

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen
Faculté des Sciences
Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études
pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Option : Réseaux et Systèmes Distribués(R.S.D)

Thème

*Synthèse sur les techniques de négociation utilisant
les SMA dans les réseaux de radio cognitive.*

Réalisé Par :

- Melle Malika AMMOUCHE.

Présenté le 19 Septembre 2013 devant le jury composé de MM :

- Mr Mohamed BENAÏSSA. (Président)
- Mr Badr BENMAMMAR. (Encadreur)
- Mme Nabila LABRAOUI. (Examineur)
- Mme Amel BELHABI. (Examineur)

Remerciements

Je remercie Dieu le tout puissant qui m'a bénis et permis d'arriver là où je suis.

Je tiens à exprimer mes remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement et à l'aboutissement de ce mémoire.

Nous devons toute chose à DIEU le tout puissant et cela avant tout ; de nous avoir accordé la force, la chance et la santé pour avoir accompli ce modeste travail.

Nous sommes très heureux de pouvoir exprimer nos remerciements en vers toutes personnes qui nous ont aidés en contribuant à l'aboutissement de ce travail.

Nous tenons vivement à remercier Monsieur **B.BENMAMMAR** qui a encadré notre travail. Nous sommes très reconnaissants de ses conseils, et ces remarques pertinentes, qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude pour son expérience et le savoir qu'il a bien voulu nous partager, ainsi que pour tous les efforts qu'il a déployé pour l'aboutissement de ce mémoire.

Nous sommes très sensibles à l'honneur qui nous a fait Monsieur **M.BENAÏSSA**, en présidant notre jury de projet de fin d'étude. Il est difficile en si peu de lignes de lui exprimer nos sentiments de reconnaissance, d'estime et de considération.

A Madame **N.LABRAOUI**, permettez-nous d'exprimer ici nos profondes reconnaissances pour sa gentillesse et l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de faire partie de notre jury, et que ce travail soit pour nous l'occasion de lui exprimer notre grande estime.

Nous sommes également très reconnaissants envers Madame **A.BELHABI**, pour sa présence parmi le jury comme un témoignage de haute valeur. Permettez-nous d'exprimer notre profonde gratitude en acceptant de juger ce travail.

Pour finir, nous tenons à remercier chaleureusement tous ceux qui nous apporté leur aide et son soutien pour la réalisation de ce mémoire.

MERCI A TOUS ET A TOUTES.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Ma mère

« Je vous aime de tout mon cœur »

Que ce travail puisse témoigner toute ma gratitude et ma vénération, je ne saurais jamais la remercier pour toutes les aides morales et matérielles et les vifs encouragements qu'elle n' a pas cessée de me prodiguer durant toutes mes études.

A mon très cher père, qui ont sacrifiés leurs vies pour donner sens à la mienne, A mon frère Mohammed, A mes sœurs Hanane, Khadidja, Salima et leur gosse Amina,

A ma tante Samira et mes oncles Rabah et Omar,

A toute ma famille,

A tous mes amis sans exception,

A tous ceux qui j'aime et qu'ils m'aiment...où qu'ils soient.

En témoignage de tout mon amour, et mon affection et tous mes souhaits de réussite et de bonheur.

AMMOUCHE MALIKA.

Table des matières

Introduction générale	7
Chapitre I :Réseau de Radio Cognitive	9
1 Introduction	10
2 Radio logicielle (software radio)	10
2.1 Radio logicielle restreinte (SDR).....	11
3 Radio cognitive.....	11
3.1 Historique.....	11
3.2 Définition	11
3.3 Radio cognitive idéal.....	12
3.4 Cycle de cognition	12
3.5 Architecture	13
3.6 Fonctions de la radio cognitives	14
3.7 Objective de la RC	15
3.8 Composantes.....	15
3.9 Principe de la radio cognitive.....	16
4 Accès dynamique au spectre.....	17
4.1 Accès au spectre en utilisant les Enchères.....	17
4.2 Accès au spectre en utilisant la Théorie des jeux	17
4.3 Accès au spectre en utilisant les approches de Markov.....	18
4.4 Accès au spectre en utilisant les Systèmes Multi Agents.....	18
5 Conclusion.....	19
Chapitre II :Les Systèmes Multi-Agent	20
1. Introduction	21
2. Les Agents	21
2.1. Définition	21
2.2. Caractéristiques des agents.....	22
2.2.1. Attributs principaux.....	22
2.2.2. Autres attributs	26
2.3. Types d'agents.....	27
3. Les systèmes multi-agents (SMA).....	28
3.1. Définition	28
3.2. La société d'agents	29

3.2.1. Organisation des agents dans un SMA.....	30
3.2.2. Interaction des agents dans un SMA.....	30
3.2.3. Coopération dans un SMA.....	31
4. Architecture des agents.....	32
4.1. Structure interne d'un agent.....	33
4.2. Fonctionnement d'un agent.....	34
4.3. Organisation individuelle d'un agent.....	35
4.3.1. Architecture à base d'un tableau noir.....	35
4.3.2. Les systèmes de production.....	36
4.3.3. Architecture modulaire horizontale.....	36
4.3.4. Architecture connexionniste.....	37
5. Conclusion.....	38
Chapitre III :Comparaison entre deux techniques de négociation à base d'agents dans le cadre de la RC.	39
1. Introduction.....	40
2. La négociation.....	40
3. Les techniques de négociation.....	40
3.1. La négociation heuristique.....	40
3.2. La négociation par argumentation.....	41
3.3. La négociation par enchères.....	41
3.3.1. Définition des enchères.....	41
3.3.2. La théorie d'enchères.....	41
3.3.3. Types d'enchère.....	41
3.3.4. Problèmes avec les protocoles d'enchère.....	42
3.3.5. Enchères et Radio Cognitive.....	43
3.4. La négociation par réseau contractuel.....	44
3.4.1. Définition de contrat.....	44
3.4.2. Contract-Net.....	44
3.4.3. Types de protocoles de contract Net.....	45
3.4.4. Etapes du protocole réseau contractuel.....	45
3.4.5. Les caractéristiques du contrat de négociation.....	46
4. Synthèse entre deux types de techniques de négociation.....	46
4.1. Outils de développement.....	47
4.2. Topologie du réseau utilisé.....	47

4.3. Scénario.....	48
4.4. Application	49
4.5. Comparaison entre les deux techniques de négociation	52
4.5.1. En termes de nombre de messages échangés	52
4.5.2. En termes de temps d'exécution.....	53
5. Conclusion.....	53
Conclusion & perspectives.....	54
Liste de figures.....	58
Liste des tableaux	58

Introduction générale

La radio cognitive est un nouveau concept visant à permettre à l'utilisateur une meilleure connectivité en se basant sur des terminaux mobiles capables de se reconfigurer de manière autonome afin de choisir le meilleur réseau et la meilleure bande de fréquence, à un moment donné, pour assurer un service optimal à l'utilisateur. Les systèmes multi-agents représentent un excellent outil pour assurer un contrôle autonome dans un système largement distribué et dont les caractéristiques sont très dynamiques comme l'est la « radio reconfigurable ». [1]

L'entité de base dans le système multi-agent est l'agent, il y a plusieurs agents dans le système, mais chaque agent peut comprendre aussi bien ses composantes internes, par exemple son propre profil, un profil de la société, des paramètres concernant le contrôle, la négociation et la communication. Dans ce cas Les agents coopèrent pour atteindre leurs objectifs communs, coordonnant leurs actions et négociant pour résoudre les conflits. [2]

Les radios cognitives offrent la promesse d'être une innovation disruptive de technologie qui permettra le futur monde sans fil propose une nouvelle approche et des techniques innovatrices pour soutenir la coexistence des utilisateurs sans fil autorisés et non autorisés dans un même secteur.

Nous essayons dans ce modeste mémoire de traiter le problème de choix du meilleur protocole de négociation utilisant dans les réseaux de radio cognitive à l'aide des systèmes multi-agent surtout parce qu'un protocole ou un autre peut imposer un certain comportement (préféré) aux agents. Aussi permet de résoudre le problème de l'encombrement causé par le manque de ressources, et bien modéliser la négociation, il faut choisir un protocole parmi les quatre protocoles les plus important. Dans ce mémoire nous avons faire une synthèse entre deux techniques de négociation parmi ces techniques : la négociation par enchère et la négociation par réseau contractuelle.

L'objectif principal de notre travail consiste à faire une étude comparative entre deux techniques de négociation. Pour atteindre cet objectif, nous proposons une solution basée sur le concept des systèmes multi-agents.

Notre mémoire est organisé en trois chapitres :

Le **premier** chapitre présente les réseaux de radio cognitive. On traitera des généralités, des définitions, de l'architecture de radio cognitive, les différentes phases du cycle de cognition et l'accès dynamique au spectre utilisé dans ce contexte.

Le **deuxième** chapitre présente les agents telle que leurs définitions, leurs caractéristiques, les architectures, ainsi que leurs types. Aussi introduit le concept de système multi-agent tout en présentant leurs caractéristiques les plus importantes, ensuite les différents avantages d'agents.

Le **troisième** chapitre est l'objet de notre étude. Nous parlerons de la négociation et ces techniques les plus importantes dans les réseaux de radio cognitive, ainsi que l'application traitée en montrant son fonctionnement réalisé à l'aide de l'outil JADE, puis une comparaison entre deux techniques de négociation pour mieux comprendre le déroulement de notre application.

Chapitre I

Réseau de Radio Cognitive

1 Introduction

La technologie sans fil prolifère rapidement, et la vision du calcul et des communications sans fil dominants offre la promesse de beaucoup d'avantages sociaux. Tandis que les dispositifs du consommateur tels que des téléphones portables, PDAs et des ordinateurs portables suscitent beaucoup d'attention. L'impact de la technologie sans fil est beaucoup plus large, par exemple, par des réseaux de sonde pour des applications de sûreté et l'automatisation à la maison, commande de grille futée, appareil médical sans fil et parcs de divertissements. Cette explosion des applications sans fil crée une demande toujours croissante de plus de spectre radio. Cependant, le plus facilement des bandes utilisables de spectre ont été assignées, bien que beaucoup d'études aient prouvé que ces bandes sont sensiblement insuffisamment utilisées. Ces considérations ont motivé les chercheurs vers le développement de nouvelles technologies pour résoudre le problème de l'encombrement du spectre radio. En effet, le spectre sans fil est une ressource coûteuse et pour accéder il se fait par une attribution d'une licence à un utilisateur. Dans ce cas les chercheurs ont eu recours à un nouveau paradigme qui est la radio cognitive (RC) afin d'exploiter le spectre existant de manière opportuniste et dynamique.

Nous devons commencer par une radio définie par logiciel comme plate-forme de base sur laquelle pour construire une radio cognitive.

2 Radio logicielle (software radio)

Le terme de la radio logicielle est apparu en 1991 par Joseph Mitola permet de définir une classe de radio reprogrammable et reconfigurable.

La radio logicielle est une radio dans laquelle les fonctions typiques de l'interface radio généralement réalisées en matériel, telles que la fréquence porteuse, la largeur de bande du signal, la modulation et l'accès au réseau sont réalisés sous forme logicielle. La radio logicielle moderne intègre également l'implantation logicielle des procédés de cryptographie, codage correcteur d'erreur, codage source de la voix, de la vidéo ou des données.

L'évolution ultime de la radio logicielle est la radio intelligente ou radio cognitive [3][4]. Une radio intelligente est une radio logicielle dans laquelle les éléments de communication évoluent en fonction des conditions de propagation et de son état interne, ce qui se traduit par une modification de sa couche physique : utilisation de

différentes modulations, différents types de codes correcteurs pour répondre aux stress du canal de propagation. [5]

2.1 Radio logicielle restreinte (SDR)

La radio logicielle restreinte (Software Defined Radio) est un système de communication radio qui peut s'adapter à n'importe quelle bande de fréquence et recevoir n'importe quelle modulation en utilisant le même matériel [6].

SDR impose des phases intermédiaires combinant anciennes et des nouvelles techniques. Les contraintes de puissance de calcul, de consommation électrique, de coûts, etc. imposent actuellement de passer par cette phase intermédiaire.

SDR permet de résoudre des problèmes de la gestion dynamique du spectre. Les équipements SDR peuvent fonctionner dans des réseaux sans fil hétérogènes c'est-à-dire qu'un SDR idéal peut s'adapter automatiquement aux nouvelles fréquences et aux nouvelles modulations.

3 Radio cognitive

3.1 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 [7].

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'IA pour mettre en place la technologie de la radio cognitive. Donc la radio cognitive issu de la radio logicielle ou d'autre façon la radio logicielle est la racine de la RC mais la chose qui propriété c'est l'intelligence.

3.2 Définition

« Cognition » : est le processus mental impliqué en sachant, l'étude, et les choses de compréhension.

La radio cognitive est un paradigme ou système pour la communication sans fil intelligent dans laquelle un réseau ou un nœud sans fil change les paramètres de transmission ou de réception à communiquer efficacement prévention de l'interférence avec les utilisateurs autorisés ou non autorisés. Ce changement de paramètres est basé sur la surveillance active de plusieurs facteurs dans l'externe et l'environnement par

radio interne, tel que le spectre de radiofréquence(RF), le comportement d'utilisateur et l'état de réseau.

3.3 Radio cognitive idéal

Une radio cognitive idéale se définit comme un système de communications sans fil avec les capacités fonctionnelles suivantes détection, perception, orientation, planification, décisions, action et apprentissage automatique.

3.4 Cycle de cognition

Le cycle de cognitive comporte six phases qui organisent de façon temporelle, des flux d'interférences 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. La figure I.1 montre ce cycle de cognitive [8] :

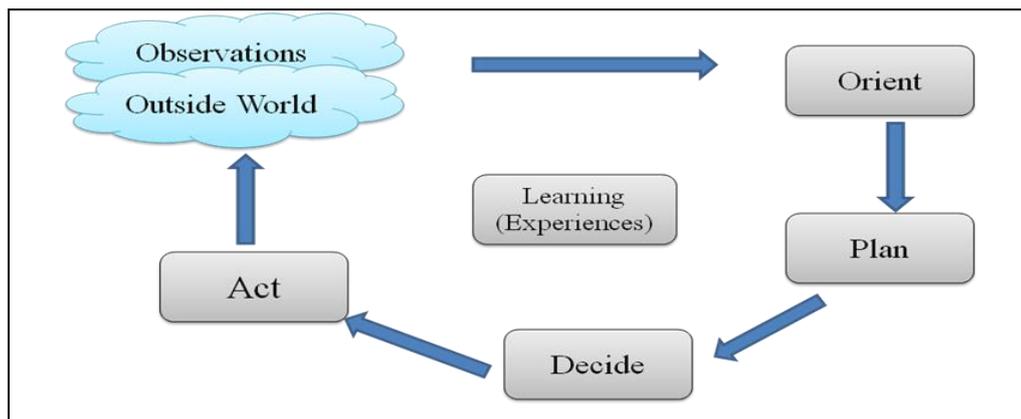


Figure I. 1 : Cycle de cognition.

➤ Phase d'observation (détecter et percevoir)

La RC observe son environnement par l'analyse du flux de stimuli entrant et associe l'emplacement, la température, le niveau de lumière des capteurs, et ainsi de suite pour en déduire le contexte de communication.

➤ 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).

➤ Phase de planification

Un message entrant du réseau serait normalement traité par la génération d'un plan (dans la phase de plan). 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**

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 statués.

➤ **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.

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 [9].

3.5 Architecture

Mitola [10] a défini que la radio cognitive est une radio logiciel-définie par un ensemble cohérent de règles de conception par lequel un ensemble spécifique de composants réalise une série de fonctions de produits et de service qui incorpore des applications, des interfaces, et des fonctions de connaissance identifiées.

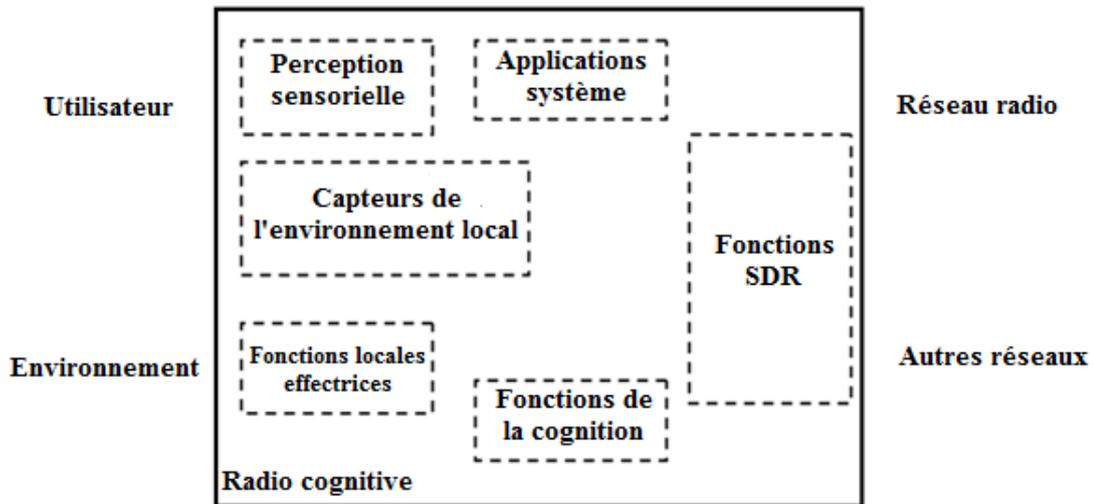


Figure I. 2 : Architecture de la RC.

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 capteurs de l'environnement local (emplacement, température, accéléromètre...)
- 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, d'apprentissage).
- Les fonctions locales effectrices (synthèse de la parole, du texte, des graphiques et des affiches multimédias) [11].

3.6 Fonctions de la radio cognitives

Une radio cognitive peut sentir les parties vides de spectre (détection de spectre), des essais pour accéder au spectre opportuniste ou en étant en pourparlers avec le PUs voisin (spectre partage/attribution/accès) et feuilles le spectre quand une unité centrale veut l'employer en isolation (mobilité/passation de spectre). Le tableau I.1 fournit une idée générale des fonctions de base du RC.

FONCTIONS DE RC	DESCRIPTION
Détection	La détection des parties de spectre ou du « spectre de troue »

	vide» en sentant les signaux autorisés d'utilisateur
Accès	Partage des parties senties de spectre avec d'autres utilisateurs ou coexistence avec eux sur la même bande
Mobilité	Laisser ou évacuer le spectre quand l'utilisateur autorisé veut l'employer en isolation

Tableau I. 1 : Fonctionnalités de CR.

3.7 Objectives de la RC [12]

- ❖ Protéger les utilisateurs principaux du spectre.
 - Les services socialement importants peuvent mériter la priorité sur la bande.
 - Les systèmes de legs peuvent ne pas être capable changer.
- ❖ Tenir compte pour que les utilisateurs secondaires emploient les bandes autrement inutilisées.
 - Pas l'approche d'UWB : " parler doucement mais employer une bande large ".
 - L'utilisation primaire de bande peut varier à temps.
 - Peut devoir nettoyer beaucoup de bandes discontinues.
 - Peut devoir coordonner/coexiste avec d'autres utilisateurs secondaires.

3.8 Composantes

Les différentes composantes d'un émetteur/récepteur radio cognitive qui mettent en œuvre ces fonctionnalités sont présentées dans la Figure I.3[13].

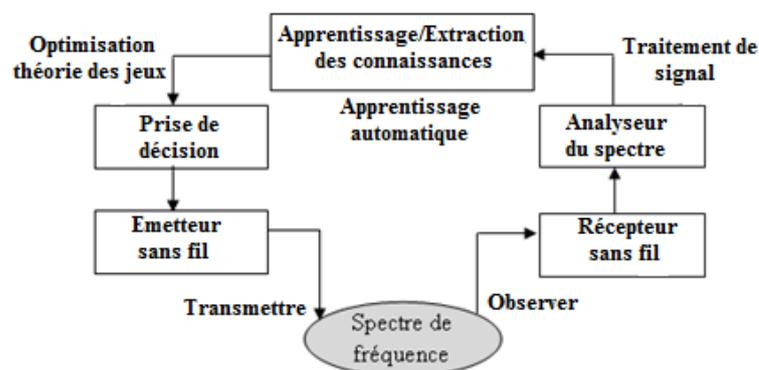


Figure I. 3: Composantes de la RC.

- **Émetteur / Récepteur** : un émetteur/récepteur SDR sans fil est le composant majeur avec les fonctions du signal de transmission de données et de réception. Les paramètres émetteur/récepteur dans le nœud de la radio cognitive peuvent être modifiés dynamiquement comme dicté par les protocoles de couche supérieure.
- **Analyseur de spectre (Spectrum analyser)** : L'analyseur de spectre utilise les signaux mesurés pour analyser l'utilisation du spectre et doit s'assurer que la transmission d'un utilisateur primaire n'est pas perturbée si un utilisateur décide d'accéder au spectre.
- **Extraction de connaissances et apprentissage (Knowledge extraction/learning)** : utilisent les informations sur l'utilisation du spectre pour comprendre l'environnement ambiant RF. Les algorithmes d'apprentissage peuvent être appliqués pour l'apprentissage et l'extraction de connaissances.
- **Prise de décision (Decision making)** : Après que la connaissance de l'utilisation du spectre soit disponible, la décision sur l'accès au spectre doit être faite. La décision optimale dépend du milieu ambiant, elle dépend du comportement coopératif ou compétitif des utilisateurs secondaires.

3.9 Principe de la radio cognitive

L'objectif final de la radio cognitive est d'obtenir le meilleur spectre disponible par des possibilités et la reconfigurabilité cognitives. Puisque la majeure partie du spectre est déjà assignée, le défi le plus important est de partager le spectre autorisé sans interférer la transmission des autres utilisateurs autorisés comme illustré dans Figure I.4. La radio cognitive permet l'utilisation de spectre temporellement inutilisé, qui est mentionné comme trou de spectre ou espace blanc [14]. Si cette bande est encore utilisée par un utilisateur autorisé, la RC offre des mouvements à un autre trou de spectre ou des séjours dans la même chose réunir, en changeant son niveau de puissance de transmission ou arrangement de modulation pour éviter l'interférence suivant les indications de la figure I.4[15].

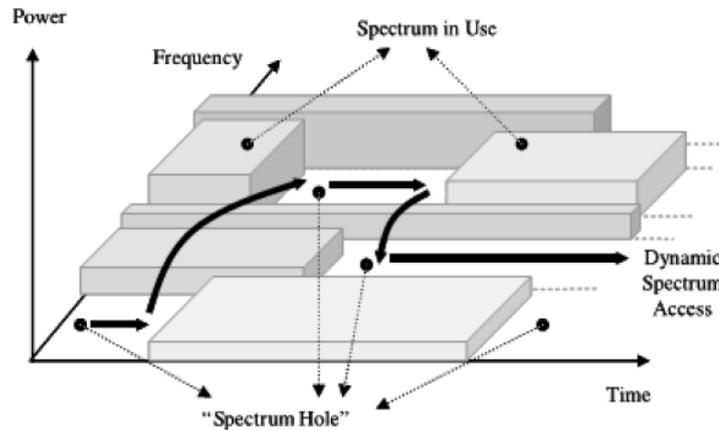


Figure I. 4 : Concept de trou de spectre.

4 Accès dynamique au spectre

L'allocation du spectre statique est un problème majeur dans les réseaux sans fil à cause de l'encombrement de spectre et pour résoudre ce problème les réseaux RC utilisent l'accès dynamique au spectre pour améliorer l'efficacité du spectre. L'accès dynamique de spectre est une méthode qui donne la solution en assignant la bande limitée disponible de spectre par radio entre différents utilisateurs autorisés et non autorisés.

4.1 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.

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. Dans la littérature, deux possibilités s'offrent :

- Soit le régulateur alloue les canaux aux utilisateurs primaires, ces derniers allouent indépendamment les portions inutilisées de leur canal aux SU [16].
- Soit le régulateur alloue le droit d'être SU ou PU dans le canal.

4.2 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 [17] :

- **Jeux coopératifs** : tous les joueurs sont préoccupés par tous les gains globaux et ils ne sont pas très inquiets de leur gain personnel.
- **Jeux compétitifs** : chaque utilisateur est principalement préoccupé par son gain personnel et donc toutes ses décisions sont prises de manière compétitive et égoïste.

4.3 Accès au spectre en utilisant les approches de Markov

Pour l'accès au spectre on utilise les chaînes de Markov qui permettent la modélisation des interactions entre les SU et les PUs, et chaque SU sélectionne au hasard sa propre chaîne plutôt que d'échanger des messages de contrôle avec les utilisateurs secondaires voisins. Les chercheurs ont utilisé également le modèle de Markov pour prédire les comportements du canal.

4.4 Accès au spectre en utilisant les Systèmes Multi Agents

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.

Dans [18], les auteurs proposent 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 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. Une comparaison est faite dans [19] entre un agent et une RC qui montre des points différents entre eux présenter dans le tableau suivant :

Agent	Radio cognitive
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 I. 2 : Comparaison entre un agent et une Radio Cognitive.

Dans [20] les auteurs proposent un modèle basé sur les agents pour la négociation du spectre dans un réseau RC. L'objectif de cette négociation est de maximiser les bénéfices et les profits des agents pour satisfaire le SU. Les auteurs ont proposé deux situations, la première utilise un seul agent qui va exploiter et dominer le réseau, et dans la deuxième, il va y avoir plusieurs agents en concurrence.

Le SMA contient plusieurs agents intelligents en interaction entre eux. Chaque agent peut faire la détection et l'apprentissage. L'agent peut sélectionner les comportements basés sur l'information locale et tenter de maximiser les performances globales du système.

5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une technologie principale pour les futures communications sans fil et des notions importantes concernant cette technologie qui est la radio cognitive. La RC pourrait être considérée comme un agent intelligent capable de s'adapter à son situation opérationnel pour assurer une gestion optimisée des ressources disponibles, respecter la bordure de régulation contrôlant l'accès au spectre et satisfaire les besoins de l'utilisateur en termes de qualité de service. La RC peut permettre la réutilisation significative de spectre.

Enfin, la RC est un terminal capable de reconfigurer dynamiquement la partie radio pour utiliser au maximum les fréquences disponibles, et qui augmente fondamentalement l'efficacité spectrale par radio. Cependant, la RC est un concept sans fil naissant de communications dans lequel un réseau ou un nœud sans fil peut sentir son environnement, et particulièrement les trous de spectre, et change ses chaînes de transmission et de réception pour communiquer d'une façon opportuniste, sans interférer les utilisateurs autorisés.

Chapitre II

Les Systèmes Multi-Agent

1. Introduction

Dans l'étude des systèmes, l'intelligence Artificielle (IA) considère un système complexe comme une entité unique dont les comportements sont modélisés par un programme unique. Cette approche centralisée ne permet pas d'exprimer la complexité intrinsèque du système.

En effet, les systèmes à étudier sont généralement indissociables des interactions et de la coopération effective entre leurs composants. Les besoins de communication de plus en plus croissants, la variété des services requis, la diversité et la répartition physique des ressources de connaissances ...etc., a montré les limites de l'approche classique de l'IA c'est les systèmes multi-agents.

Les systèmes multi-agents sont une des architectures proposées par l'intelligence artificielle distribuées (IAD). Ces systèmes visent 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 conflits éventuels.

2. Les Agents

2.1. Définition

Un agent est défini comme une entité physique ou virtuelle [21] :

- Qui est capable d'agir dans un environnement.
- Qui peut communiquer directement avec d'autres agents.
- Qui est mu par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voir de survie, qu'elle cherche à optimiser)
- Qui possède des ressources propres.
- Qui capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement.
- Qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune).
- Qui possède des compétences et offre des services.
- Qui peut éventuellement se reproduire.

- Dont le comportement tend à satisfaire des objectifs en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception , de ses représentations et des communications qu'elles reçoit.

A partir de cette définition qui n'est pas exhaustive, on en tire des notions cruciales [22] :

- Les agents sont capables d'agir, et non seulement de raisonner comme dans les systèmes d'intelligence artificielle (IA) classique. Les actions exécutées vont modifier l'environnement des agents, ce qui influe sur la prise de décision future des agents.
- Le fait que les agents soient dotés d'autonomie signifie qu'ils ne sont pas dirigés par des commandes en provenance de l'utilisateur ou d'un autre agent, il est aussi autonome dans la gestion de ces ressources (CPU, Mémoire, ...). Néanmoins, l'agent est guidé par un ensemble de buts à satisfaire (tendances), il a la possibilité d'accepter de répondre à une requête en la traitant ou la refuser.
- Les agents ont aussi la possibilité de communiquer entre eux.
- Chaque agents n'a qu'une vue partielle correspondant à son domaine de compétence.

2.2. Caractéristiques des agents

L'avancement des travaux en IA distribuée (IAD) et systèmes multi-agents (SMA) a conduit les chercheurs à définir quelques caractéristiques d'un agent :

2.2.1. Attributs principaux

Les trois attributs principaux d'un agent sont l'intelligence, les interactions et la mobilité. Nous citerons également quelques autres attributs. Chaque type d'agent peut être situé selon ses caractéristiques dans la figure ci-dessous.

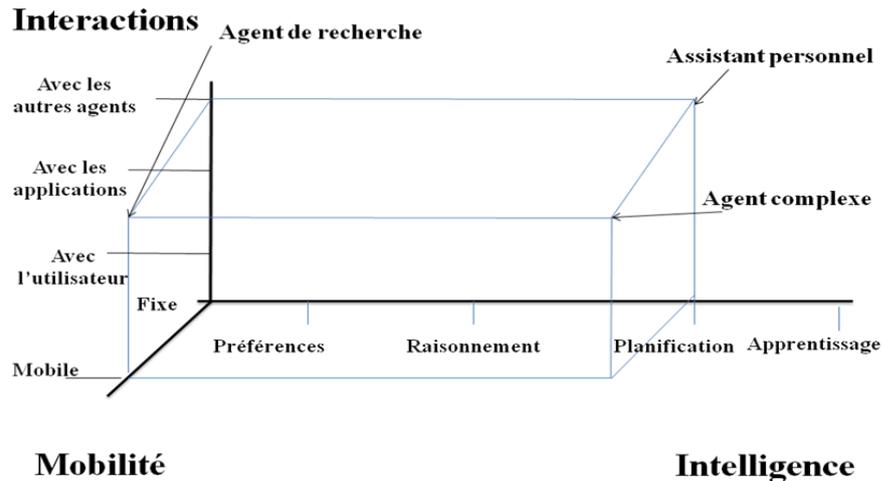


Figure II. 1 : Attributs des agents.

1. Intelligence

L'intelligence est la faculté de raisonnement et d'apprentissage. C'est la capacité de l'agent à accepter les demandes de l'utilisateur et de mener à bien la tâche qui lui est déléguée. Au minimum, l'utilisateur doit pouvoir spécifier ses préférences, par exemple sous forme de règles, avec un mécanisme de raisonnement qui agit par rapport à ces préférences. A un degré d'intelligence plus élevé, l'agent devait comprendre ce que l'utilisateur veut, et planifier les moyens à mettre en œuvre pour atteindre ce but, sur l'axe d'intelligence du graphe ci-dessus. [23]

2. Interactivité

L'interactivité est très utile entre les agents. En effet, dans certains cas, il est impossible pour un agent, même s'il est très intelligent, de résoudre seul le problème. Dans ce cas, il a besoin de communiquer et coopérer avec un ou plusieurs autres agents pour trouver la solution. La figure ci-dessous montre l'agent et les 4 composantes de l'environnement avec lesquelles un agent peut interagir : le hardware, les humains, les autres agents et enfin les logiciels qui ne sont pas des agents. [23]

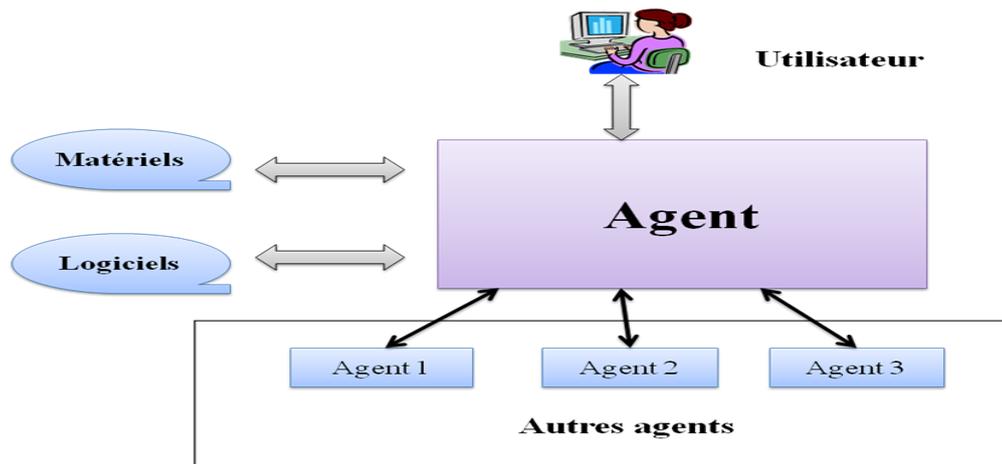


Figure II. 2 : L'environnement d'interaction des agents.

Ces interactions sont à des niveaux différents en raison de la complexité de différents composants.

- Interaction avec le hardware : Ce sera largement accompli via l'interaction par logiciel puisque le logiciel est souvent nécessaire pour contrôler les caractéristiques physiques.

Néanmoins, les exigences imposées par le monde physique doivent être considérées :

- ✓ Interfaces vers des capteurs : c'est indispensable pour recevoir de l'information de l'environnement physique.
 - ✓ Interfaces vers des actionneurs : c'est indispensable pour pouvoir affecter l'environnement physique.
- Interaction avec le logiciel : une partie du problème est de pouvoir faire collaborer des agents avec des applications qui ont été conçues dans l'optique que c'est un être humain qui participe à l'interaction.
 - Interaction avec les humains : Celle-ci peut être très complexe, idéalement les humains devraient avoir la possibilité de communiquer avec les agents de la même manière qu'ils le font avec les humains. Cependant il n'est pas envisagé que la technologie actuelle permette la standardisation d'une telle interaction dans un futur proche. Néanmoins, la standardisation est possible sur ce que les agents reçoivent de l'homme. Deux problèmes principaux surgissent :

- ✓ Coopération et échange d'information avec les humains.
- ✓ Authentifications de l'utilisateur.
- Interaction avec les autres agents : L'agent est capable d'interagir avec d'autres agents, de la même manière que différentes personnes communiquent. Pour coordonner leurs tâches, deux agents doivent négocier afin d'atteindre un accord acceptable pour les deux parties. Les avantages procurés par l'interaction entre différents agents sont notamment :
 - ❖ Pouvoir résoudre des problèmes trop complexes pour les ressources d'un seul agent.
 - ❖ Permettre la coopération entre des agents qui ont un rôle différent.
 - ❖ Fournir des solutions à des problèmes naturellement distribués, comme par exemple la gestion du trafic aérien.
 - ❖ Améliore la modularité, la fiabilité et la flexibilité.

Pour permettre cette interaction, il faut qu'existe un langage de communication entre agents. De tels langages sont déjà en plein développement, mais une normalisation est nécessaire si l'on veut que tous les agents puissent communiquer et échanger des informations. Le scénario du contrôle de trafic aérien illustre les interactions entre agents de mêmes types, pour partager le travail et les ressources disponibles. L'exemple de l'utilisateur qu'il faut essayer de joindre pour le prévenir d'un problème de sécurité illustre l'interaction entre agents qui ont des rôles différents pour pouvoir mener à bien une tâche complexe.

3. Mobilité

Un agent mobile est un agent qui peut se déplacer sur un réseau hétérogène sous son propre contrôle. Ce type d'agent est très utile pour surpasser les faiblesses de la connexion, mais des problèmes de sécurité restent à résoudre. Certains agents peuvent être fixes, qu'ils résident soit sur la machine de l'utilisateur, soit sur le serveur. D'autres agents peuvent être mobiles, c'est-à-dire qu'ils se baladent sur le réseau. Ils peuvent se déplacer de machine à machine pendant leur exécution en transportant avec eux les données accumulées. Ces agents peuvent se présenter à des agences qui peuvent leur fournir certains services ou servir de point de rencontre entre différents agents. [23]

2.2.2. Autres attributs

Nous présentons ci-dessous une liste d'autres attributs que peut posséder un agent. Tous ne sont pas indispensables pour correspondre au profil d'agent, mais ils permettent de caractériser un agent particulier.[24].

- **Réactivité** : L'agent doit pouvoir faire face aux modifications de l'environnement, que ce soit la modification des objectifs de l'utilisateur ou des ressources disponibles.
- **Délégation** : L'agent est mandaté par l'utilisateur pour effectuer une tâche. Dans le cas du commerce électronique, un degré de délégation faible impliquerait que l'agent va chercher les opportunités intéressantes et le propre à l'utilisateur. A un degré plus élevé, l'agent effectue lui-même l'achat. Dans ce cas, il y a un risque que l'agent effectue une mauvaise opération, il faut donc que l'utilisateur ait une certaine confiance.
- **Autonomie** : L'agent peut spontanément effectuer certaines tâches, peut prendre des initiatives, ainsi capable d'agir sans l'intervention d'un tiers (humain ou agent) et contrôle ses propres actions ainsi que son état interne.
- **Personnalisation** : L'utilisateur détermine la façon dont l'agent interagit. Dans beaucoup de cas, l'agent s'adapte à l'utilisateur.
- **Prévisibilité** : Il faut que l'avantage pour l'utilisateur (gain en temps, information fournie, filtrage d'informations,...) soit supérieur au coût (en argent, en temps,...).
- **Rentabilité** : Il faut que l'avantage pour l'utilisateur (gain en temps, information fournie,...) soit supérieur au coût (en argent, en temps,...).
- **Communication** : Une communication entre utilisateur et l'agent est établie pour déterminer la tâche de l'agent. Et on distingue deux modèles de communication :
 - **Communication par partage de d'information** (communication via le tableau noir /mode adopté dans les systèmes à tableau noir).
 - **Communication par envoi de message** (l'envoi à la destination se fait direct et explicite à l'aide des agents qui mettent en liaison directe).

2.3.Types d'agents

La complexité des fonctionnalités d'un agent impliqué dans une variété selon deux écoles coexistant : l'un parle d'agents cognitifs, l'autre d'agents réactifs. Le tableau ci-dessous montre la différence entre ces écoles [21] :

Ecole Cognitive	Ecole réactive
La plupart des agents cognitifs possèdent des buts explicites motivant leurs actions.	Les agents sont invoqués pour accomplir une tâche ou un but défini par le constructeur.
Les agents cognitifs jouissent d'une indépendance vis-à-vis des autres agents ce qui rend leur comportement plus souple.	Les agents réactifs manquent de souplesse, leur comportement est plus rigide.
Le système comprend un petit nombre d'agents disposant d'une capacité de raisonnement sur une base de connaissances.	Le système comprend un grand nombre d'agents de bas niveau.
Les agents possèdent un protocole de communication très riche.	Ils possèdent un protocole et un langage de communication réduit.
Les systèmes sont fondés sur la coopération d'agents capables à eux seuls d'effectuer des opérations complexes.	Les agents sont individuellement très faibles mais leur union fait leur force. Selon ce principe, dans un SMA il n'est pas nécessaire que tout agent soit intelligent pour parvenir à un comportement global intelligent.

Tableau II. 1 : Comparaison entre école cognitive et école réactive.

L'opposition cognitif/réactif recouvre une autre dualité, celle de la capacité ou non d'anticiper sur les événements futurs et de s'y préparer. Les agents réactifs par manque de toute représentation de leur environnement ainsi que des autres agents, se trouvent dans l'incapacité de prévoir ce qui va se passer et donc de planifier des actions à accomplir. Les agents cognitifs, par contre, sont capables de mémoriser des situations, d'en tirer des conduites pour les événements futurs et donc de planifier leur propre comportement et cela grâce à leur capacité de construire un monde virtuel qu'ils peuvent manipuler.

Cette capacité d'anticipation et de planification permet à certains agents d'optimiser leur comportement en n'effectuant que les actions véritablement nécessaires. Par

exemple, supposons qu'un robot veuille franchir une porte fermée à clef. Dans ce cas, un agent cognitif pourra construire le plan suivant :

Plan ouvrir le porte [25] :

- **Aller jusqu'à l'endroit où se trouve la clef**
- **Prendre la clef**
- **Aller jusqu'à la porte**
- **Ouvrir la porte avec la clef**

En exécutant ce plan, l'agent cognitif ira directement au lieu où se trouve la clef pour la prendre, puis il se dirigera vers la porte pour l'ouvrir en utilisant la clef. Au contraire un agent réactif, du fait qu'il ne dispose pas de représentation de l'univers dans lequel il évolue ; ne peut pas effectuer ce type de raisonnement à priori. Il ne réagit que face à la situation, et donc pour résoudre ce problème, on construira un agent réactif qui aura à suivre le comportement suivant :

- **R1 : si je suis devant la porte et que j'ai une clef, alors l'ouvrir**
- **R2 : si je suis devant la porte et sans clef, alors essayé de l'ouvrir**
- **R3 : si la porte ne s'ouvre pas et que je n'ai pas la clef,
alors aller chercher la clef**
- **R4 : si je cherche une clef et qu'il y a une devant moi
Alors prendre la clef et aller vers la porte**

Si on fait une comparaison entre ces deux comportements, la première remarque à faire sera que dans la première, le plan est construit alors que dans le second les comportements sont donnés par le concepteur de l'agent. La deuxième remarque à faire est que l'agent cognitif moins de déplacement à faire que le réactif, et cela grâce à sa capacité de prévoir la suite des actions à entreprendre contrairement au réactif qui se voit dans l'obligation de commencer par aller à la porte avant de se rendre compte que la clef n'est pas à sa place et donc qu'il faudrait la chercher. Toutefois, il reste plus souple dans le cas où la porte est ouverte, la recherche de la clef n'étant pas nécessaire.

3. Les systèmes multi-agents (SMA)

3.1. Définition

Une définition formelle de cette notion est donnée par Ferber[25] : on appelle un système multi-agents (ou SMA), un système composé des éléments suivants :

1. Un **environnement E**, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
2. Un ensemble **d'objet O**, Ces objets sont situés, c'est-à-dire que pour tout objet, il est possible à un moment donné, d'associer une position dans E. Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents.
3. Un ensemble **A d'agents**, qui sont des objets particuliers ($A \subseteq O$), lesquels représentent les entités actives des systèmes.
4. Un ensemble de **relation R** qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
5. Un ensemble d'**opérations Op** permettant aux agents de A de percevoir, de produire de consommer, de transformer et de manipuler des objets de O.
6. Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification que l'on appellera les lois de l'univers.

Pour qu'un système soit considéré comme un système multi-agents, il est nécessaire de satisfaire certains critères :

- Il dispose d'un ensemble d'agents autonomes fonctionnant en parallèle, et cherchant à satisfaire un but.
- Les agents sont dotés d'un mécanisme d'interaction de haut niveau indépendant du problème à résoudre (protocole de communication ou mécanisme d'interaction avec l'environnement).
- Un agent perçoit son environnement qui peut être le monde physique, un utilisateur à travers une interface graphique, une collection d'autres agents, le réseau Internet ou encore une combinaison de tous ces éléments. L'agents doit répondre dans un délai acceptable.

3.2.La société d'agents

L'étude d'un système multi-agent nous oblige à aborder les problèmes inhérents à ce groupement : son organisation, l'interaction entre les agents, les protocoles de communications et de coopération appropriés [21].

3.2.1. Organisation des agents dans un SMA

L'organisation sociale d'un SMA est la manière dont le groupe est constitué, à un instant donné, pour pouvoir fonctionner. L'organisation peut être dynamique : le groupe se réorganise à chaque fois en fonction de la tâche à accomplir.

Les structures organisationnelles en IAD font souvent référence aux théories sociales requises pour la résolution de problèmes dans un univers multi-agent. Elles se différencient selon trois facteurs : le type de décentralisation (lié au type de communication), le type des agents appartenant au groupe et le mode de coopération entre les agents.

- **Cas d'agents réactifs** : il n'y a pas vraiment d'organisation dans les systèmes d'agent réactifs. En fait, la structure du système émerge du comportement de ses membres et non d'une volonté d'organisation.
- **Cas d'agents cognitifs** : on trouve plusieurs types d'organisation, on peut avoir par exemple :
 - Une configuration dynamique suivant le nombre d'agents, leur localisation et la facilité d'établissement d'une communication.
 - Une structure horizontale où tous les agents sont au même niveau, c'est le cas par exemple, d'un groupe d'agents ayant des spécialités différentes, travaillant pour la résolution d'un même problème.
 - Une configuration verticale où les agents sont structurés par niveaux. Dans un même niveau, on trouve localement une structure horizontale. Dans de telles structures, l'agent reçoit le problème à résoudre d'un autre agent qui lui est supérieur dans la hiérarchie, il le décompose en trois catégories de sous problèmes : ceux auxquels il peut répondre localement, ceux auxquels il peut répondre en coopérant avec les autres agents de même niveau que lui, et les sous-problèmes qu'il fait aux agents du niveau inférieur dans la hiérarchie.

3.2.2. Interaction des agents dans un SMA

L'interaction est considérée comme un élément essentiel et fondateur des formes d'intelligence. En fait, un agent sans interaction avec d'autres agents n'est plus qu'un système d'information dépourvu de propriétés adaptatives.

Les principales situations d'interaction sont classées par rapport à trois critères : les objectifs ou intentions des agents, les relations que les agents entretiennent vis-à-vis des ressources qu'ils détiennent, ainsi que les compétences dont ils disposent pour atteindre leurs buts.

- **Compatibilité des buts** : L'interaction des agents dépend de la concordance ou la contradiction de leurs objectifs. Les agents sont dans une situation de coopération si leurs buts respectifs sont compatibles ; ils sont dans une situation de compétition si leurs buts sont contradictoires.
- **Gestion des ressources** : Pour accomplir sa tâche, l'agent a besoin de ressources, ces dernières sont souvent limitées et peuvent donc engendrer des situations de conflits.
- **Capacité des agents** : Dans le concept d'un SMA, il serait important de savoir si un agent peut réaliser seul une tâche ou bien il a besoin des autres agents pour atteindre son but. Le rapport capacité/tâche est essentiel car il détermine s'il y a interaction entre agents ou non en fonction de la complexité de la tâche à réaliser et de la capacité des agents.

3.2.3. Coopération dans un SMA

La notion de coopération peut être vue comme attitude des agents qui mènent un travail en commun ou comme résultat d'une interaction.

Les méthodes mises en œuvre pour susciter un processus de coopération sont :

- **Le regroupement et la multiplication** : consiste à rapprocher physiquement les agents pour former un bloc homogène dans l'espace. Le bloc constitué est similaire à un réseau de communication permettant à plusieurs agents de se comporter comme s'ils étaient physiquement les uns à côté des autres. L'augmentation quantitative des agents permet d'accroître la fiabilité du système.
- **La communication** : permet aux agents de bénéficier des informations et du savoir-faire des autres agents. Les agents cognitifs communiquent par le biais de l'envoi de message, alors que dans les systèmes d'agents réactifs, la communication résulte de la diffusion d'un signal dans l'environnement.

- **La spécialisation** : c'est un processus à travers lequel des agents deviennent plus adaptés à accomplir leurs tâches.
- **La collaboration par partage de tâches et de ressources** : consiste à faire travailler plusieurs agents sur une tâche commune. La notion de collaboration sous-entend un ensemble de techniques permettant à des agents de (se) répartir des tâches, des connaissances et des ressources afin de participer à la réalisation d'une œuvre commune.
- **La coordination d'actions** : suppose l'exécution de certaines tâches supplémentaires qui n'interviennent pas directement dans la résolution du problème. Ces tâches sont appelées tâches de coordination.
- **La résolution de conflit par arbitrage et négociation** : l'arbitrage définit des contraintes qui agissent sur les agents susceptibles de retrouver en situation de conflit. Le résultat permet de réduire les conflits et de préserver les groupes d'agents. Lorsque les agents cognitifs entrent en conflit d'objectifs ou de ressources. La technique d'arbitrage n'est pas utilisée. Les agents s'engagent dans un processus de négociation afin de résoudre eu même le conflit par la recherche d'un accord.

Avantages de la coopération

La coopération offre certains avantages sous forme d'amélioration individuelle ou collective. On peut citer :

- Accomplissement des tâches impossibles à réaliser par un seul agent.
- Améliorer la productivité de chacun des agents.
- Diminution du temps de réalisation d'une tâche.
- Amélioration de l'utilisation des ressources.

4. Architecture des agents

L'architecture générale de l'agent cognitif qui sera présentée est une synthèse de plusieurs architectures proposées par des chercheurs en SMA.

4.1. Structure interne d'un agent

On distingue essentiellement : les savoir-faire, les croyances, la connaissance de communication (figure II.3).



Figure II. 3 : structure d'un agent.

- **Savoir –faire :** Le savoir-faire est une interface permettant la déclaration des connaissances et de compétences de l'agent. Il permet la sélection des agents à solliciter pour une tâche donnée.
- **Croyance :** Dans un univers multi-agent, chaque agent possède des connaissances sur lui-même et sur les autres. Ces connaissances ne sont pas nécessairement objectives : on parle alors de croyances d'agent. Ce sont des connaissances considérées comme incertaines, elles nécessitent une formalisation adéquat (logique, modale par exemple).
- **Contrôle :** Il est représenté par les buts, les intentions, les plans et les tâches.
- **Expertise :** C'est la connaissance sur la résolution de problème (une base de règles par exemple pour un système expert).
- **Communication :** L'agent doit posséder un protocole de communication lui permettant d'interagir avec les autres agents, pour une bonne coopération et bonne coordination d'actions. Pour échanger les informations et les connaissances, les agents utilisent des **ACL (Agent Communication Language)**.

4.2. Fonctionnement d'un agent

Les agents sont immergés dans un environnement dans lequel et avec lequel ils interagissent. L'architecture fonctionnelle d'un agent est basée sur trois fonctions principales : percevoir, décider et agir. Parmi les sous fonctions importantes d'un agent, on peut citer : la détection de conflits, la révision des croyances, la coopération, l'apprentissage...etc. (figure II.4)

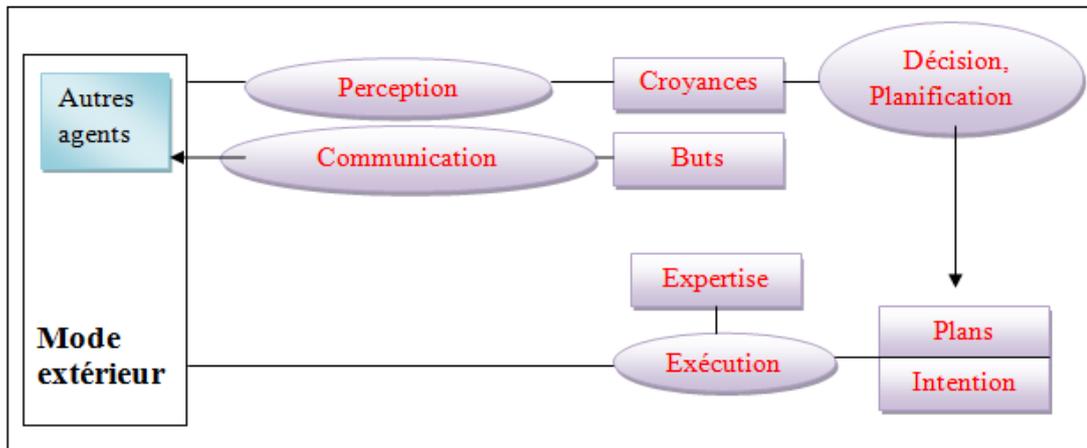


Figure II. 4 : Fonctionnement d'un agent.

- **Perception** : les connaissances d'un agent ont plusieurs origines :
 - Le savoir initial de l'agent.
 - La perception de soi et du monde.
 - La communication avec les autres agents.
- **Prise de décision** : Durant son exécution, un agent se fixe un certain nombre de buts. Il doit donc sélectionner les buts à satisfaire en premier, et pour chaque but l'action qui permet de l'atteindre. La prise de décision est une caractéristique des agents rationnels, l'agent tiendra compte de ces croyances pour faire son choix.
- **Planifications** : Du fait de l'intervention d'autres agents, l'agent peut remettre en cause son plan. L'agent doit pour cela alterner planification et exécution, et réviser des parties de son plan.

4.3. Organisation individuelle d'un agent

Les architectures proposées sont nombreuses, celle-ci ont donné lieu à suffisamment d'implémentations pour pouvoir être catégorisées sont : l'architecture à base de tableau noir, les règles de production et d'autres encore. Ces différentes architectures seront exposées ci-dessous :

4.3.1. Architecture à base d'un tableau noir

La représentation tableau noir s'est rapidement imposée en IAD comme une architecture suffisamment souple et puissante pour pouvoir implémenter les mécanismes de raisonnement et de calcul intervenant à l'intérieur des agents.

Le modèle de tableau noir est fondé sur un découpage en modules indépendants qui interagissent indirectement en partageant des informations via une base partagée (le tableau). Cette architecture comprend trois sous-systèmes (figure II.5) :

- Les sources de connaissances KS (Knowledge Source KS).
- La base partagée qui comprend toutes les informations que s'échangent les KSs (hypothèses, résultats intermédiaires, etc.)
- Un dispositif de contrôle qui gère les conflits d'accès entre les KSs.

Dans un système multi-agent, chaque Ks était considéré dans un premier temps comme un agent qui interagit avec les autres KSs. Mais aujourd'hui, c'est tout le système tableau noir qui est perçu comme un agent, du fait que les KSs n'ont pas assez de mémoire locale, et agissant par un mécanisme de contrôle très centralisé.

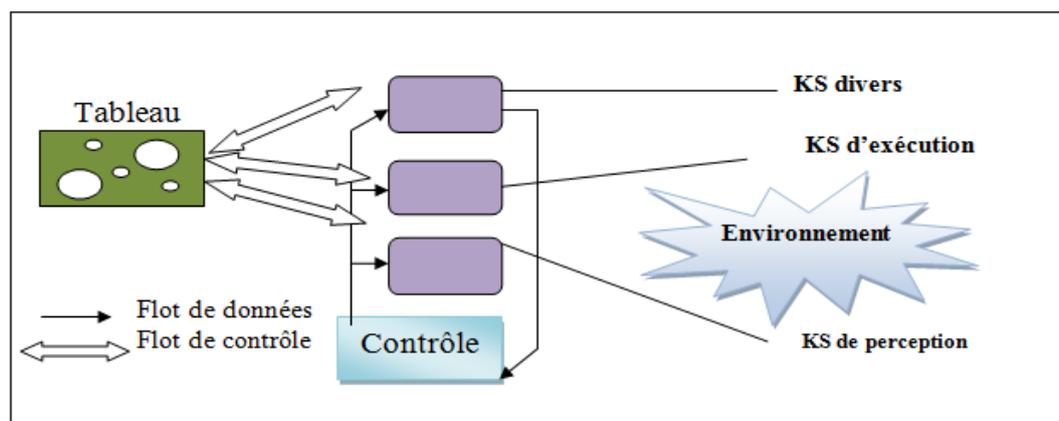


Figure II. 5 : Une architecture de système à base de tableau noir.

4.3.2. Les systèmes de production

Dans le cadre d'un SMA, chaque agent est représenté sous la forme d'un système de production, muni des fonctions d'interprétation et d'exécution (figure II.6).

La fonction de perception se borne à placer les informations perçues ou les messages à l'intérieur de la base des faits pendant le fonctionnement du moteur d'inférence, pour que la base de règle puisse le prendre en compte directement.

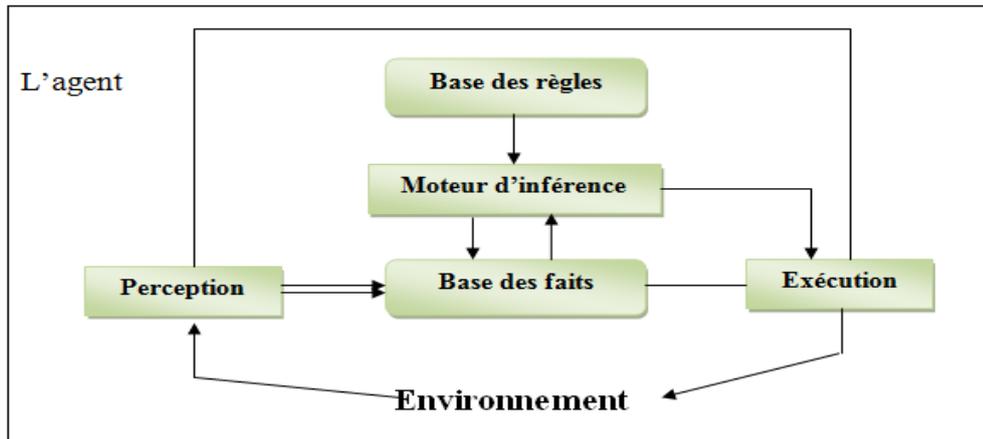


Figure II. 6 : Un agent à base de système de production.

4.3.3. Architecture modulaire horizontale

La plupart des architectures proposées par la définition d'agents cognitifs sont fondées sur la notion d'ensemble de modules horizontaux liés par des connexions préétablies.

L'agent est conçu comme un assemblage de modules, chacun réalisant une fonction horizontale particulière. La figure II.7 montre un exemple caractéristique d'une telle architecture, caractérisée par un flux d'informations montant puis descendant. Les modules les plus courants :

- Les fonctions perceptives.
- L'émission et l'interprétation des communications.
- La base de croyances comprenant la modélisation de l'environnement et des autres agents.
- La gestion des engagements.
- Les expertises du domaine de compétence.
- La gestion des buts et la prise de décision.

- La planification des actions.

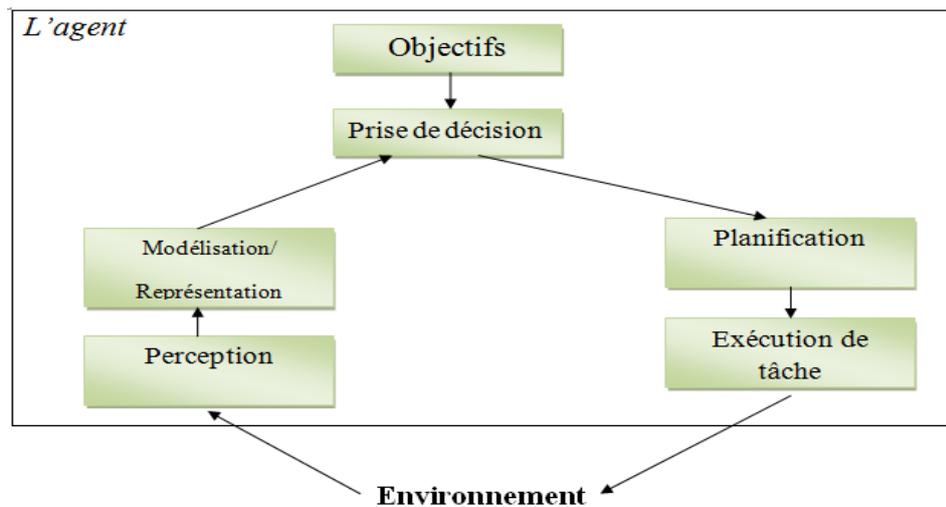


Figure II. 7 : Agent à architecture modulaire horizontale.

4.3.4. Architecture connexionniste

Les architectures connexionnistes, qui sont fondées sur la métaphore du cerveau, sont formées d'un réseau d'éléments tous identiques que l'on appelle souvent neurones formels.

Chaque neurone détermine sa valeur de sortie en fonction des valeurs d'entrée qu'elle reçoit des autres neurones. La fonction de transfert de neurone est donnée par l'équation :

$$y_j = f\left(\sum w_{ij} x_i\right)$$

Où les x_i sont les valeurs de sortie des unités i , les w_{ij} sont les poids des connexions reliant les neurones i aux neurones j , et f la fonction d'activité.

On peut définir les poids des connexions entre neurones de trois manières différentes :

1. La première technique consiste tout simplement à définir ces poids à la main ou à les faire évoluer avec des techniques extrêmement simples, si l'architecture est très simple.
2. La deuxième technique, le réseau apprend lui-même ces poids d'un mécanisme de rétro propagation de l'erreur (backprop). On présente un ensemble de données en entrée et une réponse attendue en sortie.

3. La troisième technique consiste à évoluer les poids à l'aide d'un algorithme qui permet d'utiliser directement les réponses environnementales comme mécanismes de renforcement.

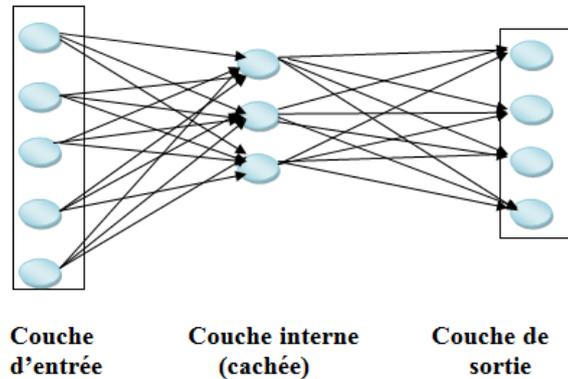


Figure II. 8 : Un réseau de neurones à trois couches.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude dans le domaine d'IA caractérisé par le concept de base de ce domaine : les systèmes multi-agents et la notion d'agents, qui représente un artefact (robot, logiciel...) capable de percevoir, de se représenter et d'agir sur son environnement, ce qui n'est pas le cas lorsque l'information est distribuée dans différents agents du SMA.

Donc le domaine de système multi-agent a pour objectif la mise en œuvre des modèles à base d'agents. Un SMA peut être défini comme un ensemble d'agents qui collaborent et coopèrent afin d'atteindre leurs buts respectifs ou communs. Et que les agents sont amenés à coopérer et à communiquer pour échanger des informations et pour mieux coordonner leurs actions individuelles et locales.

La notion d'organisation des agents dans un SMA, s'impose pour définir les rôles des agents et les mécanismes de coordination et de communication entre eux.

Enfin, le principe des SMA est de partager les tâches à réaliser entre plusieurs entités appelées « agents » qui travaillent en collaboration pour atteindre un objectif commun.

Chapitre III

*Comparaison entre deux techniques
de négociation à base d'agents dans
le cadre de la RC*

1. Introduction

La négociation est essentielle dans les arrangements où les agents autonomes ont des intérêts contradictoires et un désir pour coopérer. Alors pour cette raison, les mécanismes dans lesquels les agents échangent des accords potentiels selon de diverses règles d'interaction sont devenus très populaires ces dernières années. La négociation repose aussi sur les notions de prix, de coût, d'utilité... Cette négociation permettrait d'aboutir à l'acceptation par un agent de coopérer avec d'autres agents.

Dans ce chapitre nous allons présenter les concepts de base liés à la négociation ainsi que les protocoles de négociation les plus importants. Nous présentons aussi une étude comparative entre deux techniques de négociation.

2. La négociation

Négociation : Ceci peut impliquer une demande d'une option de l'ensemble de considération ou d'une option originale pas dans l'ensemble de considération.

La négociation est un système avantageux pour la résolution des conflits et la coordination, inspiré du modèle des humains. C'est le processus choisi pour satisfaire un but commun entre deux agents ou plus. Chaque agent essaye de maximiser son profit ou objectif individuel. La négociation est basée sur deux sens, la communication et la prise de décisions entre les agents.

3. Les techniques de négociation

C'est-à-dire que des compromis vont être établis entre les agents. En effet, il est intéressant d'utiliser cette méthode car la mise en place de ces mécanismes permettrait d'aboutir à l'acceptation par un agent de coopérer avec d'autres agents. Dans le cas de la RC, il faut seulement vérifier si le PU est prêt à coopérer ou non. Dans la littérature, il existe plusieurs techniques d'accès au spectre et plusieurs protocoles de négociation. Dans ce travail, nous allons présenter les plus importants protocoles liés à la RC [26] :

3.1. La négociation heuristique

Les agents peuvent essayer de changer le rejet (repousser) ou la modification d'une proposition (offres) faite par un autre agent. Et permet de produire des bonnes solutions plutôt que des solutions optimales. Les agents doivent fournir des réactions plus utiles aux propositions qu'ils reçoivent. Ces réactions peuvent prendre la forme d'une critique

est un commentaire sur la partie de la proposition que l'agent accepte ou refuse ou d'une contre-proposition (proposition refusée ou modifiée) est une proposition qui est plus favorable à l'expéditeur et elle est faite en réponse à une proposition.

3.2. La négociation par argumentation

Il permet à des agents de critiquer ou de discuter sur une certaine matière c.-à-d. les agents peuvent échanger l'information valable selon leur croyance ou la connaissance concernant certaines matière. Il est parfois difficile que les programmeurs construisent des agents ayant les possibilités de l'argumentation. Il est également possible que le processus d'argumentation entre deux agents continue pour plusieurs ronds et à l'extrémité, elles ne pourront pas conclure un accord, causant un grand nombre de messages d'être gaspillés. 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.

3.3. La négociation par enchères

3.3.1. Définition des enchères

Le terme « enchère » désigne toute technique de vente établissant une concurrence, qui a pour objectif de déterminer le futur possesseur de l'article en jeu, par des offres successives.

Les enchères se sont démocratisées sur Internet grâce aux sites comme eBay, Yahoo enchères, onSaleC'est la forme de négociation la plus connue, bien que peu de systèmes d'enchères offrent de réelles possibilités de négociation.

3.3.2. La théorie d'enchères

La théorie de vente aux enchères consiste en un vendeur souhaitant maximiser son gain et plusieurs d'acheteurs souhaitant minimiser leur perte en fonction de l'estime qu'il porte à l'objet de la vente.

La théorie de VAE présente des protocoles utilisés dans des systèmes multi-agents pour définir des moyens de négociation entre ces agents. Cette partie résume des protocoles présentés dans le cadre de cette théorie.

3.3.3. Types d'enchère

Il existe plusieurs protocoles d'enchère, mais on va présenter uniquement les plus importants :

- **Enchère ascendante (anglaise)**

Elle est certainement la plus populaire et la plus commune à tous. 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.

- **Enchère descendante (hollandaise)**

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.

- **Enchère à enveloppe scellée (au premier prix)**

Ce type d'enchère, aucun agent n'a connaissance de la mise des autres agents. Ainsi il décide de sa mise en fonction de son estimation de la valeur de l'objet, de la dernière somme enregistrée et également de son estimation des offres des autres agents.

- **Enchère de Vickery (enveloppe scellée au second prix)**

Ici, aucun agent n'a connaissance de la mise des autres agents. Lorsque l'agent remporte l'enchère (en ayant proposé la somme la plus élevée), il remporte le produit mais au prix de la seconde mise, c'est à dire celle se trouvant juste au-dessous de la mise gagnante.

3.3.4. Problèmes avec les protocoles d'enchère

Il y a plusieurs aspects problématiques à mentionner quand on doit choisir un protocole d'enchères concernant principalement le choix du protocole et de la stratégie à utiliser :

- ❖ **L'efficacité de l'allocation des objets en enchère**

Dans les enchères à valeur privée ou à valeur commune, les quatre protocoles discutés auparavant (anglaise, première offre cachée, hollandaise et Vickery) l'allocation de l'objet à vendre est efficace Pareto pour le participant qui gagne l'objet. Cette affirmation est valable pourvu que l'initiateur vende toujours l'objet, notamment qu'il y a une offre supérieure au prix de réservation.

- ❖ **Gain anticipé**

L'initiateur aimerait choisir le protocole d'enchère qui puisse lui apporter le plus grand gain. La situation est différente si les participants ont une attitude adverse envers le risque.

❖ Problèmes de collusion entre agents

Les agents peuvent décider d'avance de soumettre des offres plus basses que leurs valeurs privées et l'agent gagnant gagnera avec le plus grand prix offert, mais ce prix sera moins élevé que s'il n'y avait pas de collusion, va partager le surplus avec les autres agents complices. Si un participant ne connaît pas l'identité des autres, il ne peut pas y avoir de collusion. Mais, surtout dans les enchères à offre publique, les participants se connaissent.

3.3.5. Enchères et Radio Cognitive

Le Tableau III.1 compare les enchères classiques avec les enchères dans les réseaux de radio cognitive.

Enchères classiques	Enchères dans les réseaux RC
Objets à vendre	Bandes de fréquence libres
Enchérisseurs	Utilisateurs secondaires (SU)
Vendeurs	Utilisateurs primaires (PU)
Commissaire-priseur	Régulateur

Tableau III. 1: Différence entre les enchères classiques et les enchères dans les RRC.

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 SUs pour maximiser leur utilisation du spectre et aux PUs afin de maximiser leur gain. 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. Dans la littérature, deux possibilités s'offrent :

- Soit le régulateur alloue les canaux aux utilisateurs primaires, ces derniers allouent indépendamment les portions inutilisées de leur canal aux SUs [27].
- Soit le régulateur alloue le droit d'être SU ou PU dans le canal [28].

Les auteurs de [29] utilisent les enchères à second prix pour résoudre le problème d'allocation du spectre et développent une approche qui introduit la notion d'argent fictif pour le paiement en temps réel.

Une autre façon d'utiliser les ventes aux enchères est proposée dans [30], où les auteurs ont prouvé que dans certains scénarios le spectre est utilisé efficacement lorsque plusieurs SUs gagnent l'accès à un seul canal, c'est ce qui distingue leur méthode avec les enchères traditionnelles où un seul utilisateur peut gagner.

3.4. La négociation par réseau contractuel

3.4.1. Définition de contrat

Le contrat est une technique classique qui peut être vu comme une spécification de différentes actions que chaque partie doit effectuer pour une autre.

3.4.2. Contract-Net

Le **Contract-Net** [31] [32] est un protocole permettant l'élaboration et l'exécution d'un contrat entre un agent *manager* et un agent *contractant*. Il fait intervenir des agents interagissant entre eux pendant l'élaboration et l'exécution du contrat au moyen de performatifs.

Le protocole *Contract-Net* est le protocole d'interaction le plus utilisé dans les SMAs. Il repose sur un mécanisme d'allocation de tâches régi par le protocole d'appel d'offres qui est utilisé dans les organisations humaines. Ce protocole permet la coopération pour la répartition de tâches partagé utilisé une suite de messages échangés entre un initiateur et des participants. Et prend deux rôles qui sont :

- **gestionnaire** (manager) : est responsable du déclenchement et de la surveillance de l'exécution d'une tâche et du traitement des résultats de cette exécution.
- **contractant** qui accomplit et résout un sous-problème. De façon récursive, un contractant peut aussi à son tour devenir gestionnaire et re-décomposer son problème en divers sous-problèmes s'il ne possède pas les capacités pour le résoudre seul.

Généralement, le manager veut que ses buts soient résolus, ainsi il envoie un appel de propositions (CfP¹) ou un message d'annonce de tâche à ses agents voisins de contractant.

¹Une proposition est un contrat qui a été proposé par quelques participants mais n'a pas été encore acceptée par toutes les parties qui sont mentionnées dans le contrat.

- ✓ Condition de contrat : l'identification d'un contractant, ses possibilités d'exécution de tâche, et sa position, etc.).

3.4.3. Types de protocoles de contract-Net

- Il peut être envoyé à un sous-ensemble d'agents (émission limitée)
- Il peut seulement être envoyé à un agent (point par point).
- Contrats dirigés : Si l'initiateur connaît un participant qui est habilité à la tâche, il pourrait la lui attribuer directement. Ceci s'appelle le contrat dirigé. L'initiateur envoie alors un message dirigé de récompense sans la fabrication d'une annonce de tâche. Le participant peut accepter ou refuser la tâche. Cet arrangement augmente l'efficacité du protocole.

3.4.4. Etapes du protocole réseau contractuel

Les agents peuvent prendre deux rôles : **gestionnaire et contractant**. L'agent qui doit exécuter une tâche donnée (le gestionnaire) commence tout d'abord par décomposer cette tâche en plusieurs sous-tâches. Comme on a défini dans la figure III.1

- ✓ Le gestionnaire (manager) 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 ("bids" en anglais).
- ✓ Les agents qui reçoivent une annonce de tâche à accomplir peuvent ensuite faire une proposition devant refléter leur capacité à remplir cette tâche.
- ✓ Le gestionnaire rassemble ensuite toutes les propositions qu'il a reçues et alloue la tâche à l'agent ayant fait la meilleure proposition (contrat).

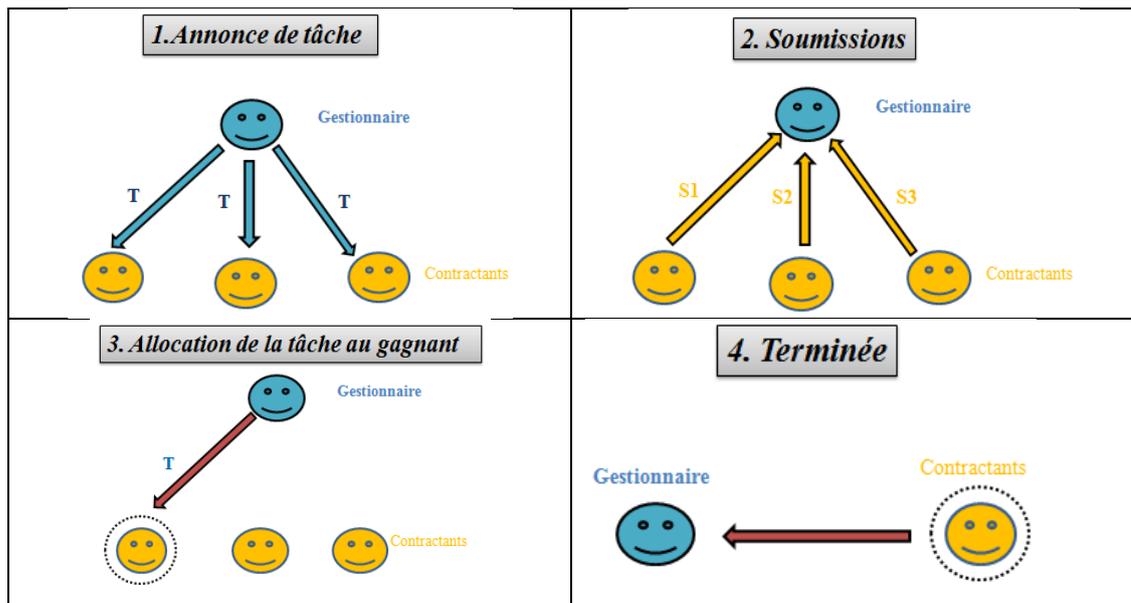


Figure III. 1 : Etapes du protocole réseau contractuel [33].

3.4.5. Les caractéristiques du contrat de négociation

Il comporte quatre caractéristiques importantes la négociation :

1. C'est un processus local qui n'implique pas un contrôle centralisé,
2. L'échange d'information a lieu dans les deux sens,
3. Chaque partie dans la négociation évalue les informations de sa propre perspective,
4. L'accord final est réalisé par une sélection mutuelle (le contractant a choisi de répondre au manager et le manager a choisi d'affecter la tâche au contractant).

Dans un SMA avec agents coopératifs, si le gestionnaire annule un contrat, le contractant accepte cette annulation car tous les agents travaillent pour le même but (buts). Dans le cas des agents égocentrés, le gestionnaire peut toujours annuler un contrat, dans des situations exceptionnelles, mais le contractant peut demander une compensation (paiement) pour le fait qu'il a perdu un contrat alors qu'il aurait pu s'engager pour un autre.

4. Synthèse entre deux types de techniques de négociation

Cette partie est consacrée à la partie pratique de notre travail. Il décrit l'architecture du système réalisé, son fonctionnement ainsi que l'ensemble des outils utilisés dans la phase d'implémentation. Nous avons faire une étude comparative entre deux techniques de négociation utilisant les SMAs dans les réseaux de radio cognitive. Nous avons

choisis la technique de négociation par réseau contractuelle et la technique de négociation par enchère classique.

4.1. Outils de développement

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.

JADE assure une communication transparente par l'échange de messages dans le langage normalisé FIPA-ACL.

Le but de JADE est de simplifier le développement des SMAs en conformité avec la norme FIPA pour réaliser des systèmes multi-agents interopérables. 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.

4.2. Topologie du réseau utilisé

Dans la littérature, la plupart des inconvénients et des problèmes liés aux enchères sont en rapport avec le régulateur (initiateur), ce dernier peut avoir un comportement mensonger, il peut aussi utiliser de faux participants pour faire augmenter l'évaluation de l'objet.

Pour éviter ce genre de problèmes, nous proposons d'utiliser une architecture de réseau sans infrastructure ou ce que l'on appelle généralement « un réseau ad hoc », car ce type de réseau se distingue des autres formes de réseaux par sa capacité à s'organiser de manière autonome sans infrastructure fixe. Un réseau ad hoc n'est constitué que d'un nombre variable d'entités qui communiquent entre elles de façon directe.

En d'autres termes, la communication se fera directement entre les PUs et les SUs. La figure III.2 illustre la topologie du réseau que nous utilisons :

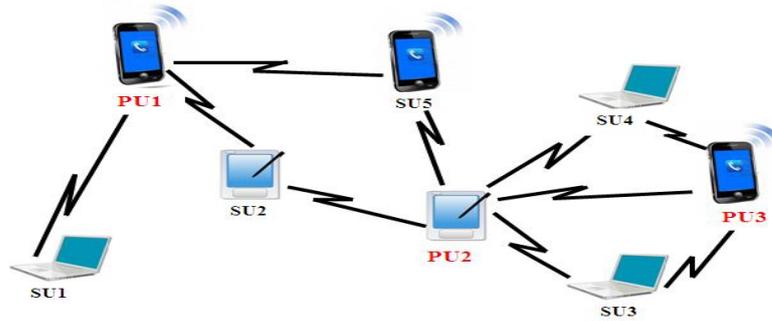


Figure III. 2 : Topologie du réseau (mode ad hoc).

4.3. Scénario

Dans ce travail, nous avons porté notre attention sur un type particulier de négociation « plusieurs à un » c'est-à-dire qu'il y a un seul PU qui partage son spectre et plusieurs SU qui ont besoin de bandes libres pour assurer la qualité de leur application. La figure III.3 illustre le scénario qui sera traité dans la suite de ce travail.

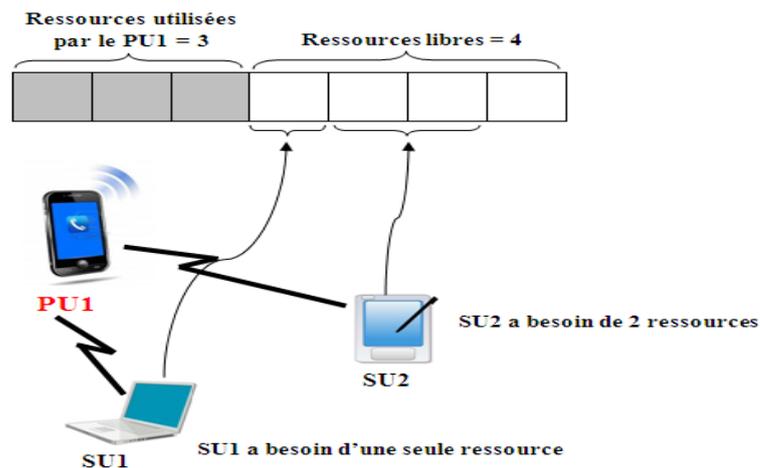


Figure III. 3 : Scénario proposé.

Pour résoudre le problème de l'allocation du spectre, nous avons utilisé la programmation dynamique qui est une technique algorithmique pour optimiser des sommes de fonctions monotones croissantes sous contrainte. Cette technique s'applique à des problèmes d'optimisation dont la fonction objective se décrit comme « la somme de fonctions monotones croissantes des ressources ». Dans ce qui suit, nous allons noter les variables suivantes dans les deux algorithmes de techniques de négociation :

- nbSU : le nombre de SU.
- m : le nombre de canaux libres coté PU.
- W : tableau de taille n, $W[i]$ est le nombre de canaux demandés par SU_i .
- C : tableau de taille n, $C[i]$ représente le prix proposé pour $W[i]$ par SU_i .

La fonction monotone croissante à optimiser est : $\text{Max} \sum_{i=0}^{nb-1} C[i]$

La contrainte est : $\sum_{i=0}^{nb-1} W[i] \leq m$

Donc et pour la suite, nous avons opté pour une comparaison entre la négociation par enchère et la négociation par réseau contractuelle.

Nous considérons un scénario où des SUs et un seul PU sont connectés en mode « ad hoc ». Alors nous avons implémenté les deux algorithmes coté PU et ensuite comparé les résultats obtenus, sachant que nous avons supposé qu'il y'a 10 SUs au même endroit.

4.4. Application

Nous rappelons que le but de notre travail est de construire un SMA pour faire une synthèse entre les deux techniques de négociation que nous avons choisis.

L'interface de notre application est comme suit (figure III.4).



Figure III. 4 : l'interface de l'application.

La figure suivante donne un aperçu d'une fenêtre qui est utilisée pour saisir les valeurs.



Figure III. 5 : Frame pour saisir les données.

Après le lancement des agents, nous pouvons visualiser l'interface graphique de la Plateforme JADE. Elle est indiquée dans la figure suivante.

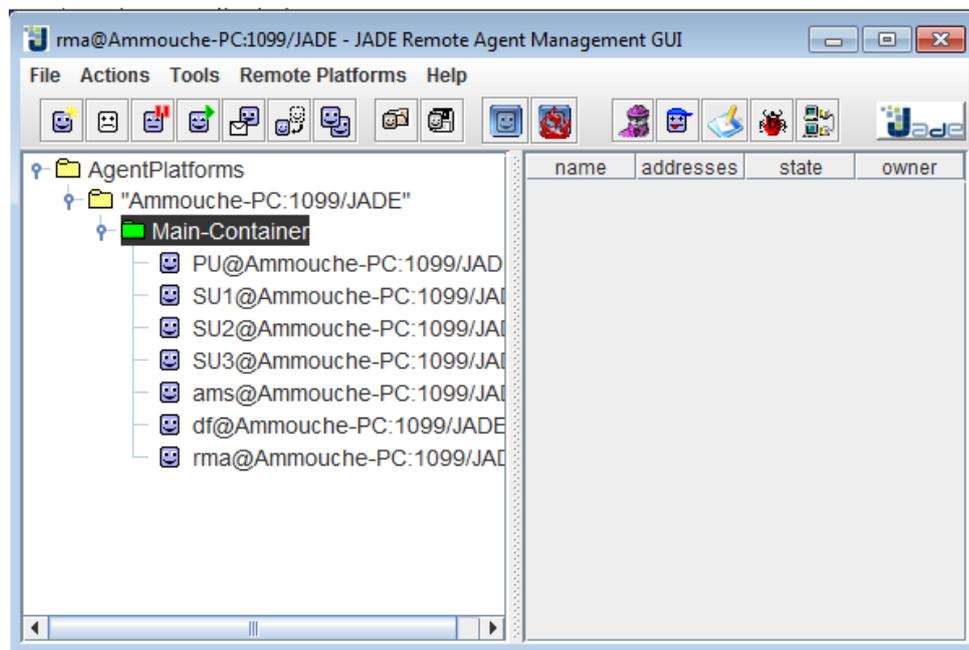


Figure III. 6 : interface graphique de la plateforme JADE.

Nous pouvons également visualiser l'ensemble des échanges en termes de messages entre les agents en lançant l'outil « *agent sniffer* » de la plateforme JADE.

La figure suivante illustre les échanges de messages dans le cas des enchères. Dans cet exemple, nous avons 1 PU et 3 SUs. Le PU possède 5 canaux disponibles, les demandes des SUs sont comme suit : SU1 demande 3 canaux pour un prix de 300, SU2 demande 2 canaux pour un prix de 400 et SU3 demande 2 canaux pour un prix de 500.

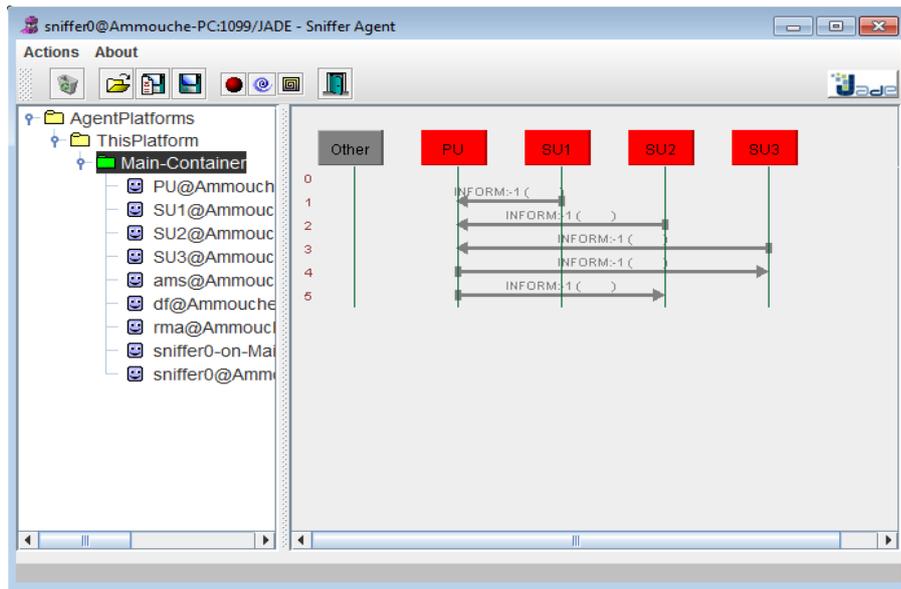


Figure III. 7 : Echange de messages entre agents dans le cas de la négociation par enchère.

Nous gardons les mêmes paramètres et nous montrons dans la figure suivante les échanges de messages entre agents mais dans le cas de la négociation par réseau contractuelle.

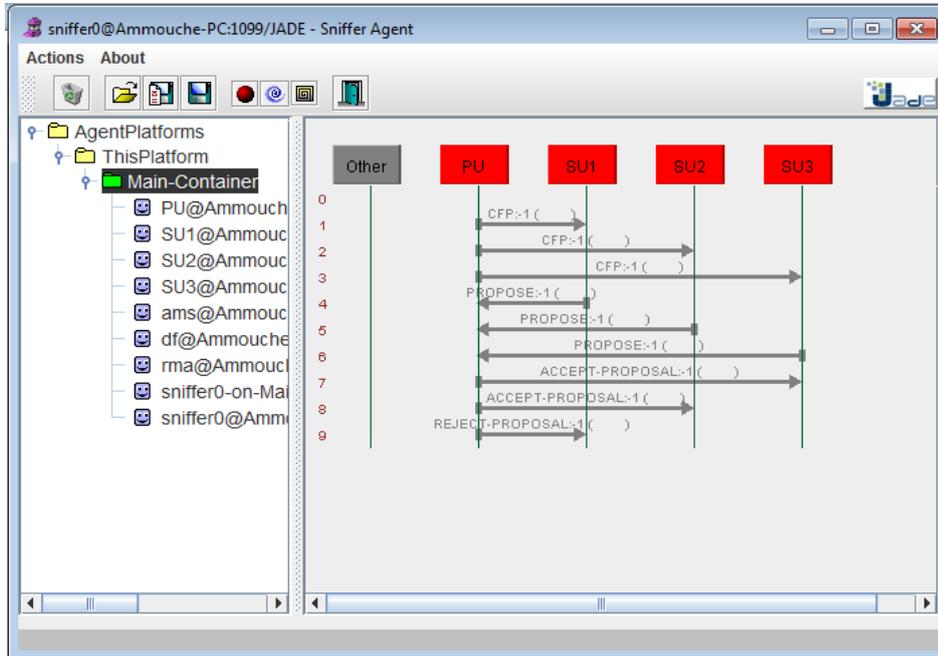


Figure III. 8 : Echange de messages entre agents dans le cas de la négociation par réseau contractuelle.

4.5. Comparaison entre les deux techniques de négociation

4.5.1. En termes de nombre de messages échangés

Le tableau III.2 montre le nombre de messages échangés dans le système et ça dans les deux cas. Si on suppose que le nombre de SUs est : N. Donc, dans le cas du protocole Contract-Net, le nombre de messages échangés est 3N, car nous avons N messages CFP, N messages PROPOSE et N messages (ACCEPT-PROPOSAL ou REJECT-PROPOSAL). Dans le cas des enchères, nous avons au maximum 2N messages échangés. N messages INFORM envoyés par les N SUs et au maximum N messages de réponse de la part du PU vers tous les SUs, si on a N SUs satisfaits.

Nombre de SUs	Nombre de messages « Contract-Net »	Nombre de message « Enchère »
1	3	2
2	6	4
3	9	6
4	12	8
5	15	10
6	18	12
7	21	14
8	24	16
9	27	18
10	30	20

Tableau III. 2 : Nombre de messages échangés dans les deux cas.

A partir de ce tableau, nous avons établi le graphe suivant :

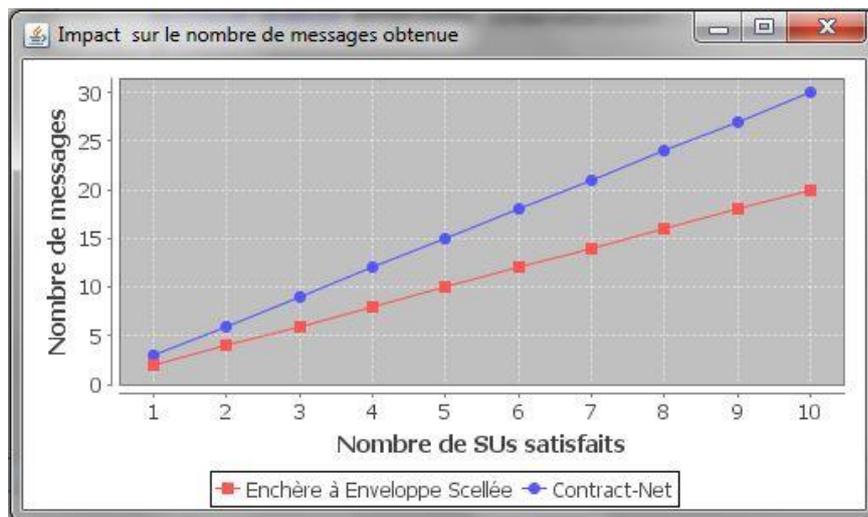


Figure III. 9 : Comparaison entre les deux protocoles en termes de nombre de messages échangés.

Le graphe précédent montre clairement que le protocole Contrat-Net utilise plus de messages que les enchères, et ça pour le même objectif qui est de maximiser le gain obtenu par le PU.

La différence entre les deux protocoles ce que le nombre de message dans le Contrat-Net est 3N par contre dans l'enchère c'est 2N.

4.5.2. En termes de temps d'exécution

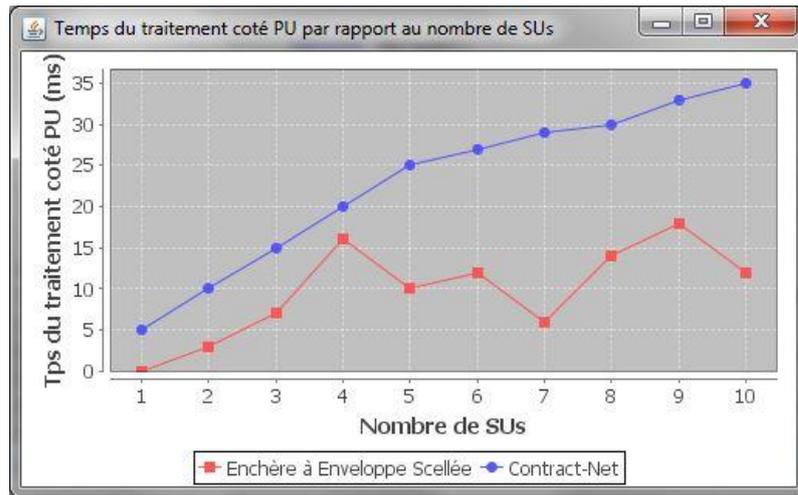


Figure III. 10 : Comparaison en termes de temps d'exécution

On remarque que il y une différence entre les deux technique, mais pas grand. Quand le nombre de SUs augmente le temps de traitement augmente dans les deux cas :

- dans la négociation de Contrat-Net le temps de traitement se multiplie sous forme de droit (augmentation continue).
- par contre dans les enchères le temps de traitement fait une augmentation ondule.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la négociation et les techniques de négociation les plus importantes, Ainsi une étude comparative entre deux techniques de négociation.

Dans le cadre de la RC, la négociation est une des solutions les plus simples pour faire face à l'encombrement causé par le manque de ressources disponibles pour les SU.

La négociation par réseau contractuelle est différente uniquement par rapport aux enchères pour la partie CFP.

Conclusions & perspectives

Après avoir passé des mois à essayer de se familiariser avec des concepts récents qui font l'actualité de la recherche, les systèmes multi-agents et les techniques de négociation dans les réseaux de radio cognitive, on peut affirmer avoir le bon choix pour un projet de fin d'étude.

Le concept de la radio cognitive est basé sur l'emploi dynamique de n'importe quelle bande disponible et détectable du spectre pour les communications. Ainsi, le réseau peut être divisé en deux catégories d'utilisateurs :

- Primaires qui ont un accès contrôlé et donc prioritaire au spectre.
- Secondaires cognitifs.

L'utilisation de SMA pour l'attribution de ressources et le partage de spectre a montré son intérêt dans la cadre de la RC, mais le problème que nous avons rencontré est le bon choix d'un protocole de négociation car chaque protocole possède ses avantages et ses inconvénients. En fait, les techniques de négociation peuvent être réalisées selon les modèles basés sur la vente aux enchères, les approches de protocole de contrat net, les approches heuristiques et les approches basées sur l'argumentation.

Nous espérons que ce modeste mémoire servira de guide pour les autres promotions et qu'il puisse aider à se familiariser avec les techniques de négociation à base de SMA dans réseaux de radio cognitive.

Références Bibliographiques

- [1] <http://era.utt.fr/fr/theses-en-cours.html>
- [2] http://turing.cs.pub.ro/auf2/html/chapters/chapter6/chapter_6_2.html
- [3] J. Mitola. *Software Radio Architecture: Object-Oriented Approaches to Wireless Systems Engineering*. Editions Wiley, 2000. 543 pages. ISBN 0471384925.
- [4] J. Mitola. *Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio*. Ph.D. dissertation, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden, 2000, Disponible http://web.it.kth.se/~maguire/jmitola/Mitola_Dissertation8_Integrated.pdf
- [5] <http://www.ssi.gouv.fr/IMG/pdf/cesar2011-papier-radio-logicielle-kasmi-ebalard-ricordel.pdf>
- [6] J. Palicot, “De la radio logicielle à la radio intelligente”, 2010, Hermes/lavoisier.
- [7] J. Mitola and G. Maguire “*Cognitive radio: Making software radios more personal*”, IEEE Personal Communications, August 1999.
- [8] J. Mitola, “*Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio*”, Ph.D. Dissertation, KTH, 2000.
- [9] I. Ngom et L. Diouf, “*La radio cognitive*”, université Lille 1 USTL, 2008.
- [10] Cognitive Radio “An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio” Joseph Mitola III, Royal Institute of Technology (KTH), Teleinformatics, Electrum 204SE-164 40 Kista, Sweden, TRITA-IT AVH 00:01, ISSN 1403-5286, ISRN KTH/IT/AVH—00/01—SE
- [11] A. Metref, “*Contribution à l’étude du problème de Synchronisation de porteuse dans le contexte de la Radio Intelligente*”, Novembre 2010.
- [12] Niels Hoven, Rahul Tandra, and Prof. Anant Sahai “Some Fundamental Limits on Cognitive Radio” Wireless Foundations, EECS University of California at Berkeley February 11, 2005
- [13] E. Hossain, D. Niyam, Zhu Han, “*Dynamic Spectrum Access and management in cognitive radio networks*”, Cambridge University Press 2009.
- [14] S. Haykin, Cognitive radio: brain-empowered wireless communications, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 23 (2) (2005) 201–220.

- [15] J. Mitola III, Cognitive radio for flexible mobile multimedia communication, in: Proc. IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC) 1999, November 1999, pp. 3–10.
- [16] J. Huang, R. Berry, M. Honig “Auction Mechanisms for Distributed Spectrum Sharing”. In Proc. of 42nd Allerton Conference, 2004.
- [17] Mohamed Gafar Ahmed Elnourani (2008). Cognitive Radio and Game Theory: Overview And Simulation. Blekinge Institute of Technology.
- [18] Atiq Ahmed et Al. (2011). An agent Based Architecture for Cognitive Spectrum Management. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12): 682-689.
- [19] Usama Mir, Leila Merghem-Boulaïha, Dominique Gaïti. (2010). Dynamic Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks: a Solution based on Multiagent Systems. International Journal on Advances in Telecommunications, vol 3 no 3 & 4.
- [20] Tian Chu et Al. (2010). Spectrum Trading in Cognitive Radio Networks An Agent-based Model under Demand Uncertainty. Global Telecommunications Conference.
- [21] De l'intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents, Rapport de recherche n° 2004, S.LABIDI & W.JEOUD, août 1993.
- [22] Agent Builder, an integrate toolokit for constructing intelligent software agents. User's guide version 1.1 Rev.4, February 3, 1999
- [23] <http://www.tele.ucl.ac.be/EDU/ELEC2920/1997/agentsT/agents.html>
- [24] les Agents Intelligent, Thibauts SMETS et Nicolas VAN BERGHE.ELEC 29 20/Réseaux des télécommunications, juin 2000.
- [25] Principes des systèmes multi agents, FERBER 1998.
- [26] Asma Amraoui, Badr Benmammar, Fethi Tarik Bendimerad. "Accès Dynamique au Spectre dans le Contexte de la Radio Cognitive". 2^{ème} édition de la conférence nationale de l'informatique (JEESI'12), (Avril 2012) - ESI, Oued-Smar (Alger), Algérie.
- [27] Z. Ji, K.J. Ray Liu. "Belief-Assisted Pricing for Dynamic Spectrum Allocation in Wireless Networks with Selfish Users." *In Proc. of IEEESECON*. 2006.
- [28] Gaurav S. Kasbekar, Saswati Sarkar. "Spectrum Auction Framework for Access allocation in Cognitive Radio Networks." *MobiHoc*. 2009.

- [29] Bin Chen, He-Kun Wu, Anh Tuan Hoang and Ying-Chang Liang. "Optimizing the second-price auction algorithm in a Dynamic Cognitive Radio Network." *Communication Systems, 2008. ICCS 2008. 11th IEEE Singapore International Conference on*. 2008.
- [30] Yongle, W., Wang, B., Liu, K.J.R., and Clancy, T.C. "Collusionresistant multi-winner spectrum auction for cognitive radio networks." *Proceedings of IEEE GLOBECOM*. 2008. 1-5.
- [31] The Contract-Net Protocol: high-level communication and control in a ditributed problem solving R.G. Smith Readings in ditrsibuted artificial intelligence, Morgan Kauffmann Publishers, 1988
- [32] Negotiation among self-interested computationally limited agents T.W. Sandholm PhD Thesis, University of Massachusetts, 1996
- [33] http://turing.cs.pub.ro/auf2/html/chapters/chapter5/chapter_5_4_1.html

Liste de figures

Figure I. 1 : Cycle de cognition.	12
Figure I. 2 : Architecture de la RC.....	14
Figure I. 3 : Composantes de la RC.	15
Figure I. 4 : Concept de trou de spectre.	17
Figure II. 1 : Attributs des agents.....	23
Figure II. 2 : l'environnement d'interaction des agents.	24
Figure II. 3 : structure d'un agent.	33
Figure II. 4 : Fonctionnement d'un agent.	34
Figure II. 5 : Une architecture de système à base de tableau noir.....	35
Figure II. 6 : Un agent à base de système de production.	36
Figure II. 7 : Agent à architecture modulaire horizontale.....	37
Figure II. 8 : Un réseau de neurones à trois couches.	38
Figure III. 1 : Etapes du protocole réseau contractuel.	46
Figure III. 2 : Topologie du réseau (mode ad hoc).	48
Figure III. 3 : Scénario proposé.	48
Figure III. 4 : l'interface de l'application.	49
Figure III. 5 : Frame pour saisir les données.	50
Figure III. 6 : interface graphique de la plateforme JADE.	50
Figure III. 7 : échange de message entre les agents du système dans le cas de la négociation par l'enchère.	51
Figure III. 8 : échange de message entre les agents du système dans le cas de la négociation par réseau contractuelle.	51
Figure III. 9 : Comparaison en termes de nombre de messages en fonction de nombre de SUs satisfaits.	52
Figure III. 10 : Comparaison en termes de temps en fonction de nombre de SUs.	53

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Fonctionnalités de CR.	15
Tableau I. 2 : Comparaison entre un agent et une Radio Cognitive.	18
Tableau II. 1 : Comparaison entre école cognitive et école réactive.	27
Tableau III. 1 : Différence entre des enchères classiques et enchères dans les RRC.....	43
Tableau III. 2 : Nombre de messages en fonctions de SU.....	52

Résumé

Les techniques de négociation à base de systèmes multi-agent jouent un rôle très important dans les réseaux de radio cognitive, ils sont des méthodes utilisées pour résoudre le problème de l'encombrement de spectre qui est l'objet de notre PFE. Notre objectif dans le cadre de ce travail est donc de faire une petite synthèse entre deux protocoles qui sont les enchères et le contrat Net, ces protocoles sont définis par une séquence d'actions entre l'utilisateur primaire (PU) et les utilisateurs secondaires (SUs).

Mots-clés : réseaux de radio cognitive, système multi-agent, négociation, enchère, accès dynamique aux spectres.

Abstract

The techniques of negotiation based on multi-agent systems play a very important part in cognitive radio networks, they are a methods used to solve the problem of spectrum access which is the object of our study. So, our objective is to make a synthesis between two protocols, these protocols of negotiation are defined by a sequence of actions between the primary user (PU) and the secondary users (SUs).

Keywords: radio cognitive networks, multi-agent system, negotiation, auction, dynamic spectrum access.

ملخص

مهارات التفاوض تلعب دورا هاما جدا في الشبكات الراديوية الإدراكية استنادا إلى الجيل الجديد من أنظمة متعددة وكيل، وتستخدم أساليب لحل مشكلة الازدحام من الطيف هو موضوع هذه الدراسة. الهدف من هذه المدكرة هو تقديم موجز قصير من بروتوكولين، ويتم تعريف بروتوكول التفاوض من قبل سلسلة من الإجراءات بين المستخدم الأساسي والثانوي للمستخدمين. وهو يتألف من سلسلة من تبادل الرسائل. وتعتبر هذه الرسائل وترجمتها من قبل كل من المستخدمين في شكل الأحداث، وأنها يجب أن تحترم الهيكل.

الكلمات الرئيسية: الشبكات الراديوية الإدراكية، نظام متعدد وكيل، تفاوض، والعطاء، الوصول الديناميك.