

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAÏD – TLEMEN

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE



THESE

Présentée par

Benhamida Mahmoud

Benyahia Belahcene

Pour obtenir le diplôme de
MASTER EN INFORMATIQUE

Spécialité : : *Réseaux et Systèmes Distribués (RSD)*

Sur le thème

Utilisation de la théorie des jeux dans les réseaux de radio cognitive pour l'accès dynamique au spectre

Soutenue publiquement le 01/ 07 /2013, devant le Jury composé de

Président	Mr LEHSANI Mohammed	U. Tlemcen
Directeur de Thèse	Mr. BENMAMMAR Badr	U. Tlemcen
Examineurs	Mr. BELHOUCINE Amine	U. Tlemcen
	Mme. BELHABI Amel	U. Tlemcen

Année universitaire : 2012-2013

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier :

Allah le tout puissant.

Mr **BENMAMMAR BADR**, notre encadreur, pour ses conseils, sa disponibilité et son encouragement qui nous ont permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.

Les jurys pour leurs efforts et leur soin apporté à notre travail :

Mr. LEHSAINI Mohammed

Mr. BELHOUCINE Amine

Mme. BELHABI Amel

Aux enseignants de notre université et du département d'informatique et notre collègue de promotion.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

- *A Ceux qui ont fait de moi un homme : mes très chers parents : ma mère, ma mère, ma mère et à mon père, que dieu les récompense et les garde, et surtout ma chère mère qui n'a jamais cessé de m'aider et qui m'a encouragé et soutenue toute au long de mon cursus.*
- *A la mémoire de Mon cher oncle **Benyahia Chaïb** qui a voulu assister à ma soutenance mais le destin était plus sévère.*
- *A mes frères **Sid ahmed, Abdesselam, Amina, Nesrine et Moussa**. Et spécialement pour le petit **Abdelhadi**.*
- *A toute la famille **Benyahia et Berradia** .*
- *Spécial dédicace à mes collègues **Mahmoud, Mohammed, Abdelhalim, Abdellatif et Mohammed el amine** et tous mes amis de SIC et MID.*
- *A tous les membres de ma promotion de RSD.*
- *A mes chères amis **Grar Mohammed, Kehli Abdelwahab et Bensouna Hamza**.*
- *Spéciale dédicace à mon chère frère **Bensouna Djalal***
- *A tous mes professeurs de tout mon cursus.*
- *A tous mes voisins et mes amis*

Benyahia Belahcene

DEDICACE

*A mes très chers **parents** qui n'ont jamais cessé de m'aider et m'encourager durant tout mon parcours et qui m'ont permis d'être aujourd'hui ce que je suis,*

*A la mémoire de mes **grands-parents** qui ont voulu que je réussisse,*

*A mes chers frères **Bilal et Mohammed Ilyes**,*

*A ma sœur **Fatima Zohra***

*A mes **tantes, mon oncle, cousins, cousines** et tous les membres de ma grande et aimable famille qui m'ont toujours soutenu et poussé à donner le meilleur de moi-même,*

A mon binôme Belahcene avec qui j'ai appris tellement de choses et que je remercie d'avoir été patient et collaboratif,

A tous mes amis, de promotion RSD SIC et MID et spécialement Belahcene, Mohammed, Abdelhalim, Abdellatif, Mohammed el Amine je vous dis MERCI pour tous les moments inoubliables qu'on a passé ensemble durant ces cinq années,

Au Docteur C. Hanane pour ses conseils et son soutien durant toute la réalisation de ce travail

*A mon cher amie **Mallouk Mohammed** avec lequel j'ai partagé des meilleurs moments inoubliables.*

A tous ceux qui me sont chers,

Benhamida Mahmoud

Résumé

Les réseaux radio de cognitive sont présentés comme le nouveau paradigme de communication qui viendrait à bout de la mauvaise utilisation de la ressource spectrale. En effet, au problème d'allocation statique qui génère un déséquilibre, la radio cognitive propose une exploitation opportuniste de spectre radio via quelques techniques intelligentes. Dans ce PFE nous avons utilisé la théorie des jeux en prouvant son efficacité grâce aux modèles de jeu offerts qui sont adaptés dans la solution proposée pour l'accès dynamique au spectre dans les réseaux de radio cognitive.

Mots clés : radio cognitive, spectre, accès dynamique, théorie des jeux, dilemme de prisonnier, jeu de l'urne, coopération, compétition.

Abstract

Cognitive radio networks can be presented as a new paradigm coming from the bad use of spectrum resources, the problem of static spectrum allocation produce a disequilibrium, the cognitive radio propose an opportunist radio spectrum exploitation. In this work we use the game theory that proves its efficiency thanks to the given game models that are adapted in the proposed solution for dynamic spectrum access in cognitive radio networks.

Key words: cognitive radio, spectrum, dynamic access, game theory, prisoner dilemma, urn game, cooperation, competition.

ملخص:

يمكن تعريف شبكات الراديو التعريفي على انها نموذج اتصال مستوحى من سوء استعمال مصادر الاتصال الطيفية، وكذلك من مشكل التوزيع الثابت الذي يشكل خلل في التوازن، الراديو التعريفي يقترح فرص استعمال انتهازية لطيف الراديو عن طريق بعض الطرق الذكية.

في هذا العمل استعملنا طريقة مستوحاة من الرياضيات التي تسمى قواعد الالعب التي اظهرت فعاليتها اعتمادا على بعض النماذج التي قمنا باستعمالها في الحل المقترح للولوج الديناميكي في شبكات الراديو التعريفية.

الكلمات الرئيسية : الراديو التعريفي، الطيف، الولوج الديناميكي، قواعد الالعب، مأزق السجين، لعبة الكيس التعاون، التنافس.

Table de matière

Liste des illustrations	3
Introduction générale	5
Chapitre 1 : Les réseaux de radio cognitive	8
1. Introduction.....	9
2. Réseau sans fil	9
2.1. Définition	9
2.2. Développement	9
2.3. Mode de transmission	10
2.4. Règlementation	11
3. Radio cognitive	11
3.1. Définition	12
3.2. Fonctionnement.....	12
3.3. Architecture.....	14
3.4. Cycle de cognition.....	15
3.5. Partage de spectre.....	17
3.6. Accès dynamique au spectre	18
3.6.1. Ventes aux enchères.....	19
3.6.2. Chaînes de Markov	19
3.6.3. Systèmes Multi Agents (SMA).....	20
3.6.4. Théorie de jeux	20
4. Conclusion	21
Chapitre 2 : La théorie des jeux	22
1. Introduction.....	23
2. Historique.....	23
3. Définition	23

4.	Le jeu stratégique	24
4.1.	Définition	24
4.2.	Les typologies	24
4.2.1.	Jeux coopératifs / compétitifs	24
4.2.2.	Jeux avec décisions simultanées / séquentielles	24
4.2.3.	Jeux à information parfaite/imparfaite.....	25
4.2.4.	Jeux à information complète/incomplète	25
4.3.	Présentation	26
4.3.1.	Forme extensive	26
4.3.2.	Forme normale (forme stratégique)	27
4.4.	Stratégie mixte	27
4.5.	L'équilibre.....	27
4.5.1.	Définition.....	27
4.5.2.	Type	28
4.6.	Les jeux répétés.....	31
4.6.1.	Définition.....	31
5.	L'application de la théorie des jeux dans les réseaux sans fil	33
5.1.	Dans les réseaux Ad Hoc	33
5.2.	Modélisation dans les réseaux sans fil	34
5.2.1.	Routage dans les réseaux Ad Hoc.....	34
5.3.	Dans les réseaux de radio cognitive	34
6.	Conclusion	35
Chapitre 3:Présentation et simulation des solutions proposées pour l'accès dynamique au spectre		37
1.	Introduction.....	38
2.	Solution proposée	39
2.1.	Coopération entre les PUs.....	39

2.2.	Compétition entre les SUs.....	40
3.	Outils et environnement.....	41
3.1.	Langage de programmation.....	41
3.2.	Environnement de développement.....	41
3.3.	Plateforme JADE	41
3.4.	L'API JFreeChart.....	42
4.	Implémentation des solutions proposées	42
4.1.	Topologie du réseau utilisé	42
4.2.	Algorithme proposé.....	44
4.3.	Organigramme.....	46
4.4.	Présentation de l'application	47
5.	Conclusion	50
	Conclusion générale	51
	Références bibliographiques	53

Liste des illustrations

Figure 1.1 :	Architecture de la radio cognitive	14
Figure 1.2 :	Cycle de cognition selon Mitola.....	15
Figure 1.3:	Réseau à radio cognitive opérant sur les bandes spectrales non licenciées [10].....	18
Tableau 1.1 :	la comparaison entre les différentes techniques d'accès au spectre	21
Figure 2.1 :	La forme extensive d'un jeu stratégique	26
Figure 2.2 :	forme normale de jeu stratégique	27
Tableau 2.2:	Jeu de prix entre <i>BMW</i> et <i>MERCEDES</i> (les gains sont en million d'euro).....	28
Tableau 2.3 :	Les utilités des joueur dans le jeu de l'urne(en €uro)	29
Tableau 2.4:	les peine de prison dans le dilemme du prisonniers (en année).....	32
Figure 2.3 :	Population avec différentes stratégies dans un environnement sans bruit .	35
Tableau 3.1 :	La forme stratégique de jeu entre les PUs (les valeurs sont €)	40
Tableau 3.2 :	Les utilités des joueurs de jeux de l'urne en euro	41

Figure 3.2 : Topologie de réseau utilisé.....	43
Figure 3.1 : La division de spectre dans le réseau de radio cognitive	43
Figure 3.3 : Organigramme de solution proposée.....	46
Figure 3.4 : Interface principale de l'application réalisée	47
Figure 3.4 : Interface graphique après le lancement de simulation	48
Figure 3.5 : Taux d'occupation de spectre en fonction du temps	49
Figure 3.6 : Evolution de taux d'occupation en fonction de seuil d'énergie de non coopération.....	49
Figure 3.7 : Utilités des deux SU pendant les dix premiers tours de jeu	50

Glossaire

PU: Utilisateur Primaire.

SU: Utilisateur Secondaire.

JADE : Java Agent DEvelopment framework.

RC : Radio Cognitive

SMA : Systèmes Multi Agents.

PDA : Assistant Digitale Personnelle

GSM : Global System for Mobile communication

SMS : Short Message System

GPRS : General Packet Radio Service

UMTS : Universal Mobile Telecommunication System

CDMA : Code Division Multi Access

FDMA : Frequency Division Multi Access

MIMO : Multi Instruction Multi Operation

FCC : Federal Communication Comission

RF : Radio Frequency

SDR : Software Definition Radio

QoS : Quality of Service

Introduction générale

Contexte

Les développements récents de la technologie (spécialement dans le domaine des circuits intégrés programmables et l'intelligence artificielle distribuée) ont créé une opportunité pour développer un nouveau type de périphérique intelligent, autonome et interactif. Ces périphériques peuvent alors être utilisés dans plusieurs types de domaines de réseau comme dans les réseaux de radio cognitive, par conséquent la taille de trafic a grandi de manière énorme, à cause d'utilisation des nouvelles applications disponibles, qui ont créé des problèmes de manque et de rareté du spectre. Cette augmentation d'utilisation de trafic a motivé les chercheurs vers l'accès dynamique et opportuniste au spectre radio inutilisé sous des bandes licenciées et non-licenciées.

Problématique

L'affectation statique de spectre radio est favorable pour éviter les collisions entre les différents utilisateurs, mais l'utilisation de spectre reste inefficace car nous trouvons que le spectre n'est pas exploité d'une manière continue, ceci est selon des heures et la position géographique.

les chercheurs ont trouvé une solution pour tolérer à ce problème, d'où la radio cognitive a vu le jour, en fait la radio cognitive est une solution technologique très récente qui permet d'optimiser l'utilisation de spectre, en partageant les espaces blancs (un espace blanc est une partie de spectre inutilisée) entre des utilisateurs secondaires (utilisateurs qui ne possèdent pas de licence sur le spectre) et des utilisateurs primaires de spectre (possédant une licence sur le spectre), ce partage nécessite un accès dynamique au spectre qui s'effectue à travers plusieurs techniques qui sont : les enchères, les chaînes de Markov, les systèmes multi agents (SMA) et la théorie des jeux.

Contribution

Notre travail a pour objectif d'utiliser la théorie des jeux pour l'accès dynamique au spectre dans les réseaux de radio cognitive, nous avons proposé des solutions basées sur

la coopération et la compétition entre les différents utilisateurs dans le contexte de la radio cognitive plus exactement, nous avons implémenté un jeu coopératif entre les utilisateurs primaires ainsi qu'un jeu compétitif entre les utilisateurs secondaires.

Notre solution a été implémentée avec JADE et elle a montré son intérêt dans le contexte de la radio cognitive afin de maximiser l'utilisation de spectre.

Organisation du rapport

Notre mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre est consacré à présenter les réseaux de radio cognitive, ses aspects et aussi à détailler les techniques d'accès au spectre. Le deuxième chapitre nous présentons la théorie des jeux, et les principaux aspects comme : la notion d'équilibre. Enfin notre application est détaillée dans le troisième chapitre.

Chapitre 1 : Les réseaux **de radio cognitive**

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter rapidement les réseaux sans fil en général ensuite nous détaillons les réseaux de radio cognitive (RC), nous donnons une idée claire sur la RC qui est supposée comme solution au problème de la restriction des fréquences dans les réseaux sans fil. Le spectre est une ressource précieuse qu'il faut bien l'exploiter, les bandes de fréquences vacantes (lorsque l'utilisateur primaire ne les utilise pas) sont exploitées par des utilisateurs secondaires (qui ne possèdent pas de licences sur les bandes de fréquences désirées). Donc les utilisateurs secondaires doivent d'abord partager le spectre avec l'utilisateur primaire et ensuite accéder à ce spectre en suivant des techniques d'accès au spectre

Pour bien comprendre et illustrer l'idée de l'accès dynamique au spectre nous allons présenter quelques travaux de recherche déjà réalisés dans la littérature qui se servent en particulier de la théorie des jeux pour l'accès dynamique au spectre.

2. Réseau sans fil

2.1. Définition

D'après son nom, nous appelons un réseau sans fil : toute possibilité de communications entre au moins deux terminaux (des ordinateurs, PDA, imprimantes sans fil), sans liaison physique (câbles coaxial, paire torsadée, fibre optique ...), ou chaque terminal doit posséder un dispositif (carte réseau, antenne) pour pouvoir accéder à ce réseau et échanger des données avec les autres terminaux. Ce réseau permet aux usagers de rester connectés tout en se déplaçant dans la zone de couverture, qui peut être plus ou moins étendue.

2.2. Développement

Les réseaux sans fil ont connu plusieurs générations à travers le temps. La première génération était les réseaux sans fil analogiques, lorsque le système réseau établit une connexion entre deux entités (dites considérables ou volumineuses), il attribue une fréquence à la communication qui ne pouvait être utilisée que par l'émetteur et le récepteur, nous pouvons dire que c'est une fréquence dédiée à cette communication, d'où il est impossible de réutiliser cette fréquence pendant les périodes de silence, d'où la deuxième génération numérique appelée GSM (Global System for Mobile

communication) apparue pour remplacer la première génération analogique, qui appelée aussi technologie circuit numérique, en cette génération le signal est changé vers signal numérique, le GSM fonctionne dans les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz et dont le débit est de 9.6 Kbit/s suffit pour transmettre la voix et une quantité limitée de donnée comme les SMS (Short Message Service) et le MMS (multimédia Message Service), les données sont numérisées et envoyées, alors il n'y a pas une notion de paquet, cette notion qui donne naissance à la technologies 2.5 G appelée GPRS (Global Paquet Radio Service) qui a été introduite à côté des circuits GSM la possibilité d'utiliser des tranches de temps afin d'envoyer des paquets de façon asynchrone. Le débit devient 5 fois plus grand en comparant avec le débit GSM d'où les développeurs pourraient faire un pas vers la navigation internet, mais sa reste une pseudo-navigation car le débit reste toujours limitée. UMTS qui est une spécification de la 3G la technologies attendue par les utilisateurs qui aiment surfer sur internet avec plus de liberté, cette technologie se base sur le CDMA (Code Division Multiple Access) l'apport le plus important par cette technologie est le débit qui peut atteindre jusqu'à 2Mb/s ce qui permet d'aller plus loin avec le mobile, par exemple : les application temps réel et la visiophonie ,et avec la 4G nous pouvons nous connectons n'importe ou et n'importe quand avec un débit plus considérable. Grâce à la méthode de modulation OFDMA et avec une nouvelle technologie d'antennes multiples qui est le MIMO que le Wi MAX mobile prétend satisfaire les besoins des utilisateurs mobiles et il peut être un bon concurrent à l'UMTS et constituer la technologie du futur pour une 4ème génération qui n'est pas encore complètement défini.

2.3. Mode de transmission

Dans le monde du sans fil ils existent deux modes de transmission :

2.3.1. Mode analogique

Ici les informations circulent dans le réseau sous format analogique, ce mode est dépassé à cause de ses limites (sensible aux bruit, la communication n'est pas fiable ...) et remplacé par le mode numérique qui semble plus fiable jusqu'à maintenant.

2.3.2. Mode numérique

Dans ce mode le signal est transmis sous format numérique ; suite des bits de valeur 1 et 0 générée suite à une technique appelée la modulation qui consiste à transformer le

signal à un format adapté lors de l'émission. Le signal va être démodulé lors de la réception pour qu'il soit compris par la machine réceptrice, nous pouvons citer un exemple très simple : le modem ADSL que son nom veut dire : modulateur/démodulateur, modulateur lors de l'émission des données et démodulateur lors de la réception.

2.4. Règlementation

le FCC [1] [2] alloue à chaque pays une plage de fréquences, à cause de la croissance des applications utilisant le sans fil (radio, opérateur, l'armée, la navigation) qui ne cessent pas d'augmenter, alors au niveau de chaque pays, l'autorité concernée doit gérer et diviser la plage des fréquences aux nombre de ces usagers désirant avoir l'autorité sur une fréquence ou bande de fréquences et délivre à chaque utilisateur une licence d'utilisation, cet usager est appelé utilisateur primaire de la fréquence (Primary User) , il possède tous les droits d'utilisation.

3. Radio cognitive

Nous ne pouvons pas parler de la radio cognitive sans passer par la radio logicielle qui a donné naissance à cette immense technologie : la radio cognitive.

La radio logicielle est une radio dans laquelle les fonctions typiques de l'interface radio généralement réalisées en matériel, telle 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 et le codage source de la voix de la vidéo ou des données [3].

La radio logicielle permet, idéalement, à des équipements de communiquer avec n'importe quel standard de radiocommunication par la seule modification du logiciel embarqué [4][5], et donc sans modification d'un quelconque élément matériel .Le domaine de la télécommunication est devenu parmi les domaines les plus évolués et qui se progresse d'une manière exponentiel, par conséquent le nombre de standard normalisés ne cesse pas d'augmenter et avec le règlement de la FCC qui rend l'acquisition d'une bande de fréquences presque impossible, car les pluparts sont déjà allouées, par conséquent ce développement se frein et devient plus possible malgré que l'utilisation des fréquences n'est pas uniforme, sa se varie selon des heures bien précises

de la journée et selon la situation géographique, par exemple les heures de pointe le spectre est occupé et pendant la nuit il est presque libre. Ce qui nécessite une gestion plus efficace pour utiliser le spectre.

La radio cognitive a pour objectifs d'optimiser l'utilisation de spectre et aussi permet aux utilisateurs qui ne possèdent pas une licence d'utilisation de spectre dits utilisateurs secondaires (SU) de trouver une solution pour faire fonctionner leurs applications, en détectant les fréquences blanches ou vacantes et les partager avec leurs utilisateurs primaires sans causer d'interférences, et permet aussi aux utilisateurs qui possèdent une licence sur le spectre (PU) d'avoir un gain lorsque le spectre est vacant ou inutilisé.

3.1. Définition

La radio cognitive est une forme de communication sans fil connue sous la norme IEEE 802.22, dans laquelle un utilisateur peut détecter intelligemment les canaux de communication (soit utilisés ou vacants), et de déplacer instantanément vers des canaux vacants. Cela permet d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles radiofréquence tout en minimisant les interférences avec d'autres utilisateurs [6].

3.2. Fonctionnement

Les fonctions qui suivent sont les fonctions principales et indispensables pour le fonctionnement correct de la radio cognitive.

3.2.1. Détection de spectre

Cette phase a pour objectif la détection de l'état de spectre soit libre ou utilisé, afin de le partager avec son utilisateur primaire tout en évitant toutes interférences, Le défi réside dans le fait de mesurer l'interférence au niveau du récepteur primaire causée par les transmissions d'utilisateurs secondaires [7].

3.2.2. Gestion de spectre

Après avoir l'ensemble des canaux candidats d'être sélectionnés dans la phase précédente la radio cognitive doit choisir le meilleur spectre qui répond mieux aux exigences de l'application et qui assure mieux la qualité de service, pour faciliter cette tâche, deux classes de fonctions sont mises en place :

- **Analyse de spectre**

Dans cette phase la radio cognitive affecte à chaque canal détecté dans la phase de détection de spectre un coefficient de qualité, qui est calculé depuis des informations sur le canal comme le rapport signal/bruit, le déficit qui se lève ici c'est que ces informations ne sont pas certaines ils peuvent être bruyantes ou imprécises ce qui fait appelle aux solutions de l'intelligence artificielle, l'une de ses solutions est les algorithmes d'apprentissage qui facilitent cette tâche.

- **Modèle de décision**

L'accès au spectre doit suivre un modèle de décision, et c'est les paramètres pris en considération lors de la phase de l'analyse de spectre qui définissent la complexité du modèle de décision, et ce dernier peut être plus complexe si l'utilisateur opportuniste (secondaire) à plusieurs objectifs à atteindre par exemple : un utilisateur secondaire peut avoir un objectif de garder le spectre dans une durée bien précise et en même temps ne pas causer des interférences au utilisateur primaire, l'un des outils intéressants à la décision et à l'accès au spectre que nous allons le voir plus tard c'est les méthodes d'optimisation stochastiques (les processus de décision de Markov).

- **Compétition / coopération dans un environnement a plusieurs utilisateurs**

Lorsque plusieurs utilisateurs (soit primaire ou secondaire) sont dans le système, leurs préférences vont influencer sur la décision d'accès au spectre. Dans une telle situation les utilisateurs peuvent se classés en deux groupes: coopératifs ou non coopératifs dans l'accès au spectre.

Dans un environnement non-coopératif, chaque utilisateur est rationnel, il cherche à atteindre son propre objectif sans tenir compte aux autres utilisateurs qui se trouvent dans son environnement, tandis que dans un environnement coopératif, tous les utilisateurs peuvent collaborer pour atteindre un seul objectif. Par exemple, plusieurs utilisateurs secondaires peuvent coopérer les uns avec les autres pour accéder au spectre radio.

- **Mise en œuvre distribuée du contrôle d'accès au spectre**

Dans un environnement multi utilisateurs distribué, pour un accès non-coopératif au spectre, chaque utilisateur peut parvenir à une décision optimale de façon indépendante en observant le comportement (historique / action) des autres utilisateurs du système.

Par conséquent, un algorithme distribué est nécessaire pour un utilisateur secondaire pour prendre la décision sur l'accès au spectre de manière autonome.

3.2.3. Mobilité de spectre

C'est lorsque un utilisateur secondaire change la fréquence sur laquelle il travaille, vers une autre fréquence meilleure, les réseaux de radio cognitive tentent d'utiliser dynamiquement le spectre en permettant aux utilisateurs de bénéficier de la meilleure bande de fréquences disponible, au cours de changements vers la fréquence meilleure, les exigences de communication transparentes doivent être assurées, l'objectif de la mobilité spectrale est d'assurer une transition fluide et rapide lors du changement de fréquence.

3.3. Architecture

La figure 1.1 présente les différents composants de la radio cognitive

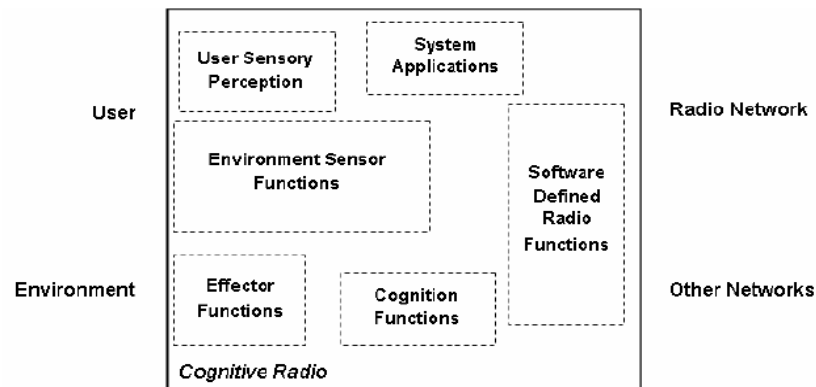


Figure 1.1 : Architecture de la radio cognitive

Il y a six composantes fonctionnelles de l'architecture [8] dans la radio cognitive sont :

- La perception sensorielle (Sensory Perception : SP) 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, etc.)
- Les applications système (les services médias indépendants comme un jeu en réseau).
- Les fonctions SDR (qui incluent la détection RF et les applications radio de la SDR).
- Les fonctions de la cognition (pour les systèmes de contrôle, de planification, d'apprentissage).
- Les fonctions locales effectrices (synthèse de la parole, du texte, des graphiques et des affiches multimédias).

3.4. Cycle de cognition

Ce cycle synthétise la composante cognitive de l'architecture de la radio cognitive qui comprend une organisation temporelle, des flux d'inférences et des états de contrôle de manière évidente. Les stimuli entrent dans la radio cognitive comme des interruptions sensorielles envoyées sur le cycle de la cognition pour une réponse [9]. Une telle radio cognitive observe l'environnement, s'oriente, crée des plans, décide, et puis agit.

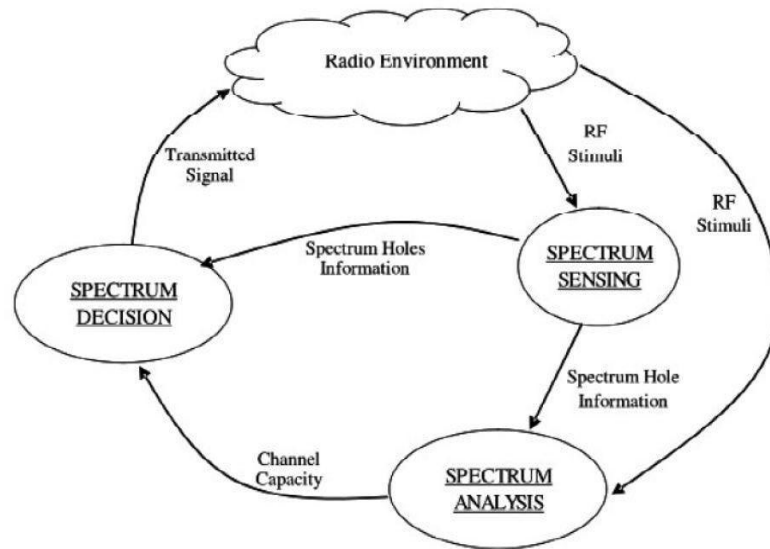


Figure 1.2 : Cycle de cognition selon Mitola

3.4.1. Phase d'observation (détecter et percevoir)

Ici la radio cognitive associe quelques paramètres : l'emplacement, la température, le niveau de lumière des capteurs, et ainsi de suite pour en déduire le contexte de communication. La radio cognitive discerne les modèles en liant les stimuli avec des expériences antérieures. La radio cognitive rassemble les expériences en se souvenant de tous.

3.4.2. Phase d'orientation

La phase d'orientation détermine l'importance d'une observation en liant à celle-ci une série connue de stimuli. Le milieu naturel fournit la redondance nécessaire pour lancer le transfert de la STM à la mémoire à long terme (LTM). Dans la CRA, le transfert de la STM à LTM est fait par le cycle du sommeil dans lequel le contenu de la STM depuis le dernier cycle de sommeil est analysé. La correspondance entre les stimuli courants et les expériences stockées se fait par reconnaissance des stimuli ou par reliure.

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

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

Une perte de signal sur un réseau peut invoquer une réaffectation de ressources. Cela peut être accompli via la voie marquée «urgentes» dans la figure.

La liaison se produit quand il y a une correspondance exacte entre une série de stimuli courants et une expérience antérieure et des critères très généraux d'application de l'expérience antérieure à la situation actuelle sont respectés. Les liaisons déterminent aussi les priorités associées aux stimuli.

3.4.3. Phase de planification

La plupart des stimuli sont traités avec délibérative plutôt qu'avec réactivité. Un message entrant du réseau serait normalement traité par la génération d'un plan (dans la phase de plan, la voie normale). Dans la recherche de qualité et de solidité industrielle des radios cognitives, les modèles formels de la causalité seraient intégrés dans les outils de planification. 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. Des outils de planification permettent la synthèse de radiofréquences et des comportements d'accès à l'information dans le but d'atteindre un objectif basé sur les perceptions, les règles d'architectures radio, et les préférences de l'utilisateur appris auparavant.

3.4.4. Phase de l'action

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

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

Les actions sur les états internes comprennent le contrôle de ressources telles que les canaux radio.

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

3.4.5. 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.

3.5. Partage de spectre

Dans les réseaux de radio cognitive un défi majeur est élevé qui concerne le partage des bandes spectrales entre différents réseaux radio cognitive ou au sein d'un même réseau radio cognitive, selon [10] le partage des bandes spectrales est considéré comme un problème qui ressemble au problème d'accès au médium dans les réseaux sans fil classiques. La coexistence de différents types d'utilisateurs (PU et SU), la disponibilité de large bande spectrale rendent le partage des bandes spectrales un peu particulier.

3.5.1. Définition

Le partage des bandes spectrales dans les réseaux de radio cognitive est le fait que l'utilisateur secondaire (SU) utilise les bandes de fréquences non utilisées par leur utilisateur primaire (PU).

3.5.2. Classification des techniques de partage de spectre

Les techniques de partage spectral fournissent par [10] en se basant sur les critères suivants : l'architecture des réseaux, le comportement des SU vis-à-vis l'accès spectral et les techniques d'accès aux bandes spectrales.

Nous commençons par la première classification de technique de partage spectral qui est basée sur l'architecture de réseau :

- **Partage spectral dans une architecture centralisée**

Dans cette technique l'allocation et les procédures d'accès aux bandes spectrales sont contrôlées par le serveur spectral, au niveau de chaque utilisateur secondaire (SU), un modèle de détection spectral distribué est implémenté. Les informations obtenues sur les bandes spectrales sont envoyées au serveur spectral pour qu'il les exploite et construire la table d'allocation spectrale.

- **Partage spectral dans une architecture distribuée**

La solution distribuée est proposée pour tolérer au problème de l'impossibilité d'établir une infrastructure centralisée, en se basant sur la détection spectrale individuelle chaque utilisateur secondaire(SU) décide les bandes spectrales qu'il les utilise.

- **Le partage spectral au sein d'un réseau radio cognitive**

Le partage de spectre peut s'effectuer dans le même réseau de radio cognitive ou entre deux ou plusieurs réseaux de radio cognitive.

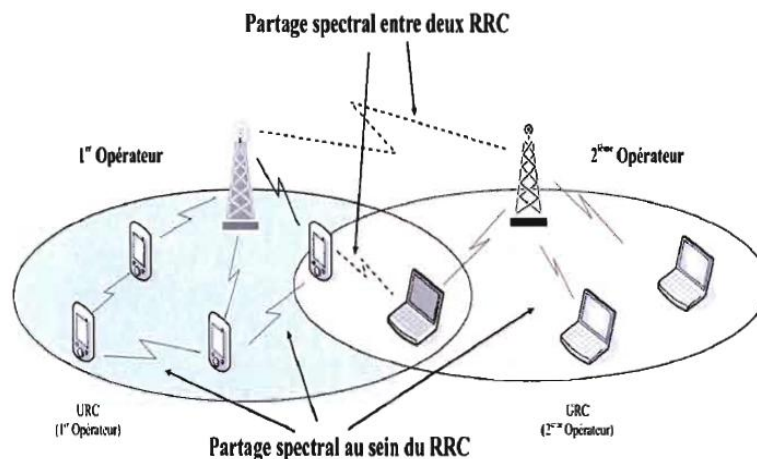


Figure 1.3: Réseau à radio cognitive opérant sur les bandes spectrales non licenciées [10]

3.6. Accès dynamique au spectre

Les besoins de télécommunication augmentent l'usage des ressources radio ce qui entraîne une rareté de ces derniers, alors que des bandes sont non exploitées par leur utilisateurs primaires (PUs). La radio cognitive permet l'accès aux utilisateurs secondaires à ces bandes de fréquences dites vacantes d'une manière opportuniste afin

de profiter des espaces blancs dans le spectre et rendre l'usage de ce dernier plus efficace. Dans la section qui suit nous allons présenter quelques approches d'accès au spectre accompagnées par des travaux réalisés pour chacune, nous allons détailler la partie qui concerne la théorie des jeux pour l'accès dynamique au spectre dans les réseaux de radio cognitive. Car cette technique qui nous intéresse le plus dans ce PFE.

3.6.1. Ventas aux enchères

L'enchère est la vente des biens à un ou plusieurs acheteurs qui offrent un prix maximum pendant une durée de temps déterminée par le vendeur, ce concept est appliqué à la radio cognitive afin de permettre aux utilisateurs secondaires d'accéder au spectre après des négociations avec l'utilisateur primaire à base des enchères en termes de prix et de temps d'utilisation.

Les enchères maximisent le gain aux utilisateurs primaires du canal car le canal sera affecté au utilisateur qui offre le meilleur prix, les auteurs de [11] ont modélisé l'accès dynamique au spectre sur la base des enchères dans les réseaux de radio cognitive, en proposant l'algorithme QL-BA (Q learning based auction) qui consiste à ce que les utilisateurs secondaire (SUs) sont autorisés à faire simultanément et indépendamment des appels d'offre sur les ressources, prenant en considération leurs états courants, l'environnement en expérience, une estimation sur le futur profit. Pendant ce temps l'utilisateur primaire (PU) construit un vecteur des prix reçus pour éviter la collision avec les appels d'offre et assurer son profit personnelle, les résultats de simulation ont confirmé que l'algorithme peut améliorer effectivement les enchères.

3.6.2. Chaînes de Markov

Les chaînes de Markov ont la capacité de modéliser les interactions entre les utilisateurs primaires et les utilisateurs secondaires [12]. Un principe est proposé dans [13] : chaque utilisateur secondaire, au lieu d'échanger des messages de contrôle avec les utilisateurs voisins, ils sélectionnent aléatoirement sa propre chaîne.

Lors de notre recherche nous avons trouvé peu de travaux effectués avec les chaînes de Markov par exemple : selon les auteurs [14] le problème d'accès opportuniste au spectre peut être modéliser comme une chaîne de Markov à temps continue, ils ont proposé deux modèles pour l'accès au spectre : un modèle avec file d'attente et l'autre sans file d'attente , ces modèles permettent de prédire le comportement d'accès au spectre.

3.6.3. Systèmes Multi Agents (SMA)

Les SMAs est l'une des meilleures solutions pour la bonne gestion des bandes de fréquences radio. Lors d'utilisation des bandes sans licence, la coordination et la coopération du terminal RC sont indispensables non seulement pour un usage meilleur du spectre mais aussi pour éviter toutes interférences.

Dans les travaux proposés dans [15][16], des agents sont déployés sur tous les terminaux RC soit utilisateurs primaires PU ou utilisateurs secondaires SU qui sont en coopération entre eux. Un SMA coopératif, veut dire qu'il y a un échange des t-uples de message entre les agents PU dans le but de s'améliorer eux-mêmes ainsi que le voisinage des agents SU, les facteurs nécessaires pour la décision des SUs sont : le temps, le prix et la quantité du spectre disponible proposés par les agents PUs, lorsque le SU trouve l'offre qui convient mieux à ses besoins il commence immédiatement le partage du spectre. Les réseaux RC peuvent coexister dans le même endroit par conséquent des interférences sont générées, ce qui lève un grand défi pour les chercheurs qui est : comment les éviter ? Les auteurs de [17] proposent des schémas pour protéger les PUs des interférences tout en contrôlant la puissance de transmission du terminal RC.

Ce qui donne un point fort pour la solution des SMA, est que nous pouvons simuler le comportement des agents via des plateformes de simulation comme le cas de notre projet, nous avons simulé le comportement des agents avec la plateforme JADE (Java Agent DEveloppement).

3.6.4. Théorie de jeux

La théorie des jeux a connu un essor considérable dans les recherches scientifiques dans la dernière décennie, grâce à son efficacité et son exactitude dans la modélisation des comportements des individus, et la prévision des résultats en fonction des conditions initiales et des décisions prises.

Comme nous allons voir dans le second chapitre, les jeux peuvent être classés selon le comportement et les informations des joueurs, le premier typage est selon la coopération ou la non-coopération des joueurs.

Les auteurs de [18] ont utilisé un jeu en forme normale en répondant aux cinq questions posées ou chaque application de théorie des jeux dans la radio cognitive doit répondre, les questions sont : l'existence d'un état stable, identification de cet état

stable, optimisation de l'état stable, la convergence et la stabilité, pour répondre aux questions les auteurs ont adopté une approche de base pour analyser plusieurs algorithmes de couche physique dans la radio cognitive. En utilisant les modèle de jeu les auteurs ont réussie facilement à identifier quand est-ce que un algorithme de radio cognitive arrivera à un état stable, déterminer les types d'adaptation qui assurent la convergence et établir les régions de stabilité. À travers la simulation sur différents algorithmes (l'évite des interférences par la sélection adaptative des fréquences, OFDM channel filling et control de distribution d'énergie) les auteurs ont vérifié les résultats de cette théorie. Nous allons présenter plus de détails concernant cette approche dans le chapitre 2.

4. Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté la radio cognitive qui est une technologie très récente et importante, ainsi que ses principes, en passant par une description de la radio logicielle, du partage et de l'accès dynamique au spectre selon plusieurs techniques. Nous avons présenté aussi la partie accès dynamique au spectre dans la radio cognitive qui fait l'axe de notre recherche considéré comme un défi pour pas mal de chercheurs, nous avons mentionné plusieurs techniques d'accès au spectre qui sont les systèmes multi agents, les chaines de Markov, les enchères et la théorie des jeux que nous allons la détailler dans le chapitre suivant. Nous allons donner une illustration de la théorie des jeux avec l'analyse d'un article scientifique qui fait une étude comparative entre différents algorithmes de la couche physique dans la radio cognitive à l'aide de la théorie des jeux qui a prouvé son efficacité. Nous pouvons finaliser ce chapitre avec une comparaison entre les différentes techniques d'accès au spectre illustré dans le tableau 1.1

	Interaction	Coopération	compétition	Prédiction
SMA	oui	oui	oui	Non
Théorie des jeux	non	oui	oui	Non
Les enchères	non	non	oui	Non
Chaines de Markov	non	non	non	Oui

Tableau 1.1 : la comparaison entre les différentes techniques d'accès au spectre

Chapitre 2 : La théorie **des jeux**

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter la théorie des jeux dont nous commençons par la présentée dans le cadre général, c'est-à-dire dans le domaine de l'économie qui est le domaine de base de cette technique, nous donnerons une claire et simple définition de cette dernière, la définition d'un jeux stratégique, les types des jeux existants, une brève définition de l'équilibre dans un jeux stratégique qui est une approche très importante, car c'est l'état où chaque joueurs ne souhaite pas changer sa stratégie, et finalement la présentation du dilemme de prisonnier : qui est un dilemme à deux joueurs (prisonniers) où la peine de chaque un d'eux dépend non seulement de sa décision mais aussi de la décision de l'autre nous allons voir plus de détails.

Par la suite nous allons voir l'intégration de la théorie des jeux dans le domaine des réseaux sans fil généralement et dans la radio cognitive spécialement, nous allons essayer d'étudier quelques travaux déjà réalisés dans le cadre de la théorie des jeux dans les réseaux sans fil et aussi dans la radio cognitive.

2. Historique

En 1654, Antoine GOMBAULD, posa une énigme à Blaise PASCAL «comment répartir entre deux joueurs l'enjeu d'un jeu de hasard, lorsque celui-ci est inachevé et qu'un des joueurs a l'avantage sur l'autre. ».

En 1912, E. ZERMELO démontre le premier théorème mathématique de la théorie des jeux: la décidabilité du jeu d'échecs. Le théorème justifie « l'introduction du concept mathématique de jeu à deux joueurs de somme nulle ». Emile BOREL contribuera également à la théorie des jeux entre 1921 et 1927 : application du concept de jeu aux sciences sociales et en donne une approche mathématique [19].

3. Définition

La théorie des jeux est un outil d'analyse des comportements humains qui a connu un essor considérable depuis la parution de l'ouvrage de Von Neumann et Morgenstern « The Theory of Games and Economic Behavior » en 1944.

Et elle peut être aussi définie comme une approche mathématique, qui se compose des modèles et techniques utilisées pour analyser le comportement décisif des

individus rationnels, en général les jeux peuvent être classés en deux types : jeux coopératifs et jeux compétitifs [20].

4. Le jeu stratégique

4.1. Définition

Le jeu stratégiques est l'ensemble des règles qui encadre le comportement des joueurs et qui détermine le gain des joueurs sur la base des actions entreprises selon cette terminologie, un jeu stratégique suppose une définition claire des règles de comportements des joueurs [21].

4.2. Les typologies

Les jeux stratégiques peuvent être typés selon quelques critères comme le comportement, l'information du jeu et la décision.

4.2.1. Jeux coopératifs / compétitifs

Les jeux sont typés selon le comportement du joueur par rapport aux autre joueurs, pour un joueur soit il est en coopération/compétition avec les autres joueurs.

- **Jeux coopératifs**

Un jeu est coopératif lorsque des joueurs peuvent passer entre eux des accords qui les lient de manière contraignante (par exemple, sous la forme d'un contrat qui prévoit une sanction légale dans le cas du non respect de l'accord). On dit alors qu'ils forment une coalition dont les membres agissent de concert.

- **Jeux compétitifs**

Par définition, dans un jeu compétitif nous spécifions toutes les options stratégiques offertes aux joueurs, alors que les contrats qui sous-tendent les coalitions dans un jeu coopératif ne sont pas décrits. Chaque joueur cherche à avoir ses biens sans tenir compte aux autres joueurs.

4.2.2. Jeux avec décisions simultanées / séquentielles

Les jeux sont typés selon l'ordre de décision des joueurs, les décisions des joueurs sont prises soit simultanées ou séquentielles.

- **Jeux avec décisions simultanées**

Dans ce type de jeux, les joueurs prennent leur décisions simultanément, sans connaître la décision des autres joueurs, nous pouvons citer quelque exemple : Dilemme des prisonniers, pierre-feuille-ciseau.

- **Jeux avec décisions séquentielles**

Ici les décisions des joueurs se font séquentiellement (ne se font pas en même temps), autrement dit les décisions des joueurs sont prises avec un décalage temporel.

La décision du joueur est influencée par les décisions déjà prises des autres joueurs, quelques exemples des jeux à décision séquentielle, le plus populaire c'est : le jeu d'échec.

4.2.3. Jeux à information parfaite/imparfaite

Dans ce typage les jeux sont typés selon l'information sur les autres joueurs, autrement dit c'est ce que le joueur connaît au moment où il prend sa décision.

Jeux à information parfaite est un jeu où les actions effectuées auparavant par les joueurs influent sur la décision du joueur désirant prendre une décision, car le joueur possède des informations sur les actions déjà effectuées par les autres joueurs et il faut que les décisions des joueurs se font séquentiellement, hors que dans le jeu à information imparfaite le joueur ne possède pas toutes les informations sur les autres joueurs ou bien au moins deux décisions sont déjà effectuées simultanément, ce qui rend la décision plus délicate que dans le jeu à information parfaite.

4.2.4. Jeux à information complète/incomplète

Ce typage se base sur l'information des joueurs par rapport aux autres joueurs.

- **Jeux à information complète**

Tous les éléments de jeu sont une connaissance commune entre les joueurs, plus précisément chaque joueur connaît l'ensemble des comportements possibles pour tous les autres joueurs et il connaît tous les paiements.

- **Jeux à information incomplète**

C'est un jeu où chaque joueur ne connaît pas tous les comportements des autres joueurs.

4.3. Présentation

Afin de rendre le jeu stratégique plus simple et plus lisible, des techniques de présentation sont mises en place, les types de forme de présentation sont :

4.3.1. Forme extensive

Dans cette forme le jeu est représenté sous forme d'un arbre où les joueurs sont représentés par les nœuds de l'arbre, les décisions de joueurs sont les arcs descendus du nœud qui présente le joueur, la racine de l'arbre représente le joueur qui initialise le jeu (le premier joueur qui commence), les feuilles de l'arbre représentent le gain de chaque joueur représentés sous format de vecteur qui a comme dimension le nombre des joueurs participants dans le jeu.

La figure 2.1 qui suit illustre et montre bien clairement la notion de forme extensive du jeu stratégique, le joueur 1 a deux choix de décision le choix 1 et le choix 2, le joueur 2 a aussi également deux choix choix1 et choix2, le joueur 1 est celui qui joue le premier et le joueur 2 c'est le deuxième qui joue, si le joueur 1 décide de prendre le choix 1 comme décision alors la récompense est de x_1 , et s'il décide choix2 alors la récompense est de x_2 , pour le joueur 2 si son choix est choix1 il aura y_1 comme récompense et s'il choisit choix2 la récompense est de y_2 , si le joueur 1 choisit choix1 et le joueur 2 choisit choix 1 la récompense des deux joueurs est $x_1 y_1$ respectivement ce qui est montré dans la feuille gauche de l'arbre.

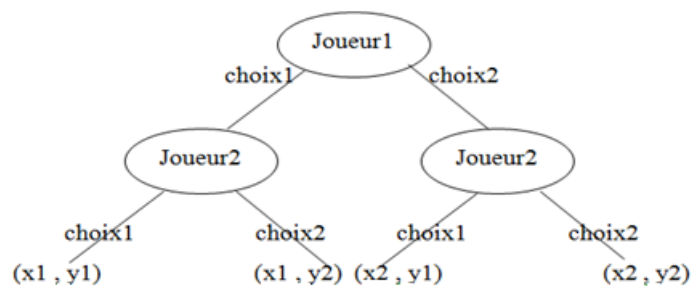


Figure 2.1 : La forme extensive d'un jeu stratégique

4.3.2. Forme normale (forme stratégique)

Cette représentation de jeu est spéciale aux jeux à deux joueurs, elle consiste à représenter le jeu avec une matrice où les lignes et les colonnes représentent les gains des combinaisons de stratégies des deux joueurs, nous allons reprendre l'exemple précédant, sa représentation sous forme normale est comme suit :

		Joueur2	
		Choix1	Choix2
Joueur1	Choix1	(x1,y1)	(x2,y1)
	Choix2	(x1,y2)	(x2,y2)

Figure 2.2 : forme normale de jeu stratégique

4.4. Stratégie mixte

Dans la théorie des jeux un joueur est dit d'utiliser une stratégie mixte chaque fois qu'il choisit de façon aléatoire sur l'ensemble des actions possible. Formellement, une stratégie mixte est une probabilité de distribution qui associe à chaque action disponible une probabilité d'être sélectionné.

Un profil de stratégie mixte est une liste de stratégies, l'une pour chaque joueur dans le jeu. Un profil de stratégie mixte induit une distribution de probabilité sur les résultats possibles de la partie. Un équilibre de Nash (en stratégies mixtes) est un profil de stratégies avec la propriété qu'aucun joueur unique peut, en déviant unilatéralement à une autre stratégie, induire une probabilité qu'il trouve strictement préférable [22].

4.5. L'équilibre

L'équilibre de jeux est un élément de base dans la théorie des jeux, car c'est le point fort qui conduit à stabiliser le jeu stratégique en satisfaisant tous les joueurs de point de vu utilité.

4.5.1. Définition

Un état ou situation où aucun joueur ne souhaite modifier son comportement compte tenu des comportements des autres joueurs de façon plus précise, l'équilibre est une

combinaison de stratégies compte tenu des stratégies des autres joueurs. Une fois que l'équilibre est atteint dans un jeu il n'y a aucune raison de le quitter.

4.5.2. Type

Ils existent plusieurs techniques qui mènent un jeu stratégique à un état d'équilibre, les techniques d'équilibre sont :

- **L'équilibre de NASH**

Pour bien comprendre ce type d'équilibre, il sera mieux d'illustrer des exemples simples: soit deux firmes de production des voitures : BMW et Mercedes, ces deux producteurs concurrents font un jeu compétitif pour maximiser le gain en tenant compte de comportements de l'autre :

Exemple1 : jeux des firmes

		BMW	
		PRIX BAS	PRIX ELEVE
MERCEDES	PRIX BAS	300,300	700,100
	PRIX ELEVE	100,700	500,500

Tableau 2.2: Jeu de prix entre BMW et MERCEDES (les gains sont en million d'euro)

Les deux firmes MERCEDES et BMW veulent maximiser leurs gains par l'augmentation de leurs taux des ventes et pour cela avant de prendre une décision sur le prix de vente chaque firme doit consulter le prix de vente de l'autre firme. Le tableau 2.2 montre le bénéfice de chaque firme selon son choix d'augmenter ou de baisser le prix et selon le choix de l'autre firme.

Expliquant le tableau plus clairement, si les deux firmes baissent leurs prix alors chaque une d'elles reçoit un gain de 300 millions d'euros, si l'une des deux lève son prix et l'autre le baisse alors la première reçoit 100 million d'euros tandis que la deuxième reçoit 700 millions d'euros, enfin si les deux lèvent le prix chaque firme se bénéficie de 500 million d'euros, à remarquer que plus le prix est bas plus le taux de ventes s'accroît et plus le gain augmente.

Sachant que ce jeu est compétitif, les deux firmes doivent choisir la bonne stratégie pour augmenter les gains et minimiser les dégâts.

Selon le tableau pour la firme *BMW*, quand *MERCEDES* baisse le prix, alors la meilleur stratégie pour *BMW* est de baisser le prix aussi car elle obtient 300 million d'euros au lieu de 100 million d'euro en levant le prix, et si Mercedes lève le prix, le meilleur stratégie pour *BMW* est de baisser le prix car elle obtient 700 million d'euro au lieu de 500 million en levant le prix, même chose pour la firme *MERCEDES*, si *BMW* baisse le prix alors la meilleur stratégie pour *MERCEDES* est de basse le prix car elle obtient 300 million d'euros au lieu de 100 million d'euros en levant le prix, et si *BMW* lève le prix la meilleur stratégie pour *MERCEDES* est de baisser le prix car elle obtient 700 million d'euros au lieu de 500 million d'euros en levant le prix.

Les deux firmes doivent baissent le prix pour maximiser leurs gains, la combinaison de stratégie (baisse le prix, baisse le prix) est meilleur que les autres combinaisons « (baisse le prix, lever le prix), (lever le prix, baisse le prix), (lever le prix, lever le prix) », arrivant à cette situation stable, aucune des deux firme ne souhaitent changer sa stratégie, alors c'est ce que nous appelons l'équilibre de Nash de ce jeu.

Exemple2 : le jeu de l'urne.

Ce jeu est à deux joueurs ou chaque joueur a la possibilité de participer au jeu avec deux somme d'argent qui sont : soit 0 € ou bien 20 € et la mise dans une urne, la fonction d'utilité (U_i) de joueur i est calculer comme suit :

Somme (urne) = [somme (joueur1) + somme (joueur2)]

Payoff(joueur_i) = [(Somme(urne) * 3/2)] / 2

U_i = somme (joueur_i) - Payoff(joueur_i)

Joueur2		Met 0 €	Met 20 €
Joueur1	Met 0 €	(0,0)	(15,-5)
	Met 20 €	(-5,15)	(10,10)

Tableau 2.3 : Les utilités des joueur dans le jeu de l'urne(en €uro)

Si le joueur1 attend que le joueur2 met 0 € alors son meilleur choix sera de mettre 0 € car si il met 20 euro il va perdre 5 € sinon il va rien perdre, et s'il attend que le joueur 2 de mettre 20€ son meilleur choix est de mettre 0 € car il va gagner 15 € au lieu de 10 €

s'il met 20 €. Même raisonnement pour le joueur2 alors ce jeu admet un équilibre de Nash dans le cas où la combinaison des stratégies est (met 0 €, met 0 €).

• L'équilibre à stratégie dominante

Comme c'est déjà expliqué l'équilibre de Nash est la définition d'une situation d'équilibre là où nous supposons que les joueurs ont initialement atteint une certaine configuration de choix stratégique. Tenons compte uniquement des déviations individuelles possibles de cette configuration dans laquelle chaque joueur a la possibilité de dévier.

À ce point, l'équilibre de Nash nous dit que rien ne pousse le joueur à changer sa stratégie étant donnée la configuration stratégique. Mais l'équilibre de Nash ne donne aucune information sur comment ou pourquoi une certaine configuration de choix est arrêtée initialement. Pour bien comprendre ce concept, nous allons faire référence à l'exemple précédent (*BMW* et *MERCEDES*), nous pouvons en effet remarquer que fixer un prix bas est le meilleur choix pour chaque firme, quel que soit le choix attendu de son rival.

Examinons la décision de *MERCEDES*. (*BMW* étant dans une situation symétrique, le même raisonnement s'applique sur cette firme). Si *MERCEDES* s'attend à ce que *BMW* fixe un prix élevé, sa meilleure réponse est de fixer un prix bas car il gagne 700 millions au lieu de 500 millions d'euro (gain de stratégie de prix élevé). D'autre part, si *MERCEDES* s'attend à ce que *BMW* fixe un prix bas, sa meilleure réponse est encore de fixer un prix bas. En ne choisissant pas un prix élevé, il évite ainsi de perdre de l'argent : son gain est de 300 au lieu de 100 millions d'euro. Clairement *MERCEDES* est toujours mieux en fixant un prix bas, quel que soit la stratégie attendue de *BMW*. Quand la stratégie est meilleure à toutes les stratégies possibles de ses rivaux, nous disons que c'est une **stratégie dominante** : cette stratégie domine toutes les autres stratégies des autres joueurs. Dans l'exemple précédent, les deux firmes ont une stratégie dominante qui consiste à fixer un prix bas. L'équilibre de ce jeu est alors appelé **équilibre en stratégie dominante** [23].

• L'équilibre corrélé

Est un équilibre spécial défini par Robert J. Aumann en 1974 qui a eu grâce à son introduction du concept de l'équilibre corrélé le prix Nobel [24] [25]. Différemment de l'équilibre de Nash où chaque joueur prend seulement en considération sa propre

stratégie, l'équilibre de corrélation garantit des meilleures performances par l'autorisation à chaque joueur tient compte à l'ensemble de comportement (action) des autres joueurs, autrement dit chaque joueur a besoin de prendre en considération le comportement des autres joueurs s'il existe un but mutuelle, l'idée est que le profil de stratégie est choisit aléatoirement selon certaines distributions. Le joueur est obligé de suivre la stratégie recommandée s'il veut réaliser le meilleur profit, il est prouvé que l'équilibre corrélé est meilleur que l'équilibre de Nash de point de vue profit de joueur. Si un joueur suit une action à chaque situation atteignable possible dans un jeu, la stratégie est appelée une stratégie pure.

La corrélation est une manière de randomiser plus générale que le mixage. Dans les deux cas, les joueurs basent leurs choix sur l'observation d'un événement aléatoire. Dans le cas de stratégie mixte, ces observations sont indépendantes, tandis que dans le cas de stratégies corrélées, elles peuvent ne pas l'être.

4.6. Les jeux répétés

Jusqu'à maintenant les jeux présentés auparavant ; nous les avons supposé qu'ils sont joués une seule fois, mais dans la réalité nous savons que les jeux peuvent se jouer plusieurs fois successivement ; par exemple les constructeur d'automobile allemands *BMW* et *MERCEDES* choisissent le prix et le style de leur véhicules puis se concurrencent sur le marché, sachant que les conditions de jeux s'améliorent au cours du temps nous pouvons le considérer comme la répétition de même jeu.

4.6.1. Définition

Les jeux répétés sont des jeux dans lesquelles un ensemble finit des joueurs se rencontrent de façon répétée, ou les gains de chaque période ne sont pas influés par les gains de les résultats des périodes précédents et aussi les conditions de jeu ne se changent pas.

- Dilemme du Prisonnier

Le dilemme de prisonnier est presque utilisé dans la plupart des manuelles de théorie des jeux qui introduisent les jeux répétés avec ce dilemme. L'histoire de ce jeu se déroule comme suit : La police arrête deux suspects et les place en garde à vue. La police est convaincue qu'ils ont commis un crime mais ne dispose pas de preuves suffisantes. Les policiers décident alors d'interroger les deux suspects séparément pour

obtenir des aveux. Chaque suspects se voit offrir deux choix possibles, soit il se tait, soit il dénonce son complice. Si les deux gardent le silence, ils ne peuvent être condamnés que pour un délit mineur comme le porte d'arme et ne resteront pas longtemps en prison. Si L'un dénonce et l'autre se tait, alors le premier est relâché et le seconde écope d'une longue peine de prison. En revanche si les deux se dénoncent, ils sont envoyés en prison mais la sentence est légèrement moins sévère que si un seul est dénoncé. Cette situation stratégique peut être décrite de manière plus formelle. Soit deux joueurs suspect1 et suspect2 .Chacun à deux stratégies possibles (dénoncer ou se taire). À chaque combinaison de choix sont associées une peine de prison pour suspect1 et une peine de prison pour suspect2 le tableau 2.4 donne les exemples de peines. En ligne nous avons le choix du suspects1 et en colonne celui du suspect2. Dans chacune des cases du tableau, la première peine de prison est celle du suspect1 et la seconde peine est celle du suspect2 par exemple si le suspect1 se dénonce et son complice se tait, le premier est relâché et le second est condamné à six ans de prison. Si les deux se dénoncent, ils sont condamnés à quatre ans de prison chacun. Si les deux de se taisent, ils resteront une année de prison.

Suspect1	Suspect2		
		Dénoncer	Se taire
	dénoncer	(4 ,4)	(0 ,6)
	Se taire	(6 ,0)	(1 ,1)

Tableau 2.4: les peine de prison dans le dilemme du prisonniers (en année)

Chaque suspect cherche à maximiser sa fonction d'utilité qui est une fonction décroissante de la durée passé en prison, le choix « dénoncer » est une stratégie dominante pour les deux suspects. Si le suspect1 s'attend à ce que son complice se taise, il est relâché s'il dénonce le suspect2 et il est condamné à un an s'il se tait, alors que si le suspect1 s'attend à ce que son complice dénonce sa meilleur réponse est de dénoncer car il est condamné a quatre ans contre six ans s'il se tait. Quelque soit le choix de son complice le suspect1 obtient une plus grande utilité en dénonçant son complice (même raisonnement pour le suspect2). Le seule équilibre de ce jeu est (dénoncer, dénoncer).

5. L'application de la théorie des jeux dans les réseaux sans fil

L'un des domaines d'application de cette théorie est le domaine de la technologie, nous allons présenter quelques travaux réalisés dans le domaine des réseaux sans fil qui se servent de la théorie des jeux pour rendre leurs réseaux plus efficaces ou bien résoudre un problème pertinents.

5.1. Dans les réseaux Ad Hoc

L'auteur de [26] a utilisé le dilemme de prisonnier comme solution dans les réseaux sans fil de type ad hoc, pour résoudre le problème de déviation des nœuds égoïstes qui refusent d'acheminer le paquet des autres nœuds afin de conserver l'énergie car le réseau étudié est un réseau où la mobilité des nœuds existe, alors que les nœuds marchent sous batterie ce qui rend l'énergie une ressource critique à préserver pour chaque nœud.

Les réseaux ad hoc mobiles (Manet) en général sont des réseaux sans fils sans infrastructure composés d'un ensemble de nœuds, l'acheminement devient plus compliqué que dans le cas des réseaux avec infrastructure où le serveur se charge d'acheminer des paquets.

Des solutions sont proposés pour tolérer ce problème tels que des protocoles d'acheminement optimaux qui consomment moins d'énergie comme DSR [27] et AODV [28] mais le besoin de coopération entre les nœuds pour assurer le bon fonctionnement de réseaux est en conflit avec l'intérêt individuel de chaque nœud visant à ne dépenser de l'énergie que pour les flux de trafic qui leurs sont destinés ou pour les quels ils sont d'origine. Dans ce travail pour stimuler la coopération entre les nœuds d'un réseau mobiles ad hoc l'auteur a utilisé le mécanisme à base de réputation nommé CORE qui est un protocole distribué exécuté sur chaque unité mobile. Ce mécanisme consiste à observer et analyser le trafic (acheminement des paquets) que le nœud a effectué en cas de sa coopération avec les nœuds voisins, si ce protocole détecte que le taux d'acheminement des paquets de nœud concerné est inférieur à un seuil fixé selon une politique de gestion, le nœud va suivre une punition qui est de le refuser graduellement les service de communication. Le mécanisme CORE est modélisé grâce à la théorie de jeux et l'application de dilemme de prisonnier.

Dans ce travail nous avons vue clairement l'efficacité de la théorie des jeux qui a pu résoudre le problème d'acheminement des paquets entre les nœuds, qui a été l'un des problèmes majeurs dans les réseaux Manet.

5.2. Modélisation dans les réseaux sans fil

L'auteur dans [29] ont introduit le modèle de jeux de routage des les réseaux de télécommunication, ils supposent une topologie d'un réseau partagée entre plusieurs nœuds (routeur, commutateur , station), pour chaque nœud ils ont défini un ensemble de liens acheminant du trafic au nœud v et un ensemble des liens sortant du trafic du nœud v , ils ont défini aussi pour chaque nœud v un chemin pour le trafic (envoi des paquets) comme étant une succession des liens d'origine a la destination.

Chaque nœud v peut partager sa demande de transmission non seulement sur plusieurs chemins différent partant d'origine jusqu'à la destination. Alors le coût de nœud v (le délai de transmission des paquets sur un lien l) dépend non seulement de sa stratégie mais aussi des stratégies des autres nœuds sur ce lien, cette dépendance entre nœuds se retrouve seulement à travers la somme de leur trafic sur ce lien.

5.2.1. Routage dans les réseaux Ad Hoc

Dans l'article [30] un problème d'acheminement des paquet dans les réseaux ad hoc est considéré, les auteurs ont proposé un protocole de routage qui à pour but d'émettre chaque paquet de chaque source par le chemin le plus court jusqu'à le destinataire, ils disent que dans les terminaux mobiles que se font les décisions de routage alors que les terminaux sont considérés comme des routeurs, les auteurs se servent de la théorie des jeux de routage pour arriver aux résultats, les résultats obtenus sont identiques à celles obtenues avec l'équilibre de Wardrop [31] cet équilibre considère les paquets comme des joueurs. L'équilibre de Wardrop est plus efficace que l'équilibre de Nash dans une telle situation car l'équilibre Wardrop suppose que la participation aux couts ou des retards par tout utilisateur individuel est nul.

5.3. Dans les réseaux de radio cognitive

La Radio Cognitive est un système de communication sans fil qui peut être conscient de l'environnement ou elle se trouve et ajuster ses paramètres radio pour s'adapter à la

variation de l'environnement. Ce domaine de recherche fait thématique pour pas mal de chercheurs l'un des travaux est le travail de [32] que nous allons l'analyser et l'étudier. Les auteurs de l'article ont réalisé une étude où ils ont considéré les terminaux radio cognitive comme des joueurs et ils ont modélisé le scénario de l'accès dynamique au spectre sous forme de jeux stratégiques, l'étude était comparative et plusieurs stratégies ont été utilisées comme ALWAYS DEFECT qui consiste à toujours trahir et peu importe la décision de l'autre, ALWAYS COOPERATE : toujours trahir sans donner de l'importance aux choix de l'autre, GRIM TRIGGER : ici le joueur coopère jusqu'à ce que son adversaire trahisse, son choix sera de trahir jusqu'à la fin de jeu, et TIT FOR TAT : le joueur qui décide de prendre cette stratégie coopère dans son premier choix et ensuite il prend le choix de son adversaire dans l'étape précédente jusqu'à la fin du jeu.

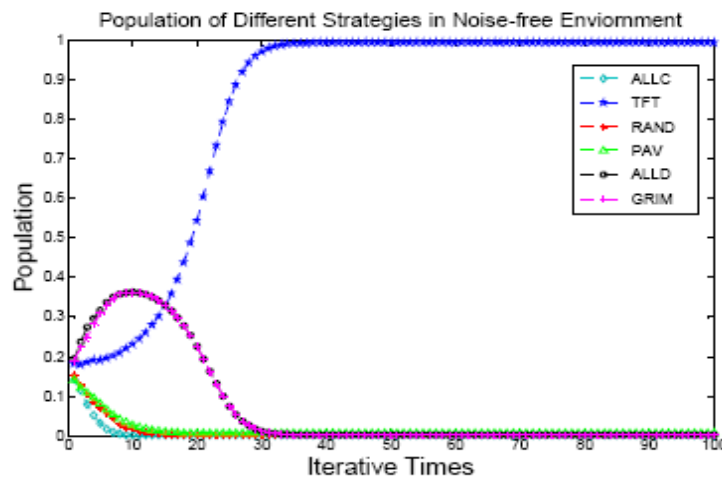


Figure 2.3 : Population avec différentes stratégies dans un environnement sans bruit

La figure montre que la meilleure est la stratégie TIT-FOR-TAT et la population dans le cas où il n'y a pas de bruit, malgré que GRIM semble plus efficace mais pas pour longtemps, dans cette étude les auteurs montrent par l'outil de simulation que même avec le bruit la meilleure stratégie est TIT-FOR-TAT, et ils ont prouvé que la RC s'approche de la compétition beaucoup plus que la coopération.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principales bases de la théorie des jeux ainsi que les fondements de base qui facilitent et rendent plus simple la compréhension de celle-ci.

La théorie des jeux est souvent utilisée dans pas mal de domaine tels que : la politique, la biologie, la sociologie, la technologie ... grâce a ses solutions, modèles formelles et les stratégies qui font le cadre d'étude du jeu et de comportement des joueurs, qui sont problèmes plus facile à résoudre.

Ensuite nous avons passé à un célèbre dilemme très utilisé pour résoudre plusieurs problèmes complexes qui est le dilemme du prisonnier, il se base sur une situation particulière ou les agents se comportent d'une façon rationnelle et aucun d'eux ne connaissent le comportement de l'autre, nous pouvons citer un cas concret comme la course vers l'armement ce qui est vécu aujourd'hui.

Nous avons aussi présenté un travail de recherche récent qui consiste à trouver une solution pour un problème qui n'a pas pu être résolu avec d'autre concepts, et grâce à la théorie de jeux généralement et au dilemme de prisonnier spécialement les auteurs de la recherche ont trouvé une solution pour palier a ce problème.

En s'inspirant des articles étudiés dans ce chapitre, nous allons proposer notre solution basée sur la théorie des jeux dans un contexte de réseaux de radio cognitive, ça sera l'objet de chapitre suivant.

Chapitre 3:Présentation
et simulation des solutions
proposées pour l'accès
dynamique au spectre

1. Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation de notre contribution dans le cadre de ce PFE.

En fait nous avons intégré deux aspects tirés de la théorie des jeux qui sont l'aspect coopératif et l'aspect compétitif.

Entre les PUs c'est la coopération avec la mise en place d'un jeu de type dilemme de prisonnier. Ce jeu est déclenché entre deux PUs avec la présence d'un agent coordinateur, lorsque un PU ne peut pas satisfaire la demande d'un SU il demande la coopération avec un autre PU qui le trouve à l'aide du coordinateur qui possède une vue globale sur réseau, le jeu se déclenche par la décision de coopérer ou pas entre les deux PUs.

Au niveau SUs c'est la compétition avec un jeu similaire au jeu de l'urne déjà présenté dans le chapitre précédent, ce jeu a besoin de deux SUs et un PU.

Pour chaque PU à chaque allocation de canaux, un compteur est incrémenté ce SU afin de calculer une valeur de fidélité de ce SU lié au PU, lorsque deux SUs atteignent un seuil de cinq points de fidélité, le PU demande aux deux SUs s'ils veulent jouer, si le PU reçoit l'accord des deux SUs il déclenche le jeu de l'urne entre les deux SUs et chaque SU a le droit de participer avec une somme de zéro ou vingt (le calcul des résultats est détaillé dans le chapitre 2) ensuite le PU envoie à chaque SU son utilité.

Ensuite nous allons passer à concrétiser notre solution avec une simulation sous une plateforme multi agent sous Java qui est JADE, tout en illustrant avec des courbes dessinées avec l'API JFreeChart. À la fin de ce chapitre une analyse des résultats obtenus est faite.

Comme c'est déjà expliqué dans le chapitre précédent l'accès dynamique au spectre peut se réaliser avec plusieurs techniques, qui sont la théorie des jeux, les chaînes de Markov, les enchères et les systèmes multi agents. Les chaînes de Markov se basent sur des probabilités et ne tiennent pas compte des comportements des agents construisant le système, la solution des enchères peut être vue comme un jeu compétitif puisque les joueurs sont rationnels en cherchant à avoir l'accès au spectre, alors qu'ils entrent en compétition entre eux pour avoir l'accès. La théorie des jeux semble la plus efficace technique pour l'accès dynamique au spectre puisque elle tient compte de l'aspect compétitif et coopératif mais elle ne permet pas les interactions entre les différents agents. Nous nous servons des systèmes multi agent pour voir et analyser le comportement des utilisateurs qui est la coopération entre les PUs et la compétition

entre les SUs, la coopération est réalisée entre deux PUs avec la présence d'un coordinateur, la compétition est faite avec deux SUs et un seul PU en intégrant à chaque entité un agent.

2. Solution proposée

Pour mettre en œuvre notre solution nous utilisons trois types d'agent :

« **Agent PU** » représentant des utilisateurs primaires, « **Agent SU** » représentant des utilisateurs secondaires et un « **Agent Coordinateur** » pour la coordination entre les PUs.

La solution proposée est présentée en deux étapes :

2.1. Coopération entre les PUs

Notre proposition consiste à réaliser une coopération entre les utilisateurs primaires lorsqu'ils ne peuvent pas satisfaire la demande des utilisateurs secondaires avec lesquelles ils partagent le spectre et qui désirent y accéder, par revanche lorsqu'un utilisateur primaire coopère avec un autre utilisateur primaire il perd l'énergie qui est une ressource précieuse et il partage le gain obtenu à moitié. Dans ce projet nous avons supposé que l'énergie a une valeur et nous supposons que les utilisateurs primaires coopèrent lorsque l'énergie est supérieure à un seuil déterminé.

Le coordinateur est un agent qui a une vue globale sur tout le réseau, il possède un annuaire où il enregistre les PUs présents dans le réseau ainsi le nombre de canaux disponibles dans chaque PU. Lorsque le PU ne peut pas satisfaire la demande d'allocation de ressources d'un SU il contacte le coordinateur qui cherche un PU dans son annuaire, si le coordinateur trouve un PU satisfaisant la demande alors il répond le PU qui l'a contacté par l'identifiant du PU trouvé. A ce moment la coopération entre les deux PUs est entamée.

Notre solution est basée sur l'adaptation du dilemme du prisonnier expliqué dans le chapitre précédent, sa forme stratégique est montrée dans le tableau 1

Supposons que :

nb = nombre de canaux demandés par l'utilisateur secondaire.

	Joueur 2	Coopérer	Non-coopérer
Joueur 1			
Coopérer		(nb, nb)	(-nb, 0)
Non-coopérer		(0, -nb)	(0, 0)

Tableau 3.1 : La forme stratégique de jeu entre les PUs (les valeurs sont €)

Lors de la coopération entre les deux PUs, nous supposons que le prix payé par le SU est $4 \cdot nb$ pour les nb canaux (4 c'est le prix unitaire d'un canal).

nb est la perte en terme d'énergie dans chaque PU (-nb est la pénalité pour le PU dans ce cas) donc le gain total est : $4 \cdot nb - nb - nb = 2 \cdot nb$, et puisqu'il est partagé entre les deux PUs donc chaque PU va gagner nb.

Si les deux PUs ne coopèrent pas donc ils vont rien gagner, par contre si l'un d'entre eux coopère, et l'autre ne coopère pas, le premier perd nb et le deuxième ne perd rien. L'utilisateur primaire prend sa décision de coopération en tenant compte du point suivant :

- Le niveau de l'énergie restant ; si il est supérieur à un seuil donné, il coopère ; sinon il ne coopère pas autrement, lorsque l'énergie atteint un certain niveau, il la garde pour satisfaire ses propres utilisateurs secondaires.

2.2. Compétition entre les SUs

Nous avons adapté le jeu de l'urne pour simuler le comportement compétitif entre les SUs. Nous supposons dans ce scénario que l'utilisateur primaire travail avec les points de fidélité. Les utilisateurs secondaires bénéficient des point de fidélité qui s'incrémente a chaque allocation, lorsque l'utilisateur secondaire atteint un seuil de fidélité fixe (cinq points dans notre cas), l'utilisateur primaire demande à l'utilisateur secondaire son accord de participation au jeu avec un autre joueur qui a déjà atteint le seuil et qui veut participer au jeu. Dans ce cas, le jeu de l'urne est déclenché entre ces deux joueurs secondaires comme indiqué dans le tableau 3.2.

Joueur2	Met 0 €	Met 20 €
Joueur1		
Met 0 €	(0,0)	(-5,15)
Met 20 €	(15,-5)	(10,10)

Tableau 3.2 : Les utilités des joueurs de jeux de l'urne en euro

3. Outils et environnement

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

3.1. Langage de programmation

Le langage de programmation utilisé est JAVA, JAVA est un langage de programmation orienté objet qui est l'un des meilleurs langages de programmation. Nous avons choisis JAVA pour le développement de notre simulation pour les raisons de sa portabilité, sa robustesse et sa simplicité.

3.2. Environnement de développement

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

3.3. Plateforme JADE

Les systèmes multi agent peuvent se réaliser avec n'importe quel langage de programmation, en particulier les langages orientés objet sont plus efficaces car le concept de l'agent est similaire à celui de l'objet donc les deux concepts partagent plusieurs propriétés comme : l'encapsulation, l'héritage et l'échange des messages, par revanche ils se différencient dans quelques autres points comme : l'autonomie (un agent peut prendre des décisions de faire une action ou pas lorsque il reçoit une requête provenant d'un autre agent), la notion de comportement qui n'est pas utilisée dans les objets et chaque

agent a sont thread de contrôle. Nous devons présenter FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) qui est une association internationale non lucrative fondée en 1996 pour développer une collection de standards liés à la technologie logicielle des agents, nous avons choisis JADE pour la raison qu'il peut gérer l'interopérabilité d'une part et d'autre part parce que c'est le plus souple et le plus utile flexible parmi les plateformes multi agents sous JAVA.

JADE (Java Agent DEveloppement framework) est une plateforme logicielle qui offre une couche middleware de base des fonctionnalités qui est indépendante de spécification de l'application et qui simplifie la réalisation des applications distribuées, nous avons choisis JADE parce qu'il implémente l'abstraction d'agent a travers un langage de programmation orienté objet très connu qui est JAVA [33].

3.4. L'API JFreeChart

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

4. Implémentation des solutions proposées

La figure 3.1 montre le plan de division de spectre en plusieurs parties, ou chaque partie et sous la délégation d'un utilisateur primaire PU.

4.1. Topologie du réseau utilisé

Nous avons utilisé un réseau de radio cognitive basé sur une architecture distribuée avec l'existence d'un élément central qui est le coordinateur, le réseau est composé de quatre utilisateurs primaires et cinq utilisateurs secondaires et un nœud coordinateur qui fait la coordination entre les utilisateurs primaires lorsque les utilisateurs primaires ne peuvent pas satisfaire une demande de l'utilisateur secondaire. La figure 3.2 montre la topologie du réseau utilisée.

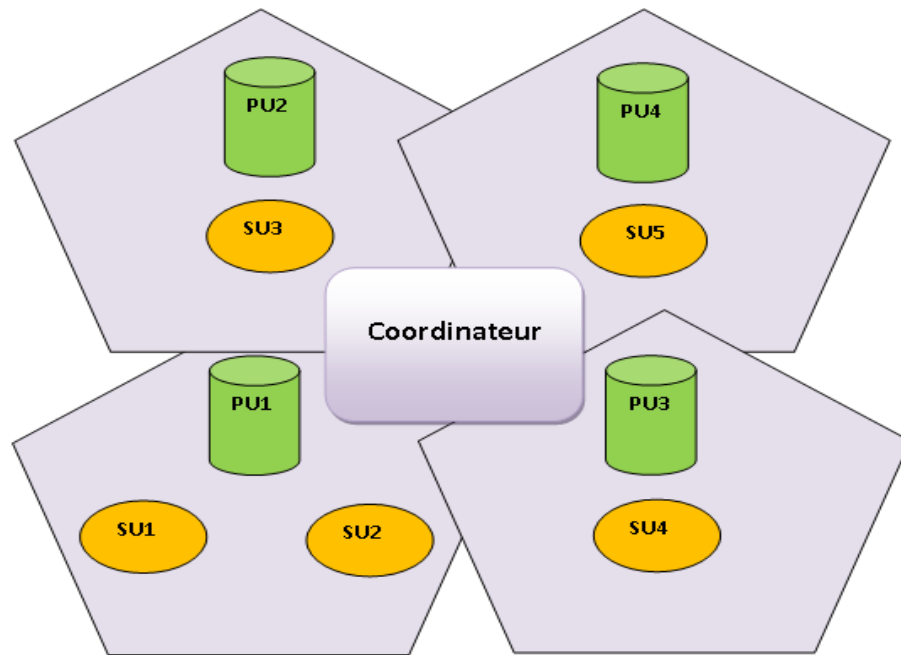


Figure 3.2 : Topologie de réseau utilisé

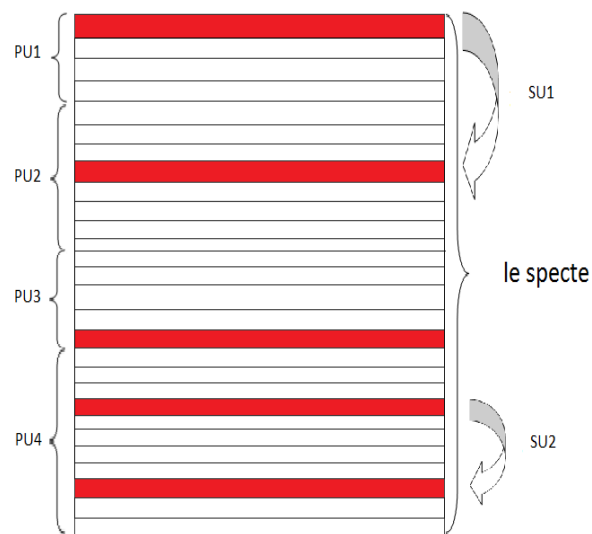


Figure 3.1 : La division de spectre dans le réseau de radio cognitive

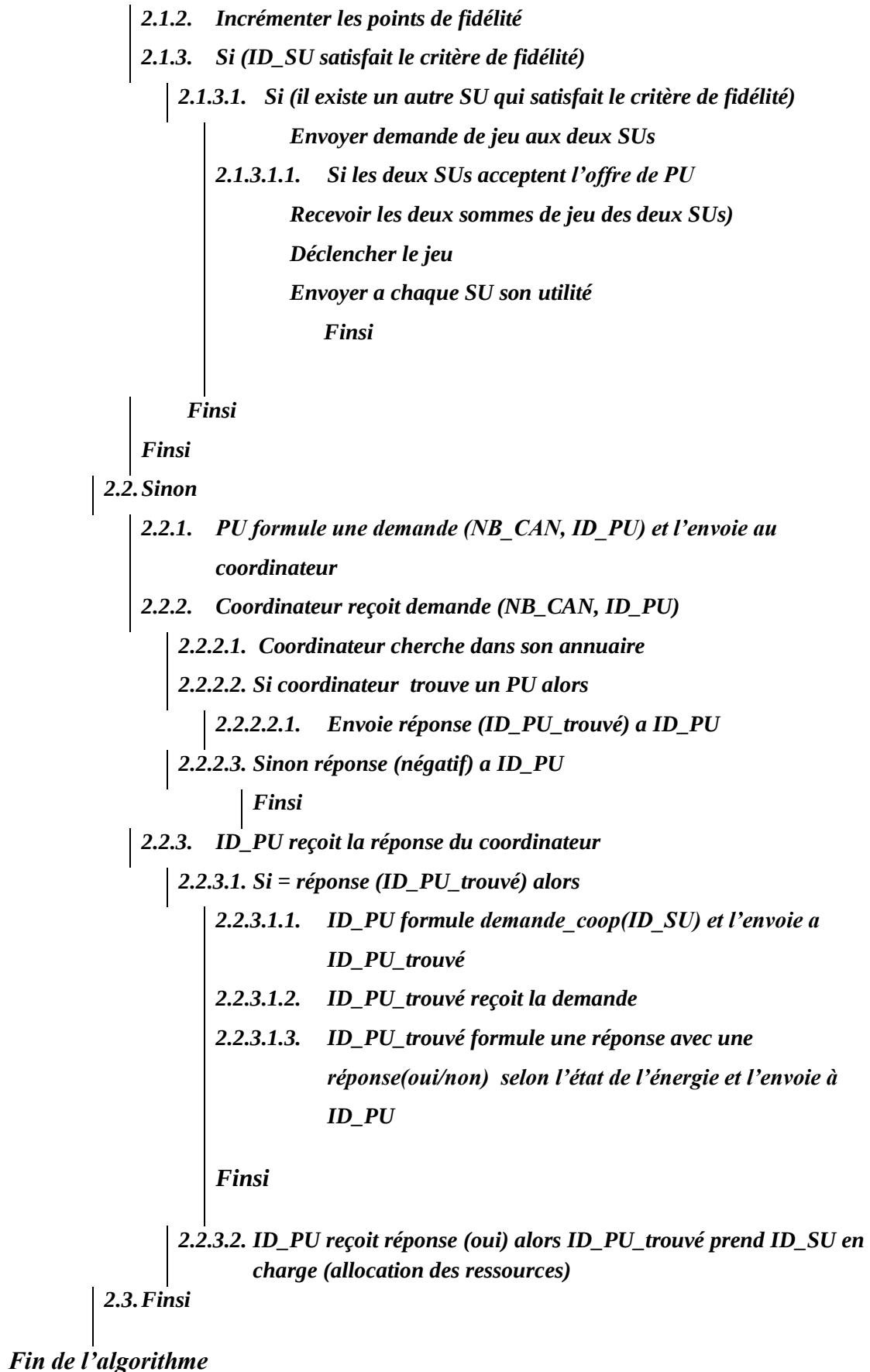
Nous allons simuler le comportement et l'interaction des agents dans un réseau de radio cognitive, les agents sont de différents types : « **Agent primaire** », « **Agent secondaire** » et « **Agent coordinateur** », dans notre application nous avons utilisé quatre agents primaires, cinq agents secondaires et un agent coordinateur.

La compétition entre les SUs est déclenché par l'utilisateur primaire qui a déjà alloué les ressources aux deux SUs et chacun d'eux atteint cinq points de fidélité et aussi chacun veut participer au jeu. Les SUs entre en compétition pour réaliser et maximiser le gain du jeu en choisissant une valeur de participation au jeu entre zéro et vingt sans connaître le choix de l'autre joueur car nous sommes dans le cas d'un jeu simultané. Le spectre est divisé en quatre parts équitables de cinq canaux ou chaque partie est sous le contrôle d'un agent primaire, l'agent primaire partage une partie de canaux qui est de quatre canaux et l'autre partie la garde pour lui. L'utilisateur secondaire accède au spectre (les canaux partagés par l'utilisateur primaire) après l'envoi d'un message qui contient le nombre de canaux demandés au utilisateur primaire qui possède l'autorité sur la partie du spectre désirée, lorsque l'utilisateur primaire peut satisfaire la demande il fait l'allocation des canaux pour le SU et il notifie le coordinateur pour qu'il fasse la mise à jour des canaux libres pour le PU et il incrémente les point de fidélité de SU qui a demandé les ressource ensuite il vérifie si le SU satisfait le critère de fidélité si oui et qu'un autre SU satisfait le critère de fidélité le PU envoie aux deux SUs s'ils veulent participer au jeu, si les deux SUs acceptent de participer au jeu, le jeu de l'urne est déclenché. Sinon l'utilisateur primaire passe une demande qui contient le nombre de canaux demandés par le SU au coordinateur, ce dernier consulte son annuaire pour chercher un utilisateur primaire qui peut satisfaire cette demande. Si le coordinateur trouve le PU qui peut satisfaire la demande, il envoie l'identifiant de ce PU à l'utilisateur primaire qui a formulé la demande pour entamer le comportement coopératif entre les 2 PUs. Dans le cas contraire, le PU est informé par le coordinateur de la non disponibilité d'un PU satisfaisant la demande. Quand l'utilisateur primaire reçoit une réponse de la part du coordinateur, si le message reçu contient l'identifiant d'un autre PU il envoie immédiatement un message de demande de coopération contenant l'identifiant de SU et le nombre de canaux demandés, si l'autre PU accepte de coopérer il prend en charge ce SU, sinon la demande est tous simplement ignoré.

4.2. Algorithme proposé

Début de l'algorithme

1. *SU formule une demande de ressources (ID_SU , NB_CAN) et l'envoie au PU*
2. *PU reçoit la demande (ID_SU , NB_CAN)*
 - 2.1. *Si (PU possède NB_CAN disponibles) alors*
 - 2.1.1. *PU prend ID_SU en charge (allocation des ressources)*



4.3. Organigramme

Nous supposons que le SU2 a déjà réalisé des allocations et il satisfait le critère de fidélité

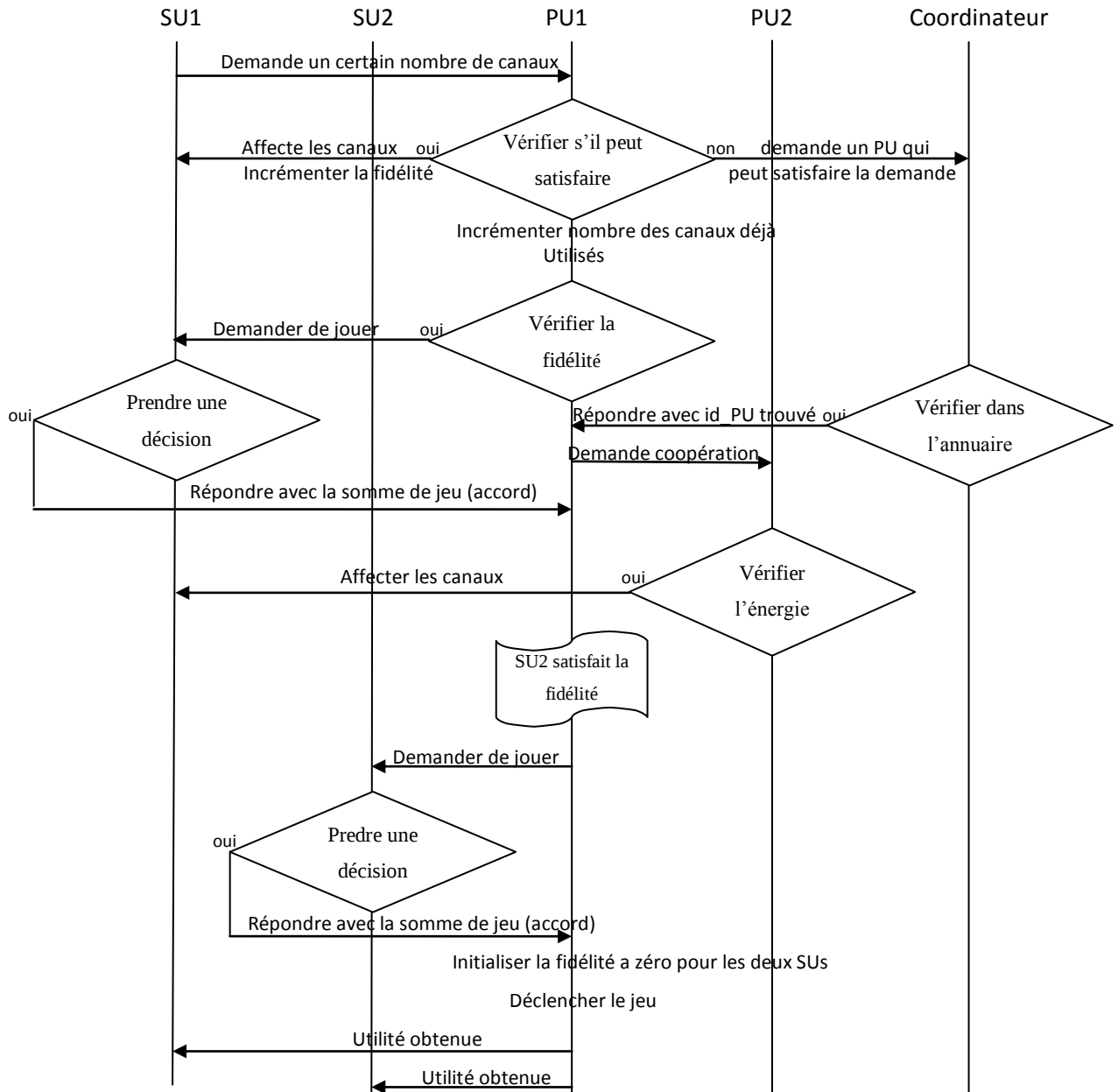


Figure 3.3 : Organigramme de solution proposée

4.4. Présentation de l'application

Dans ce qui suit nous allons détailler notre application :

- **Interface principale**



Figure 3.4 : Interface principale de l'application réalisée

La figure 3.4 montre l'interface principale de notre application et offre à l'utilisateur le choix de configurer quelques paramètres liés aux utilisateurs secondaires, les paramètres sont le nombre de canaux demandé par SU, ce paramètre est variable entre un et quatre canaux, il désigne la quantité des ressources voulues par l'utilisateur secondaire, la durée durant laquelle l'utilisateur secondaire occupe le canal, ce paramètre est en seconde varie en une à quatre secondes, il désigne la durée dans laquelle l'utilisateur secondaire occupe les ressources allouées par le PU et le dernier paramètre est la durée après laquelle l'utilisateur secondaire reformule une nouvelle demande d'occupation, ce paramètre aussi en seconde et il désigne la durée attendue par l'utilisateur secondaire pour qu'il reformule une nouvelle demande soit suite à l'absence de réponse de PU ou suite à une allocation déjà effectuée, la valeur de ce dernier paramètre est aussi entre un et quatre secondes.

Le bouton Démarrer sert à lancer et à suspendre la simulation. L'occupation de canal est exprimée par la colorisation de ce dernier avec la couleur du SU qu'il l'occupe.

Après le lancement de l'application, l'interface sera comme suit :



Figure 3.4 : Interface graphique après le lancement de simulation

L'item topologie sert à visualiser la topologie de réseau utilisé, la figure3.2 (page 44) représente le résultat du clic.

Dans l'application nous pouvons voir l'évaluation des différents paramètres en appuyant sur le menu graphe et en appuyant sur le menu occupation de spectre nous aurons un graphe qui montre le taux d'occupation des canaux en fonction du temps :

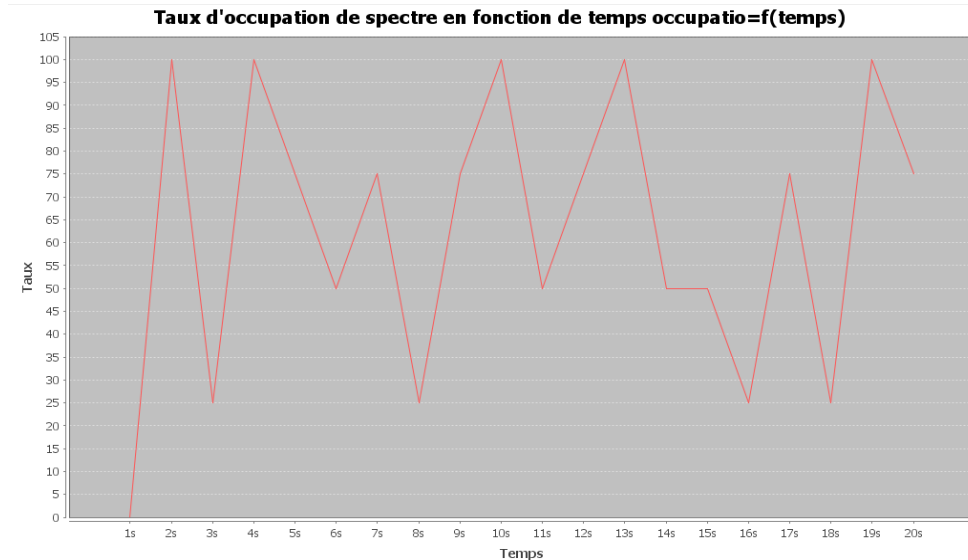


Figure 3.5 : Taux d'occupation de spectre en fonction du temps

La figure 3.5 montre le taux d'occupation de spectre (nombre de canaux occupée/nombre totale de canaux) par rapport aux temps, par exemple dans la deuxième seconde le spectre est occupé a 100 % et dans la onzième seconde le taux d'occupation de spectre est de 50%, nous voyons clairement que l'occupation de spectre est très efficace grâce à la coopération entre les utilisateurs primaires.

Dans ce qui suit nous nous tentons de mesurer l'impact de seuil à partir duquel le PU ne coopère pas sur le tau d'utilisation de spectre pendant toute la durée de la simulation.

taux moyen d'utilisation de spectre en fonction de seuil d'énergie

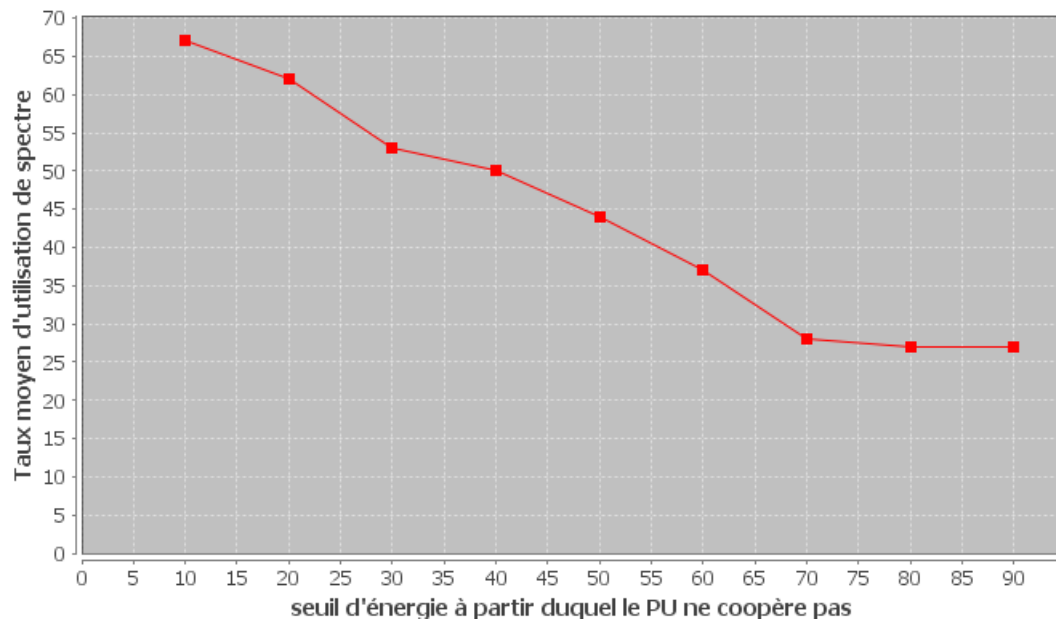


Figure 3.6 : Evolution de taux d'occupation en fonction de seuil d'énergie de non coopération

la figure 3.6 montre l'efficacité de la coopération entre les utilisateurs primaires, plus le seuil de l'énergie à partir duquel PU ne coopèrent pas est grand, plus Le spectre est moins exploité. Par exemple avec un seuil de 10% le taux moyen d'utilisation de spectre est de 67%, avec un seuil de 90% le taux moyen d'utilisation de spectre est de 27%.

Pour la compétition entre les SUs, le choix pour un SU de mettre zéro ou vingt dans l'urne est aléatoire.

La figure 3.7 montre les utilités pour les deux SUs pendant dix phases de jeu.

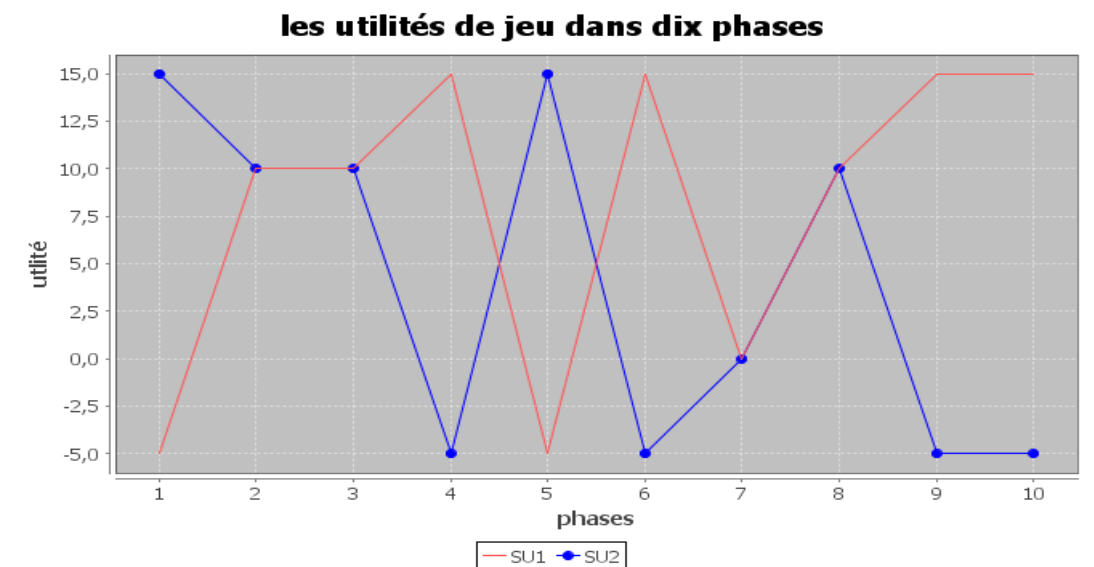


Figure 3.7 : Utilités des deux SU pendant les dix premiers tours de jeu

Nous remarquons que le gain total de SU2 est de 20€, et celui de SU1 est de 40€, cela dépend des décisions des joueurs (SU1, SU2) de mettre 0 ou 20. Par exemple le SU2 a mis quatre fois 0 lorsque le SU1 a mis 20 ce qui lui cout 5 € au moins à chaque fois.

5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre solution proposée dans le cadre de ce PFE pour l'accès dynamique au spectre dans les réseaux de radio cognitive, afin d'intégrer l'aspect coopératif et compétitif qui ne peut pas être réalisé avec les enchères et nous nous servons des systèmes multi agent pour voir les interactions, les résultat de la simulation prouve l'efficacité de la théorie des jeux comme solution pour l'accès dynamique au spectre, alors nous pouvons affirmer que la théorie des jeux est la plus appropriée comme solution pour l'accès dynamique au spectre.

Conclusion générale

Nous avons présenté dans ce rapport les réseaux de radio cognitive qui sont considérés comme les réseaux de futur génération (la cinquième génération de télécommunication) avec tout ses phases de manière générale et nous nous focalisons sur les techniques d'accès au spectre généralement, et la solution de la théorie des jeux spécialement.

Nous avons proposés une solution tirée de la théorie des jeux, qui inclut l'aspect coopératif et l'aspect compétitif. L'aspect coopératif est exprimé entre les utilisateurs primaires avec un modèle de dilemme de prisonnier, lorsque un utilisateur primaire ne peut pas satisfaire une demande formulée par un utilisateur secondaire il demande la coopération avec un autre utilisateur primaire via le coordinateur qui offre la possibilité de trouver le bon PU pour coopérer avec lui.

L'aspect compétitif est entre les utilisateurs secondaires, il s'agit de l'adaptation du jeu de l'urne. Lorsque un utilisateur secondaire alloue des ressource de la part l'utilisateur primaire ce dernier incrément une valeur appelée fidélité avec le nombre de canaux alloués, lorsque deux SU atteint un seuil de 5 points de fidélité, le PU demande aux SUs s'ils veulent jouer lorsque le PU reçoit l'accord des deux SUs le jeu est déclenché, les deux SUs peuvent participer au jeu avec soit zéro ou vingt les résultats de jeu sont calculer comme indiqué précédemment dans le second chapitre.

Nous citons que nous avons appris beaucoup de choses avec ce projet tel que :

- La programmation avec la plateforme JADE et les notions de : agent, comportement, sniffer ...
- La découverte de la nouvelle génération des réseaux sans fil (Next Generation)

Nous tenons à citer quelques perspectives dans ce domaine qui est très vaste et très riche en matière d'information et d'expériences :

- Intégrer d'autre solution pour intégrer l'aspect coopératif entre les utilisateurs secondaires.
- Déployer les techniques d'accès aux médium dans les réseaux sans fil qui sont : FDMA, TDMA et CDMA dans l'accès dynamique au spectre.
- Mettre en place de protocoles de sécurité pour sécuriser l'accès dynamique au spectre dans la radio cognitive.

Références bibliographiques

- [1] U.S. Department of commerce , “manual of regulation and procedures for federal radio frequency management” Vol. 770 , Mai 2012
- [2] Bruce Fette , “cognitive radio technology “ Vol.828, No. 2, pp. 42-45, 2009.
- [3] J. Mitola, “The software radio architecture ” IEEE Commun , vol. 33, no. 5, pp. 26–38, 1995
- [4] Bruce Fette , ' COGNITIVE RADIO TECHNOLOGY ' Vol.828, No. 2, pp. 65-70, 2009
- [5] “Regulatory aspects of software defined radio,” SDR forum document number SDRF-00-R-0050-v0.0, White Paper.
- [6] Ngom et L. Diouf, “La radio cognitive”, université Lille 1 USTL, 2008.
- [7] BENMMAMAR B. et AMRAOUI A, « Radio Ressource Allocation and Dynamic Spectrum Access », Wisley_ISTE. 2012.
- [8] E. HOSSAIN, D. NIYAN and ZHU H, “Dynamic Spectrum Access and management in cognitive radio networks”, Cambridge University Press 2009.
- [9] NGOM I et DIOUF L, « la radio cognitive » , projet de Master Professionnel Télécommunications, USTL, Vol. 26, pp 11-14, 2008.
- [10] AKYLDIZ et al, « next generation /dynamique cognitive radio wireless network : a survey compact network », 2006.
- [11] Yinglei Teng et al, « Reinforcement Learning Based Auction Algorithm for Dynamic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks», université de Beijing de postes et télécommunications Beijin, Chine.
- [12] MIR U. “Utilization of Cooperative Multiagent Systems for Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks”. PHD THESES, UTT, Université de Technologie de Troyes.Sep 2011.
- [13] C. Xin, M. Song, L. Ma, C. Shen and G. Hsieh, “On random dynamic spectrum access for cognitive radio networks”. pp 1–5. 2010.
- [14] Yiping Xing, R. Chandramouli, Stefan Mangold et Sai Shankar N, « Dynamic Spectrum Access in Open Spectrum Wireless Networks», IEEE journal on selected areas in communications, VOL. 24, NO. 3, 2006.

- [15] MIR V, MERGHEM-BOULAHIA L et GAÏTI D “ a cooperative multiagent based spectrum sharing”. Sixth Advanced International Conference on Telecommunications. 2010.
- [16] HAYKIN S, “Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications.” IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, Vol. 23, No. 2, 2005.
- [17] BENLETAIEF B. et WEI ZHANG K.,”Cooperative Communications for Cognitive Radio Networks”, 2009.
- [18] NEEL J. et al , “using game theory to analyze physical layer cognitive radio algorithms“ 2007.
- [19] DIAGE S. « quelques reflexions sur la theorie des jeux », Mémoire de maîtrise, université GASTON BERGER Sénégal, Pp 5-12,2000.
- [20] PENARD T. « La théorie des jeux et les outils d’analyse des comportements stratégique »,université de Rennes 1,pp 1,octobre 2004.
- [21] PENARD T, « La théorie des jeux et les outis d’analyse des comportements stratégique », université de Rennes 1,pp 2-5,octobre 2004.
- [22] JOHNSON et KENNETH M « Unpredictable Directions of Population Growth and Migration» pp. 19-31. Université de Park, Pennsylvanie Etats-Unis.
- [23] Thierry Pénard, « La théorie des jeux et les outils d’analyse des comportements stratégique », université de Rennes 1,pp 10-15,octobre 2004.
- [24] R. J. AUMANN, “Subjectivity and correlation in randomized strategies,” *Journal de l’économie Mathématiques*, vol. 1, no. 1, pp. 67–96, 1974.
- [25] R. J. AUMANN, “Correlated equilibrium as an expression of Bayesian rationality,” vol. 55, no. 1, pp. 1–18, 1987.
- [26] MICHIARDI P, «Coopération dans les réseaux ad hoc: Application de la théorie des jeux et de l’évolution dans le cadre d’observabilité imparfaite»,Institut Eurecom France,pp 6-9.2008.
- [27] D. B. JOHNSON, MALTZ D.A et BROCH J, « DSR : The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks. » chapitre 5, pp. 139-172, Addison-Wesley, 2001.
- [28] PERKINS C.E et ROYER E.M. « Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing », dans 2 ème procédé d’IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications,1999.

- [29] A. Orda, N. Rom, et N. Shimkin. "Competitive routing in multi-user communication networks." IEEE/ACM Transaction on Networking, pp. 614–627, 1993.
- [30] GUPTA P. et KUMAR. P. R " A system and traffic dependent adaptive routing algorithm for Ad Hoc networks". Dans le procédé de la 36ème Conférence d' IEEE sur la décision et le controle, pp. 2375-2380, San Diego, USA, 1997.
- [31] math.univ-lyon1.fr/~oger/résumé.html. dernière consultation le 19-06-2013 à 13 :23.
- [32] FENG T. ,ZHEN Y. et SHAN X," Spectrum Sharing Based On Iterated Prisoner's Dilemma In Cogintive Radio". Université de poste et télécommunications, Nanjing, Chine.2007
- [33] Fabio .B, Giovanni C. ,Dominic G. , "Developing multi agent systems with JADE",Vol. 303,pp. 10-30,2004.

Résumé

Les réseaux radio cognitive sont présentés comme le nouveau paradigme de communication qui viendrait à bout de la mauvaise utilisation de la ressource spectrale. En effet, au problème d'allocation statique qui génère un déséquilibre, la radio cognitive propose une exploitation opportuniste de spectre radio via quelques techniques intelligentes. Dans ce travail nous avons utilisé la théorie des jeux qui prouve son efficacité grâce aux modèles de jeu offerts qui sont adaptés dans la solution proposée pour l'accès dynamique au spectre dans les réseaux de radio cognitive.

Mots clés : radio cognitive, spectre, accès dynamique, théorie des jeux, dilemme de prisonnier, jeu de l'urne, coopération, compétition.

Abstract

Cognitive radio networks can be presented as a new paradigm coming from the the bad use of spectrum resources, the problem of static spectrum allocation produce a disequilibrium, the cognitive radio propose an opportunist radio spectrum exploitation. In this work we use the game theory that proves its efficiency thanks to the given game models that are adapted in the proposed solution for dynamic spectrum access in cognitive radio networks.

Key words: cognitive radio, spectrum, dynamic access, game theory, prisoner dilemma, urn game, cooperation, competition.

ملخص:

يمكن تعريف شبكات الراديو التعريفي على انها نموذج اتصال مستوحى من سوء استعمال مصادر الاتصال الطيفية، وكذلك من مشكل التوزيع الثابت الذي يشكل خلل في التوازن، الراديو التعريفي يقترح فرص استعمال انتهازية للطيف الراديوي عن طريق بعض الطرق الذكية.

في هذا العمل استعملنا طريقة مستوحاة من الرياضيات التي تسمى قواعد الالعاب التي اظهرت فعاليتها اعتمادا على بعض النماذج التي قمنا باستعمالها في الحل المقترح للولوج الديناميكي في شبكات الراديو التعريفية.

الكلمات الرئيسية : الراديو التعريفي، الطيف، الولوج الديناميكي، قواعد الالعاب، مأزق السجين، لعبة الكيس التعاون، التنافس.