{i=0}^{n=Nbre\_SU-1} W[i] \leq m$ , si non PU va accepter le meilleur offre (prix supérieur).

### 3.4 Présentation de l'application

Dans qui suit nous allons détailler notre application.

The screenshot shows the main interface of the application. At the top, there are three buttons: "Les Agents", "Démarrer", and "Comparaison". Below these, there are two main sections for agent configuration: "Agent Non Cooperatif" and "Agent Cooperatif". Each section has options for "Négociation Par L'Enchère" (FIFO, Enveloppe Scelle, Dynamique) and "Négociation Par Heuristique" (Enchère Anglaise, TOPSIS). The "Agent Cooperatif" section has a radio button selected for "Négociation Par Heuristique".

Below the agent configuration, there are two sections for user parameters. The first section, "Les Agents", has a "Primaire" category with three users (PU 1, PU 2, PU 3) and a "Secondaires" category with four users (SU 1, SU 2, SU 3, SU 4). The "Nbre\_Canaux\_Libres" section has input fields for each user. The "Préconditions" section has input fields for "Min\_Prix" and "Temps\_Occupation doit inferieur du" for each user.

	Nbre_Canaux_Libres	Min_Prix	Temps_Occupation doit inferieur du
PU 1	3	122	3000
PU 2	4	99	1000
PU 3	3	100	2000

	Nbre_Canaux_demandés	Prix_Proposé / Unitaire	Prix_Proposé / Total	Prix_Proposé / Maximun	Temps_Occupation
SU_1	1	100	100	110	1000
SU_2	3	150	450	155	2000
SU_3	2	99	198	100	3000
SU_4	4	150	4	178	1000

Figure IV.4 : Interface principale de l'application réalisée

La figure IV.3 montre l'interface principale et offre à l'utilisateur le choix de configurer quelques des paramètres liés aux utilisateurs primaire (nombre des canaux libre et les pré-conditions) et des paramètres liés aux utilisateurs secondaires (nombre des canaux demandés, prix proposé unitaire, prix proposé prix maximum proposé, temps d'occupe les canaux). Le bouton « Démarrer » sert à lancer la simulation PU et afficher le résultat, le bouton « Comparaison » pour faire une comparaison entre les méthodes que nous avons traitées.

Pour la simulation, nous avons utilisé un même jeu de données pour tous les méthodes pour pouvoir comparer.

Utilisateurs primaires	Nombre des canaux libres	Pré-conditions	
		Minimum prix accepté/unité	Temps occupation doit inférieur/unité
PU_1	5	70	600ms
PU_2	3	40	800ms
PU_3	1	50	720ms

Tableau IV.3 : Les paramètres liés aux PU

Utilisateurs secondaires	Nombre des canaux demandé	Prix unitaire proposé	Prix maximum unitaire proposé	Temps d'occupation un canal
SU_1	1	175	175	600ms
SU_2	3	60	70	400ms
SU_3	2	85	92	300ms
SU_4	2	70	88	400ms

Tableau IV.4 : Les paramètres liés aux SU

Résultat du l'Enchère anglaise avec la méthode TOPSIS					
Gain obtenu		Temps de réponse		Nombre de SU satisfait	
PU_1	895	3031	3		
PU_2	630	3110	1		
PU_3	0	0	0		

	Nbre_Canaux	Prix_Unitaire	Prix_Total	Prix_Max	Temps_Occupation	
SU_1	1	175	175	175	600	✓
SU_2	3	60	180	210	1200	✓
SU_3	2	85	170	184	600	✓
SU_4	2	70	140	176	800	✓

Figure IV.5 : Interface d'affichage les résultats obtenus pour l'enchère anglaise avec la méthode TOPSIS

L'occupation de canal est exprimée par la coloration de SU avec la couleur du PU qu'il allouer les canaux (voir figure IV.5).

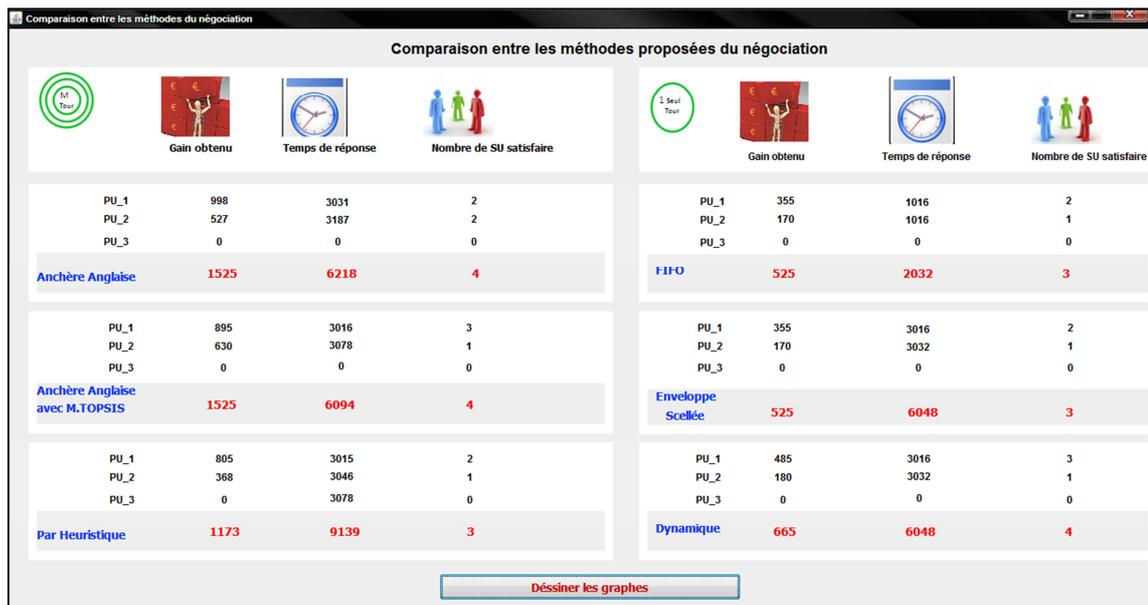


Figure IV.6 : Interface d’affichage les résultats obtenus pour toutes les méthodes proposées

Méthode	Utilisateurs primaires	Gain obtenu	Temps de réponse	Nombre de SU satisfait
FIFO	PU_1	355	1016	2
	PU_2	170	1016	1
	PU_3	0	0	0
	<b>Total</b>	<b>525</b>	<b>2032</b>	<b>3</b>
Enveloppe scellée	PU_1	355	3016	2
	PU_2	170	3032	1
	PU_3	0	0	0
	<b>Total</b>	<b>525</b>	<b>6048</b>	<b>3</b>
Enveloppe scellée avec programmation dynamique	PU_1	485	3016	3
	PU_2	180	3032	1
	PU_3	0	0	0
	<b>Total</b>	<b>665</b>	<b>6048</b>	<b>4</b>

Tableau IV.5 : Les résultats obtenus avec un seul tour

Après plusieurs tests avec des différents paramètres, on peut citer les avantages et les inconvénients de chaque méthode proposée (voir la table IV.6 et la table IV.8).

Méthode	Avantages	Inconvénients
FIFO	<ul style="list-style-type: none"> <li>La réponse est immédiate.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas des choix des offres.</li> <li>Nombre de SU satisfaits est plus petit par rapport les autres méthodes.</li> <li>Le gain obtenu est moins important par rapport les autres méthodes.</li> </ul>
Enveloppe scellée	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nombre de SU satisfaits est plus grand par rapport la méthode FIFO dans le cas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La réponse n’est pas immédiate.</li> <li>Le gain obtenu n’est pas le meilleur.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>général.</li> <li>Le gain obtenu plus grand que la méthode FIFO dans le cas général.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Un seul choix disponible a PU.</li> </ul>
<b>Enveloppe scellée avec programmation dynamique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nombre de SU satisfaits est plus grand par rapport la méthode FIFO.</li> <li>Le gain obtenu plus grand par rapport les autres méthodes.</li> <li>Des multi-choix disponible a PU.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La réponse n'est pas immédiate.</li> </ul>

Tableau IV.6 : Comparaison entre les méthodes d'un seul tour

D'après la table IV .3, les résultats obtenus montrent que quel que soit le nombre de canaux demandés, l'utilisation des enchères avec la programmation dynamique est mieux que les enchères à enveloppe scellée et FIFO en termes de nombre de SU satisfaits, gain obtenu par le PU.

Méthode	Utilisateurs primaires	Gain obtenu	Temps de réponse	Nombre de SU satisfait
Enchère l'Anglaise	PU_1	998	3031	2
	PU_2	527	3062	2
	PU_3	0	0	0
	<b>Total</b>	<b>1525</b>	<b>6093</b>	<b>4</b>
Enchère l'anglaise avec M.TOPSIS	PU_1	895	3016	3
	PU_2	630	3063	1
	PU_3	0	0	0
	<b>Total</b>	<b>1525</b>	<b>6079</b>	<b>4</b>
Par Heuristique	PU_1	805	3015	2
	PU_2	368	3046	1
	PU_3	0	3078	0
	<b>Total</b>	<b>1277</b>	<b>9109</b>	<b>3</b>

Tableau IV.7 : Les résultats obtenus avec plusieurs tours

NOM_SU	Etat_Initiale	Tourner N°1	Tourner N°2
SU 1	175	914	175
SU 2	180	1015	210
SU 3	170	326	184
SU 4	140	319	176

Figure IV.7 : Interface d'affichage les prix proposés dans chaque tour d'enchère anglaise

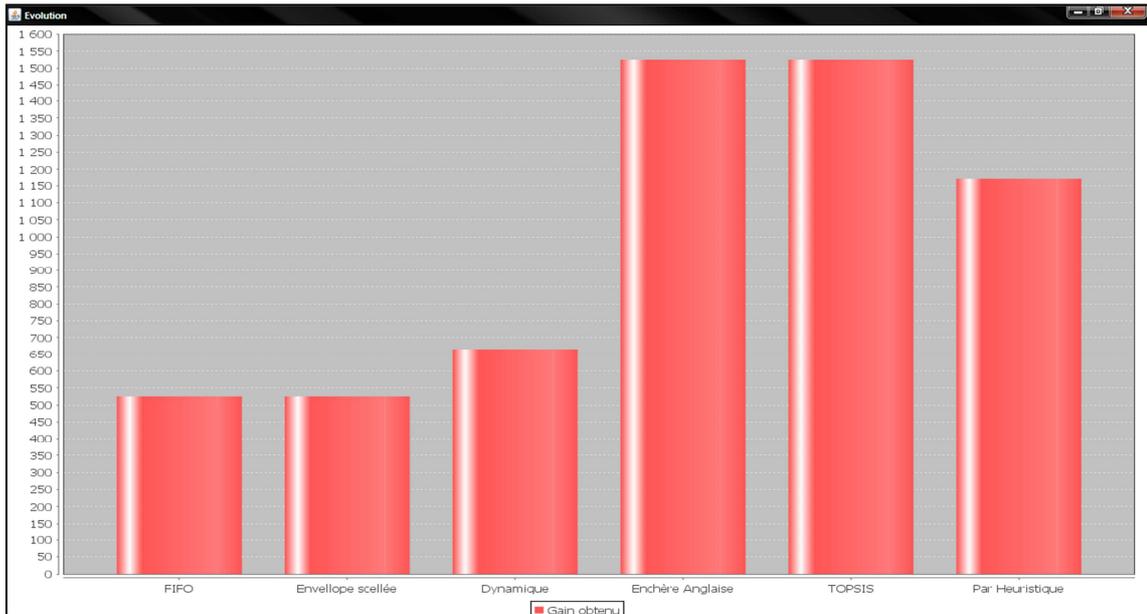
Méthode	Avantages	Inconvénients
<b>Enchère l'Anglaise</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le gain obtenu par les PU est plus grand par rapport la méthode par heuristique.</li> <li>Nombre de SU satisfaits est grand par rapport la méthode par heuristique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La réponse n'est pas immédiate.</li> <li>Un long temps de réponse si o na plusieurs tours.</li> <li>Les PU ne peuvent pas récupérer leurs canaux jusqu'à les SU termine l'utilisation de ces canaux.</li> <li>Ne prend pas en charge le temps d'occupation des canaux, cela</li> </ul>

		<p>conduit à la perte d'énergie PU.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les SU perte d'énergie.</li> </ul>
<b>Enchère l'anglaise avec M.TOPSIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le gain obtenu par les PU est plus grand par rapport la méthode par heuristique.</li> <li>• Permettre de prendre en considération plusieurs critères lors de la sélection de l'utilisateur secondaire approprié, car au paravent on utilisait que le critère prix et cela n'était pas suffisant.</li> <li>• Permet de choisir le meilleur gain avec le plus court temps d'allouer les canaux.</li> <li>• Nombre de SU satisfaits est grand par rapport la méthode par heuristique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La réponse n'est pas immédiate.</li> <li>• Les SU perte d'énergie.</li> </ul>
<b>Par Heuristique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le gain obtenu plus grand par rapport les méthodes avec un seul tour.</li> <li>• Permet aux SU de garder l'énergie lorsqu'ils ne remplient pas les pré-conditions éliminatoires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La réponse n'est pas immédiate.</li> <li>• Nombre de SU satisfaits est plus petit par rapport les autres méthodes.</li> <li>• Le gain obtenu n'est pas le meilleur.</li> <li>• Les SU perte d'énergie, les PU et les SU changent les propositions avec plusieurs tours qui peuvent termine par un rejet.</li> </ul>

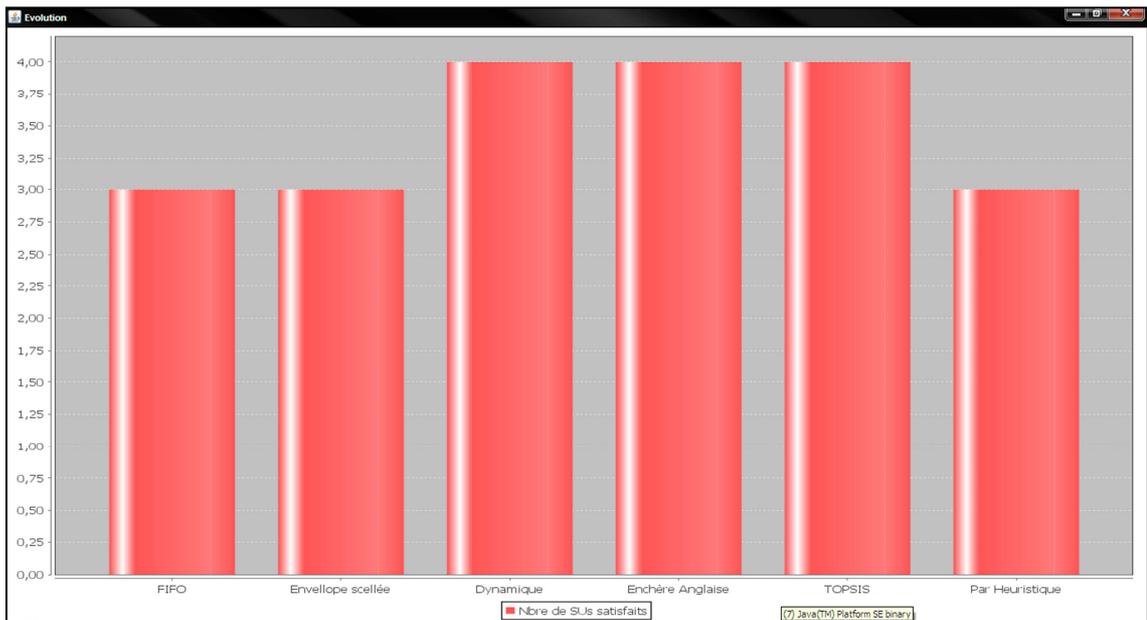
**Tableau IV.8 : Comparaison entre les méthodes d'un plusieurs tours**

Après cette simulation, on remarque que l'utilisation des enchères à plusieurs tours bénéfique pour le PU car ses gains sont beaucoup plus importants par rapport à l'utilisation des enchères à un seul tour ou l'utilisation de la technique FIFO.

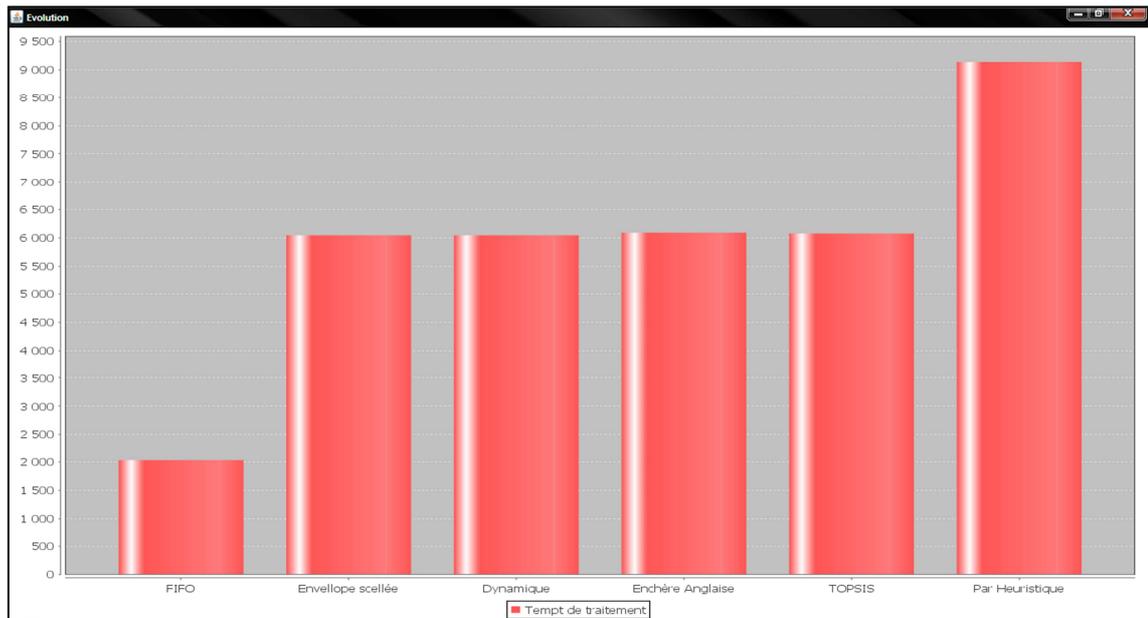
Ces comparaisons, montrent que l'enchère anglaise avec la méthode d'aide à la décision multicritère TOPSIS était mieux en termes de profit, le temps à louer et la satisfaction du SU (voir les figures IV suivantes), elle permettre de prendre en considération plusieurs critères lors de la sélection de l'utilisateur secondaire approprié, car le critère prix n'était pas suffisant.



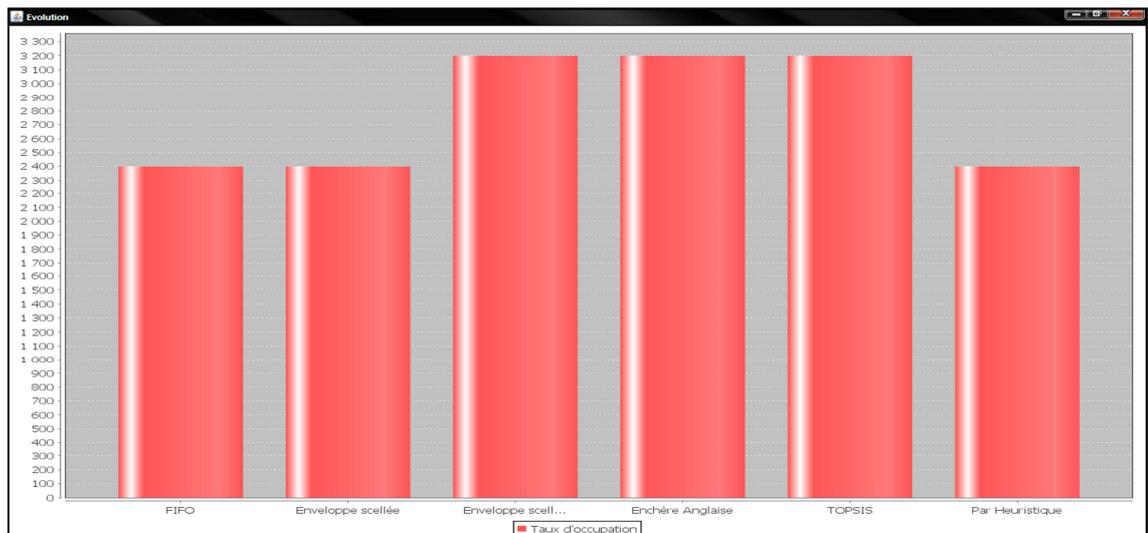
**Figure IV.8 : Comparaison entre les méthodes proposées en termes de gains obtenus par les PU**



**Figure IV.9 : Comparaison entre les méthodes proposées en termes de nombre de SU satisfaits**



**Figure IV.10 : Comparaison entre les méthodes proposées en termes de temps de réponses par les PU**



**Figure IV.11 : Comparaison entre les méthodes proposées en termes de taux d'occupation les canaux**

On remarque que l'utilisation des enchères à plusieurs tours bénéfique pour le PU car ses gains sont beaucoup plus importants par rapport à l'utilisation des enchères à un seul tour.

#### 4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la partie essentielle de notre projet de fin étude, l'idée de notre travail consiste à combiner la théorie des enchères et négociation par heuristique avec les systèmes multi-agents pour résoudre le problème de l'encombrement du spectre. Pour cela, nous donnons les notions les plus importantes concernant la topologie et les outils utilisés pour faire simuler l'accès dynamique aux spectres, en utilisant deux types particuliers d'enchères c'est l'enchère à enveloppe scellée et l'enchère anglaise, puis négociation heuristique. Pour maximiser les gains du PU, il faut utiliser l'enchère à plusieurs tours.

Si on s'intéresse plutôt au nombre de SU satisfaits, il vaut mieux utiliser les enchères à un seul tour car la procédure est plus rapide. On utilise la négociation heuristique lorsque les PU et les SU fournissent des réactions plus utiles aux propositions qu'ils reçoivent. Les résultats obtenus montrent, l'enchère anglaise avec la méthode TOPSIS, permet de répondre à tous les critères suivants : maximiser les gains du PU et nombre de SU satisfaits avec le temps minimal d'occupation des canaux libres.

# **Conclusion générale**

Dans de mémoire nous avons présenté les réseaux de radio cognitive afin de montrer les avantages que proposent cette technologie émergente et les techniques d'accès dynamique au spectre. Nous nous sommes concentrés sur deux méthodes d'accès théorie des enchères et méthode par heuristique.

Les études de la théorie des enchères du choix rationnel dans les interactions multi-agents, telles qu'on les a présentées, supposent typiquement que les agents ont la possibilité de choisir la meilleure stratégie parmi toutes les stratégies possibles. Pour implémenter une telle approche, le coût du calcul pour la décision doit être pris en compte et ceci peut mener à des problèmes computationnels complexes, et comme solution on a intégré la méthode d'aide à la décision multicritère TOPSIS sur l'enchère anglaise à plusieurs tours.

Notre approche a prouvé qu'il est préférable d'utiliser des enchères à plusieurs tour avec la méthode TOPSIS si en cherche de maximiser les gains de PU, le nombre de SU satisfaits et minimiser le temps d'occupation le canal. Si on s'intéresse à satisfaire les SU seulement il est préférable d'utiliser des enchères à un seul tour qui nécessitent une réponse immédiate, car l'utilisation des enchères est un peu plus longue et plus lente.

Les méthodes heuristiques de négociation reconnaissent qu'il y a un coût associé au calcul nécessaire pour la prise de décision et essaient de parcourir l'espace de négociation d'une manière non approfondie.

L'aspect coopératif entre les utilisateurs primaires permet augmenter le nombre d'utilisateurs secondaires, cela conduire à une perte d'énergie qui est une ressource précieuse.

Cette Expérience est un bon complément de notre formation de base, elle nous a apporté dans un premier temps des nouvelles connaissances dans le domaine de la radio cognitive et les méthodes de négociation pour l'accès dynamique au spectre. Ainsi de voir en pratique des concepts de programmation plus avancés tel que le développement à base d'agent et l'utilisation pratique de plateforme multi-agents JADE. Notre travail est un point de départ pour des futurs travaux. Nous tenons à citer quelques perspectives dans cette thèse :

- Intégrer des méthodes pour économiser l'énergie.
- Améliorer la coopération entre les utilisateurs primaires.
- Déployer autres technique d'accès dynamique au spectre tels que : Contract net et négociation par argumentation.
- Sécuriser l'accès dynamique au spectre dans la radio cognitive.

Rapport-Gratuit.com

## **Bibliographies**

- [AHM 11] : A Ahmed, M.Mubashir Hassan, O. Sohaib, W. Hussain and M.Qasim Khan. "Anagent Based Architecture for Cognitive Spectrum Management". Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12): 682-689. 2011.
- [AMR 13 ] : A.Amraoui, B.Benmammar, F. Krief and FT Bendimerad, "Auction-based agent negociation in Cognitive Radio Ad hoc Networks", Fourth International ICST Conference, ADHOCNETS 2012, Paris, France, October 16-17, 2012, Revised selected Papers Series: Lecture Notes of the Institue for Computer sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, Vol, 111, pp, 119-134, Spring Edition, 2013.
- [BEL 00] : Bellifemine F., Giovani C., Tiziana T. Rimassa G., "Jade Programmer's Guide"(<http://sharon.csel.it/projects/jade/>), 2000.
- [BEL 02] Bellifemine F., Caire G., Trucco T., Rimassa G., "JADE : Programmer's Guide", 2002.
- [BEL 99] : Bellifemine F., Poggi A., Rimassa G., "JADE -- A FIPA-compliant agent framework", 1999.
- [BOU 02] : T. Bouron, "Application des systèmes multi-agents dans les télécommunications", Page(s): 207-233, dans "Principes et architecture des systèmes multi-agents", sous la direction de J. P. Briot, Y. Demazeau, hermes-science, 2002.
- BRC 86 BROOKS, R. et CONNELL, J. (1986). Asynchronous distributed control system for a mobile robot. In Proceedings of SPIE's Cambridge Symposium on Optical and Optoelectronic Engineering.
- [BRI 02] : J. P. Briot et Y. Demazeau, "Principe et architecture des systèmes multi-agents", hermes- science, 2002.
- [CHR 02] : Christopher Paul Bailey, An agent-based framework to support adaptive hypermedia. PhD thesis of Southampton university, United Kingdom. December 2002.
- [FLO 00] : A. Florea, B. Panghe. Achieving Cooperation of Self-interested Agents Based on Cost", In Proceedings of the 15th European Meeting on Cybernetics and System Research, Session: From Agent Theories to Agent Implementation, Vienna, 2000, p.591-596.
- [FRA 96] : C. Frasson, T. Mengelle, E. Aimeur and G. Gouardères, "An actor-based architecture for intelligent tutoring systèmes", the third international conference ITS' 96, Montreal, Canada.
- [GAF 08] : Mohamed Gafar Ahmed Elnourani. "Cognitive Radio and Game Theory: Overview And Simulation". Blekinge Institute of Technology. 2008.

- [GAU 10] : Gaurav, S., Kasbekar, and Sarkar, S. "Spectrum auction framework for access allocation in cognitive radio networks". IEEE.ACM Transactions on Networking, vol. 18, pp. 1841 - 1854.2010.
- [HAY 05] : S.Haykin, " Cognitive radio : Brain empowered wireless communications », IEEE journal on select areas in communications,vol. 23 no .2, February 2005.
- [HOS 09] : E. Hossain, D. Niyam and Zhu Han, "Dynamic Spectrum Access and management in cognitive radio networks", Cambridge University Press 2009.
- [HUM 99] : M. N. Huhns and L. M. Stephens, "Multiagent Systems and Societies of Agents", Page(s): 83-99, in "Multiagent Systeme", edited by Gerhard Weiss ,The MIT presse Cambridge.
- [JEN 98] : N. Jennings, K. Sycara and M. Wooldrifge, "A Roadmap of Agent Research and Development", Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, vol. 1, n°1, p. 7 - 38, July 1998.
- [LET 09] : Ben Letaief, K. and Wei Zhang. "Cooperative Communications for Cognitive Radio Networks". Proceedings of the IEEE. Page(s): 878–893. 2009.
- [MET 10] : A.Metref, "Contribution à l'étude du problème de Synchronisation de porteuse dans le contexte de la rdio Intelligente", Novembre 2010.
- [MIR 10a] : Usama Mir, Leila Merghem-Boulahia and Dominique Gaiïti, "A Cooperative Multiagent Based Spectrum Sharing". Sixth Advanced International Conference on Telecommunications. Page(s): 124–130. 2010.
- [MIR 10b] : Usama Mir, Leila Merghem-Boulahia and Dominique Gaiïti. "Dynamic Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks: a Solution based on Multiagent Systems". International Journal on Advances in Telecommunications, vol 3 no 3 & 4. 2010.
- [MIR 11] : Usama Mir. "Utilization of Cooperative Multiagent Systems for Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks". PHD THESES, Sep 2011. Usama Mir. "Utilization of Cooperative Multiagent Systems for Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks". PHD THESES, Sep 2011.
- [MIT 00a] : J.MITOLA. Software Radio Architecture: Object-Oriented Approaches to Wireless Systems Engineering. Editions Wiley, 2000. 543 pages. ISBN 0471384925.
- [MIT 00b] : J. Mitola, "Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio", Ph.D. Dissertation, KTH, 2000.
- [MIT 99] : J.Mitola and G.Maguire " Cognitive radio : Making software radios more personal ", IEEE Personal Communications , August 1999 .



- [NGO 08] : I. Ngom et L. Diouf, “La radio cognitive”, université Lille 1 USTL, 2008. hal-00738289.
- [NIY 08] : Niyato, D., and Hossain, E. “Competitive pricing for spectrum sharing in cognitive radio networks: dynamic game, inefficiency of Nash equilibrium, and collusion”. IEEE Transactions on Selected Areas in Communications, vol. 308, pp. 192-202. 2008.
- [NWA 96] : NWANA H. S., « Software Agents : An Overview », Knowledge Engineering Review, vol. 11, n°3, p. 205–244, 1996.
- [SAM 05] : N. Samaan, B. Benmammar, F. Krief and A. Karmouch, "Prediction-based Advanced Resource Reservation in a Mobile Environment". Proceedings of the 18th IEEE Annual Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, CCECE05, May 1-4, 2005, Saskatoon Inn, Saskatoon, Saskatchewan Canada. Page(s): 1411 - 1414.
- [SAN 05] : Sansonnet Jean-Paul, Plates-formes des systèmes multi-agents, Disponible sur:[http://perso.limsi.fr/jps/enseignements/examsma/2005/1.plateformes\\_2/SAIDNA%saaid/Jade.htm](http://perso.limsi.fr/jps/enseignements/examsma/2005/1.plateformes_2/SAIDNA%saaid/Jade.htm).
- [TAN 10] : Y.Tan, Sengupta, S., and Subbalakshmi, K. P. “Competitive spectrum trading in dynamic spectrum access markets: A price war”. Proceedings of IEEE GLOBECOM, pp. 1-5. 2010.
- [WANG 10] : Wang, B., Wu, Y., and Liu, K. J. R. “Game theory for cognitive radio networks: An overview”. Elsevier Computer Networks, vol. 54, pp. 2537–2561. 2010.
- [WOO 99] : M. Wooldridge, “Intelligent Agents”, Page(s): 42-66, in “Multiagent Systeme”, edited by Gerhard Weiss ,The MIT presse Cambridge, Massachussets London , England,1999.
- [XIN 10] : C. Xin, M. Song, L. Ma, C. Shen and G. Hsieh, “On random dynamic spectrum access for cognitive radio networks”. Proceedings of IEEE GLOBECOM. Page(s): 1–5. 2010.
- [YAN 10] : Yang, C., Li, J, and Tian, Z. “Optimal power control for cognitive radio networks under coupled interference constraints: A cooperative game-theoretic perspective”. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 59, Page(s): 1696-1706. 2010.
- [ZHA 08] : Zhang, Y. “Dynamic spectrum access in cognitive radio wireless networks”. Proceedings of IEEE ICC, pp. 4927-4932. 2008.

[ZHA 09] : Zhang, J., and Zhang, Q. “Stackelberg game for utility-based cooperative cognitive radio networks”. Proceedings of ACM MOBIHOC, pp. 23-32. 2009.

# **Annexe A**

## **1. Outils et environnement**

Nous allons citer les différents outils de développement que nous avons utilisé pour la réalisation de notre application.

### **1.1 Langage de programmation**

Nous avons implémenté notre système avec le langage JAVA qui est un langage de programmation développé par Sun Microsystems. Les premières versions datent de 1995, il a réussi à intéresser beaucoup de développeurs à travers le monde. C'est aussi un langage multi plateformes disposant de JVM (Java Virtual Machine) lui permettant de s'exécuter dans des environnements hétérogènes en permettant une indépendance envers les réseaux et les systèmes d'exploitation. Nous avons choisis JAVA pour le développement de notre simulation pour les raisons de sa portabilité, sa robustesse et sa simplicité.

### **1.2 Environnement de développement**

Notre application est écrite sous l'environnement de développement intégré NetBeans 7.2, NetBeans est un environnement de développement intégré (EDI) open source pour Java proposé par Sun en Juin 2000 sous licence CDDL (Common Development and Distribution Licence) connu comme le premier concurrent d'EDI Eclipse, NetBeans est largement utilisé dans le développement des application complexe de façon rapide et simple.

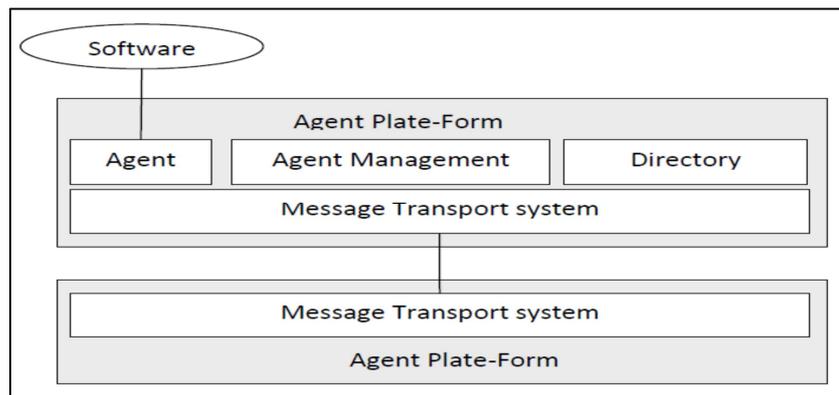
### **1.3 La plateforme JADE**

Le meilleur moyen pour construire un système multi-agent(SMA) est d'utiliser une plate-forme multi-agent. Une plate-forme multi-agent est un ensemble d'outils nécessaire à la construction et à la mise en service d'agents au sein d'un environnement spécifique. Ces outils peuvent servir également à l'analyse et au test du SMA ainsi créé. Ces outils peuvent être sous la forme d'environnement de programmation (API) et d'applications permettant d'aider le développeur JADE (Java Agent DEvelopment framework) est une plate-forme multi-agent créé par le laboratoire TILAB et décrite par Bellifemine et al. Dans [BEL 99][BEL 00]. JADE permet le développement de systèmes multi-agents et d'applications conformes aux normes FIPA [BEL 02]. Elle est implémentée en JAVA et fourni des classes qui implémentent 'JESS' pour la définition

du comportement des agents. JADE possède trois modules principaux (nécessaire aux normes FIPA).

- DF « Director Facilitator » fournit un service de « pages jaunes » à la plate-forme ;
- ACC « Agent Communication Channel » gère la communication entre les agents ;
- AMS « Agent Management System » supervise l'enregistrement des agents, leur authentification, leur accès et l'utilisation du système.

Ces trois modules sont activés à chaque démarrage de la plate-forme.



**Figure A.1 : Architecture logiciel de La plate-forme JADE**

### 1.3.1 Langage de communication de la plate-forme JADE

Le langage de Communication de la plate-forme JADE est FIPA-ACL (Agent Communication language). La classe ACLMessage représente les messages qui peuvent être échangés par les agents. La communication de messages se fait en mode asynchrone. Lorsqu'un agent souhaite envoyer un message, il doit créer un nouvel objet ACLMessage, compléter ces champs avec des valeurs appropriées et enfin appeler la méthode send(). Lorsqu'un agent souhaite recevoir un message, il doit employer la méthode receive() ou la méthode blockingReceive().

JADE utilise deux protocoles de communication :

- Les protocoles FIPA-Query et FIPA-Request.
- Le protocole Contract-Net de JADE.

### 1.3.2 Outils de débogage de JADE

Pour supporter la tâche difficile du débogage des applications multi-agents, des outils ont été développés dans la plate-forme JADE. Chaque outil est empaqueté comme un agent, obéissant aux mêmes règles, aux mêmes possibilités de communication et aux mêmes cycles de vie d'un agent générique.

- Agent Dummy (DA) : cet outil permet aux utilisateurs d'interagir avec les agents JADE d'une façon particulière. L'interface permet la composition et l'envoi de messages ACL et maintient une liste de messages ACL envoyés et reçue [SAN 05].
- Agent Sniffer (SA) : quand un utilisateur décide d'épier un agent ou un groupe d'agent, il utilise un agent Sniffer. Chaque message partant ou allant vers ce groupe est capté et affiché sur l'interface du sniffer. L'utilisateur peut voir et enregistrer tous les messages, pour éventuellement les analyser plus tard.
- Agent Inspector : cet agent permet de gérer et de contrôler le cycle de vie d'un agent s'exécutant et de la file de ses messages envoyés et reçues.

#### **1.4 L'API JFreeChart**

JFreeChart est une bibliothèque open source qui permettent d'afficher des données statistiques sous la forme de graphiques. Elle possède plusieurs formats dont le camembert, les barres ou les lignes et propose de nombreuses options de configuration pour personnaliser le rendu des graphiques. Elle permet également d'exporter le graphique sous la forme d'une image.

# **Annexe B**

## 1. Les méthodes d'aide à la décision multicritère (MADMC)

Les méthodes de programmation mathématique permettent de traiter un problème de sélection avec contraintes, en d'autres termes, un problème de sélection où les solutions ne sont pas connues a priori. En revanche, les méthodes d'aide à la décision multicritère que nous présentons dans cette section supposent que les solutions sont connues a priori. La méthode de choix de la meilleure solution est conditionnée par la façon avec laquelle le décideur exprime ses préférences : par exemple le décideur peut être indifférent vis à vis de deux solutions si la différence de leur coût est faible (une solution qui coûte 150 DA et une solution qui coûte 148 DA). Dans la théorie de la décision, cette étape du traitement du problème est appelée étape de modélisation des préférences. Nous la considérons comme un des points clés qui distingue les méthodes d'agrégation élémentaires et d'optimisation mathématique multi-objectif des méthodes d'aide à la décision multicritère, permet les méthodes les plus usitées :

- TOPSIS (Technique for Order by Similarity to Ideal Solution) [HWA 81].
- SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique) [EDW71].
- MAVT (Multiple Attribute Value Theory) [KEE 76].
- MAUT (Multiple Attribute Utility Theory) [KEE 76].
- UTA (Utility Theory Additive) [JAC 82].
- AHP : Analytic Hierarchy Process [SAA 80].
- EVAMIX [VOO 83].

## 2. La méthode TOPSIS : Technique for Order by Similarity to Ideal Solution

L'idée fondamentale de cette méthode consiste à choisir une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale (meilleure sur tous les critères) et de s'éloigner le plus possible de la pire solution (qui dégrade tous les critères).

### ➤ *Fondements de la méthode*

Etape 1 : Normaliser les performances comme suit

$$E' = \left[ e'_{ij} = \frac{g_j(a_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [g_j(a_i)]^2}} ; i = 1, 2, \dots, m; \text{ et } j = 1, 2, \dots, n \right]$$

Etape 2 : Calculer des performances normalisées par les coefficients d'importance relative des attributs.

$$e_{ij}'' = \pi_j \cdot e_{ij}', \quad i = 1, 2, \dots, m; \text{ et } j = 1, 2, \dots, n$$

Etape 3 : Déterminer les profils idéal ( $a^*$ ) et anti-idéal ( $a_*$ ).

$$a^* = \left\{ \underset{i}{\text{Max}} e_{ij}'', i = 1, \dots, m; \text{ et } j = 1, \dots, n \right\} ; e_j^* = \underset{i}{\text{Max}} \{ e_{ij}'' \}$$

$$a^* = \{ e_j^*, j = 1, 2, \dots, n \} = \{ e_1^*, e_2^*, \dots, e_n^* \}$$

$$a_* = \left\{ \underset{i}{\text{Min}} e_{ij}'', i = 1, \dots, m; \text{ et } j = 1, \dots, n \right\} ; e_{j*} = \underset{i}{\text{Min}} \{ e_{ij}'' \}$$

$$a_* = \{ e_{j*}, j = 1, 2, \dots, n \} = \{ e_{1*}, e_{2*}, \dots, e_{n*} \}$$

Etape 4 : Calculer la distance euclidienne par rapport aux profils  $a^*$  et  $a_*$ .

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_{ij}'' - e_j^*)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$D_{i*} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_{ij}'' - e_{j*})^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Etape 5 : Calculer un coefficient de mesure du rapprochement au profil idéal.

$$C_i^* = \frac{D_{i*}}{D_i^* + D_{i*}}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

avec,  $0 \leq C_i^* \leq 1$

Etape 6 : Ranger les actions en fonction des valeurs décroissante de  $C_i^*$

➤ Exemple

Les données de l'exemple sont alors :

$$\text{Matrice des performances } E = \begin{bmatrix} 78 & 94 & 10000 \\ 82 & 86 & 15000 \\ 80 & 75 & 22000 \\ 88 & 90 & 25000 \end{bmatrix}$$

Vecteur des coefficients d'importance des critères  $W = [0,45 \ 0,35 \ 0,20]$

**Étape 1** : Normalisation des performances :

$$\text{Matrice des performances normalisées } E' = \begin{bmatrix} 0,4751 & 0,5431 & 0,2641 \\ 0,4995 & 0,4969 & 0,3961 \\ 0,4873 & 0,4333 & 0,5810 \\ 0,5360 & 0,5200 & 0,6602 \end{bmatrix}$$

**Étape 2** : Pondération des performances :

$$\text{Matrice des performances pondérées } E'' = \begin{bmatrix} 0,2138 & 0,1901 & 0,0528 \\ 0,2248 & 0,1739 & 0,0792 \\ 0,2193 & 0,1517 & 0,1162 \\ 0,2412 & 0,1820 & 0,1320 \end{bmatrix}$$

**Étape 3** : Détermination des profils idéal  $a^*$  et anti-idéal  $a_*$ :

$$\text{Profil idéal } a^* = [0,2412 \quad 0,1901 \quad 0,0528]$$

$$\text{Profil Anti- idéal } a_* = [0,2138 \quad 0,1517 \quad 0,1320]$$

**Étape 4** : Calcul des distances euclidiennes par rapport aux profils  $a^*$  et  $a_*$ .

$$D_1^* = 0,0274 \quad D_2^* = 0,035 \quad D_3^* = 0,0773 \quad D_4^* = 0,0796$$

$$D_1_* = 0,1001 \quad D_2_* = 0,1156 \quad D_3_* = 0,1359 \quad D_4_* = 0,1671$$

**Étape 5** : Calcul des coefficients de mesure du rapprochement au profil idéal

$$C_1^* = 0,7851 ; C_2^* = 0,7676 ; C_3^* = 0,6374 ; C_4^* = 0,6773$$

**Étape 6** : Rangement des actions en fonction des valeurs décroissantes de  $C_i^*$  .

$$C_1^* = 0,7851 > C_2^* = 0,7676 > C_4^* = 0,6773 > C_3^* = 0,6374$$

Selon la méthode TOPSIS, le partenaire  $a_1$  sera alors sélectionné par le comité de direction de l'entreprise.

### 3. Conclusion

La méthode TOPSIS permet d'ordonner les actions. Son grand apport est l'introduction des notions d'idéal et d'anti-idéal. Elle est facile à appliquer. En outre, elle est sensible à la volonté du décideur.

Toutefois, certaines limites caractérisent cette méthode : les attributs doivent être de nature cardinale, les préférences sont fixées a priori. Par ailleurs, si toutes les actions sont mauvaises, la méthode propose la meilleure action parmi les mauvaises. La méthode TOPSIS est partiellement compensatoire.