

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

Mémoire de fin d'études

pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

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

Thème

Vers l'auto-gestion d'un réseau de radio cognitive

Réalisé par :

- Bedrane Ahlam

Présenté le 24 Juin 2014 devant le jury composé de MM.

- *Mr Lehsaini Mohamed* (Président)
- *Mr. Benmammar Badr* (Encadreur)
- *Mr Benzian Yaghmoracène* (Examineur)
- *Mme Belhabi Amel* (Examineur)

Année universitaire: 2013-2014

Remerciement

*Avant tout, je rends grâce à DIEU tout puissant de m'avoir accordé la
volonté et le courage
pour réaliser ce mémoire.*

*Au terme de ce travail je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde
gratitude à mon encadreur
Mr. Benmammar Badr.*

*Mes remerciements s'adressent à tous les membres du jury
pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant
de juger ce travail.*

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes très chers parents

Que Dieu les garde

À mes chères sœurs À toute ma famille et mes amis.

Résumé

La radio cognitive (RC) est une technologie émergente en matière d'accès sans fil, visant à améliorer considérablement l'utilisation du spectre radio en permettant d'y accéder de manière opportuniste. L'objectif de ce PFE est de faire le lien entre la radio cognitive et les réseaux autonomes en introduisant dans un contexte RC, l'auto-guérison et l'auto-protection. Pour cela, nous nous sommes basés sur un travail qui existe déjà dans la littérature et notre objectif a été par la suite de faire une validation à travers l'analyse des résultats obtenus à l'aide d'une implémentation du modèle en utilisant la plateforme multi-agents JADE.

Mots clés : Radio cognitive, auto-guérison, auto-protection, JADE.

Abstract

Cognitive radio is an emerging technology in wireless access, to significantly improve the utilization of radio spectrum by allowing access opportunistically. The objective of the paper is the link between cognitive radio autonomous networks by introducing a cognitive radio context, self-healing and self-protection. For this, we relied on work that already exists in the literature and our goal was eventually to validation through analyzing the results obtained using an implementation of the model using the platform JADE multi-agent.

Key words: Cognitive radio, self-healing, self-protection, JADE

ملخص

الراديو الإدراكية هو التكنولوجيا الناشئة في وصول لاسلكية، لتحسين كبير في استخدام الطيف الراديو من خلال السماح الوصول انتهازية. والغرض من هذه المذكرة هو جعل الرابط بين الراديو الإدراكية و الحكم الذاتي المعرفي عن طريق إدخال المعرفية في سياق شبكة الراديو الإدراكية ، الشفاء الذاتي والحماية الذاتية. لهذا اعتمدنا على العمل موجود بالفعل في الأدب، وكان هدفنا في نهاية المطاف إلى المصادقة عليها من خلال تحليل النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام نظام المحاكاة متعددة وكبل جاد

الكلمات المفتاحية الراديو الإدراكية، الشفاء الذاتي، وحماية الذات، جاد

Table des matières

Liste des figures	7
Tableau	8
Liste des abréviations	8
Introduction générale.....	9
Chapitre I Réseaux de radio cognitive	11
I.1 Introduction	12
I.2 Radio logicielle (software radio).....	12
I.2.1 Radio logicielle restreinte (Software Defined Radio)	13
I.3 Radio cognitive	13
I.3.1 Historique	13
I.3.2 Définition.....	13
I.4 Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte	14
I.5 Architecture	15
I.6 Cycle de cognition.....	16
I.7 Composantes de la radio cognitive.....	17
I.8 Fonctions de la radio cognitive	18
I.8.1 Détection du spectre (Spectrum sensing)	18
I.8.2 Gestion du spectre (Spectrum management)	18
I.8.3 Mobilité du spectre (Spectrum mobility).....	20
I.9 Domaines d'application de la radio cognitive.....	20
I.10 Conclusion.....	21
Chapitre II L'informatique autonome	22
II.1 Introduction.....	23
II.2 Définition	23
II.3 Les propriétés d'informatique autonome.....	24
II.4 Quatre éléments de base de calcul autonome	25
II.4.1 L'auto-configuration	26
II.4.2 L'auto-guérison	26
II.4.3 L'auto-optimisation.....	26
II.4.4 L'auto-protection.....	27
II.5 Architecture de l'informatique autonome.....	28
II.6 Avantages de l'informatique autonome	30

II.7 Informatique autonome recherche, Enjeux et défis	30
II.7.1 Défis conceptuels	30
II.7.2 Défis architecturaux	31
II.7.3 Défis Middleware	31
II.7.4 Défis d'application.....	31
II .8 Conclusion	31
Chapitre III Implémentation de la solution proposée à l'aide de l'outil JADE.....	32
III.1 Introduction	33
III.2 Topologie du réseau utilisé.....	33
III.3 Adaptation entre les réseaux autonomes et la radio cognitive.....	34
III.4 Outils utilisés	36
III.4.1 JADE.....	36
III.4.1 Jfreechart.....	37
III.5 Présentation de l'application	37
III.6 Simulation.....	38
III.6.1 Présentation d'un scénario de simulation	38
III.6.2 Interaction entre le SU et les PUs en fonction des différents modes	40
III.6.3 Résultats obtenus	43
III.7 Conclusion	48
Conclusion générale	49
Références bibliographies	51

Liste des figures

Figure I.1 : Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte	15
Figure I.2: Architecture de la radio cognitive	16
Figure I.3 : Le cycle de cognition de Mitola et Maguire.....	16
Figure I.4 : Le cycle de cognition simplifiée.....	16
Figure I.5 : Composantes de la radio cognitive.....	17
Figure I.6 : Accès au spectre coopératif et non-coopératif.....	20
Figure II.1 : Système Nerveux Autonome	23
Figure II.2 : Les quatre éléments de base	26
Figure II.3 : Architecture d'un système autonome proposée par IBM.....	28
Figure II.4 : Boucle de contrôle autonome.....	29
Figure III.1 : Topologie du réseau (mode ad hoc).....	33
Figure III.2 : Auto-protection et auto-guérison d'un nœud radio cognitif pour la gestion des échecs	35
Figure III.3 : Page d'accueil	38
Figure III.4 : Interface	38
Figure III. 5: Interface de simulation.....	39
Figure III.6 : Agent Sniffer.	40
Figure III.7 : Agent Sniffer.	41
Figure III.8 : Agent Sniffer	42
Figure III.9 : Agent Sniffer	43
Figure III.10 : Interface de graphique.	44
Figure III.11 : L'impact du taux d'échec de la négociation (avec/sans) gestion autonome sur la valeur cumulée de l'interférence.	45
Figure III.12 : L'impact du taux d'échec de la négociation sur la valeur cumulée de l'interférence.	47
Figure III.13 : L'impact du taux d'échec de la négociation sur le nombre de Handover Spectral.....	48

Tableau

Tableau II.1 Comparaison entre l'informatique actuelle et autonome

27

Liste des abréviations

AC	: Autonomic Computing
ACC	: Agent Communication Channel
AMS	: Agent Management System
DA	: Dummy Agent
DF	: Directory Facilitator
FIPA	: Fountion for Intelligent Physical Agents
IBM	: International Business Machines
IHM	: Interface Homme Machine
IT	: Information Technology
JADE	: Java Agent DEvelopment Framework
JSP	: Java Server Pages
PU	: Primary User
QoS	: Quality of Service
RF	: Radio Frequency
RL	: Radio Logicielle
SA	: Sniffer Agent
SDR	: Software Defined Radio
SMA	: Système Multi Agents
SU	: Secondary User
TCO	: Total Cost of Ownership
WRAN	: Wireless Regional Area Networks

Introduction générale

Avec la croissance et la complexité de différentes techniques de réseau sans fil, la demande de spectre radioélectrique est en augmentation considérable. Pour palier à ce problème il faut une bonne gestion du spectre. C'est dans ce cadre que des études sont menées dans le domaine de la radio cognitive.

La RC Introduite par J. Mitola en 1999, est utilisé pour décrire un système ayant la capacité de détecter et de reconnaître son cadre d'utilisation, ceci permet d'optimiser l'utilisation des fréquences radio disponibles du spectre tout en minimisant les interférences avec d'autres utilisateurs.

L'informatique autonome tend à créer des applications autonomes c'est à dire qui s'administrent toute seules. Lancé en 2001 par IBM, l'informatique autonome propose de construire des applications se configurant, s'optimisant, se réparant et se protégeant toutes seules.

Dans ce PEF nous commenceront par établir le lien entre la radio cognitive et les réseaux autonomes par l'intégration des caractéristiques de l'auto-gestion dans les systèmes cognitifs, nous nous intéressons à deux caractéristiques des réseaux autonomes «l'auto-protection» et «l'auto-guérison ». Ensuite nous allons présenter une approche qui permet de gérer les éventuels problèmes d'interférences susceptible d'apparaître entre un utilisateur primaire (PU) possédant une licence sur le spectre et un utilisateur secondaire (SU) qui va allouer des canaux sur ce spectre.

Ce mémoire contient trois chapitres est organisé comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons les concepts de la radio cognitive. Nous commençons d'abord par la définition des différents concepts comme la radio logicielle, la radio logicielle restreinte (SDR) et sa relation avec la RC, l'architecture, les différentes phases du cycle de cognition et les fonctions la radio cognitive, enfin nous citerons quelques domaines d'application de la RC. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de l'informatique autonome, en particulier à ses 4 éléments de base, l'auto-configuration, l'auto-guérison, l'auto-optimisation et l'auto-protection. Le dernier chapitre décrit les simulations que nous avons effectuées pour valider notre approche ainsi que les résultats obtenus.

Chapitre I

Réseaux de radio cognitive

I.1 Introduction

La récente et rapide évolution des technologies sans fil entraîne une forte demande en termes de ressources spectrales.

Pour palier à ce problème il faut une bonne gestion du spectre et donc une utilisation plus efficace de celui-ci. C'est dans ce cadre que des études sont menées dans le domaine de la radio cognitive. [1]

La radio cognitive est un système qui permet à un terminal de pouvoir interagir avec son environnement. Cela signifie que celui-ci sera capable de percevoir son environnement, de le modéliser et de s'y adapter. Il pourra donc détecter les fréquences libres et les utiliser, contribuant ainsi à une meilleure efficacité spectrale. [2]

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

I.2 Radio logicielle (software radio)

C'est grâce aux travaux de Joseph Mitola que le terme Radio logicielle est apparu en 1991 pour définir une classe de radio reprogrammable et reconfigurable. La radio logicielle est une radio dans laquelle les fonctions typiques de l'interface radio généralement réalisées en matériel, telles que la fréquence porteuse, la largeur de bande du signal, la modulation et l'accès au réseau sont réalisés sous forme logicielle. La radio logicielle moderne intègre également l'implantation logicielle des procédés de cryptographie, codage correcteur d'erreur, codage source de la voix, de la vidéo ou des données. [3]

Le concept de radio logicielle doit également être considéré comme une manière de rendre les usagers, les fournisseurs de services et les fabricants plus indépendants des normes. Ainsi, avec cette solution, les interfaces radio peuvent, en principe, être adaptées aux besoins d'un service particulier pour un usager particulier dans un environnement donné à un instant donné.

On distingue plusieurs niveaux d'avancement dans le domaine : la radio logicielle est le but ultime intégrant toute les fonctionnalités en logiciel, mais elle impose des phases intermédiaires combinant anciennes et nouvelles techniques, on parle alors de **radio logicielle restreinte (software defined radio)**. Les contraintes de puissance de calcul, de consommation électrique, de coûts, etc. imposent actuellement de passer par cette phase intermédiaire. [4]

I.2.1 Radio logicielle restreinte (Software Defined Radio)

La radio logicielle restreinte est un système de communication radio qui peut s'adapter à n'importe quelle bande de fréquence et recevoir n'importe quelle modulation en utilisant le même matériel. Les opportunités qu'offre le SDR lui permettent de résoudre des problèmes de la gestion dynamique du spectre. Les équipements SDR peuvent fonctionner dans des réseaux sans fil hétérogènes c'est-à-dire qu'un SDR idéal peut s'adapter automatiquement aux nouvelles fréquences et aux nouvelles modulations [5].

I.3 Radio cognitive

I.3.1 Historique

L'idée de la radio cognitive a été présentée officiellement par Joseph Mitola III à un séminaire à KTH, l'Institut royal de technologie, en 1998, publié plus tard dans un article de Mitola et Gerald Q. Maguire, Jr en 1999. [6]

Mitola combine son expérience de la radio logicielle ainsi que sa passion pour l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle pour mettre en place la technologie de la radio cognitive. D'après lui : « *Une radio cognitive peut connaître, percevoir et apprendre de son environnement puis agir pour simplifier la vie de l'utilisateur.* » [6]

I.3.2 Définition

La cognition regroupe les divers processus mentaux allant de l'analyse perceptive de l'environnement à la commande motrice (en passant par la mémorisation, le raisonnement, les émotions, le langage...) [7].

Le terme radio cognitive est utilisé pour décrire un système ayant la capacité de détecter et de reconnaître son cadre d'utilisation, ceci afin de lui permettre d'ajuster ses paramètres de fonctionnement radio de façon dynamique et autonome et d'apprendre des résultats de ses actions et de son cadre environnemental d'exploitation [7].

La radio cognitive est une nouvelle technologie qui permet, à l'aide d'une radio logicielle, de définir ou de modifier les paramètres de fonctionnement de la fréquence radio d'un nœud réseau (téléphone sans fil ou un point d'accès sans fil), comme par exemple, la gamme de fréquences, le type de modulation ou la puissance de sortie [7]. Cette capacité permet d'adapter chaque appareil aux conditions spectrales du moment et offre donc aux utilisateurs un accès plus souple, efficace et complet à cette ressource. Cette approche peut améliorer considérablement le débit des données et la portée des liaisons sans augmenter la bande passante ni la puissance de transmissions.

La RC offre également une solution équilibrée au problème de l'encombrement du spectre en accordant d'abord l'usage prioritaire au propriétaire du spectre, puis en permettant à d'autres de se servir des portions inutilisées du spectre [7].

Principe :

Le principe de la radio cognitive, repris dans la norme **IEEE 802.22**, nécessite une gestion alternative du spectre qui est la suivante :

Un mobile dit secondaire pourra à tout moment accéder à des bandes de fréquence qu'il juge libre, c'est-à-dire, non occupées par l'utilisateur dit primaire possédant une licence sur cette bande. L'utilisateur secondaire devra les céder une fois le service terminé ou une fois qu'un utilisateur primaire aura montré des velléités de connexion. Un réseau cognitif coordonne les transmissions suivant différentes bandes de fréquences et différentes technologies en exploitant les bandes disponibles à un instant donné et à un endroit donné. Il a besoin d'une station de base capable de travailler sur une large gamme de fréquences afin de reconnaître différents signaux présents dans le réseau et se reconfigurer intelligemment [8].

I.4 Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte

L'une des principales caractéristiques de la RC est la capacité d'adaptation où les paramètres de la radio (fréquence porteuse, puissance, modulation, bande passante) peuvent être modifiés en fonction de : l'environnement radio, la situation, les besoins de l'utilisateur, l'état du réseau, la géolocalisation,...etc. [9]

La radio logicielle est capable d'offrir les fonctionnalités de flexibilité, de reconfigurabilité et de portabilité inhérentes à l'aspect d'adaptation de la radio cognitive.

Par conséquent, cette dernière doit être mise en œuvre autour d'une radio logicielle. En d'autres termes, la radio logicielle est une "**technologie habilitante**" pour la radio cognitive. [10]

Bien que de nombreux modèles différents soient possibles, l'un des plus simples modèles représenté dans la Figure I.1.

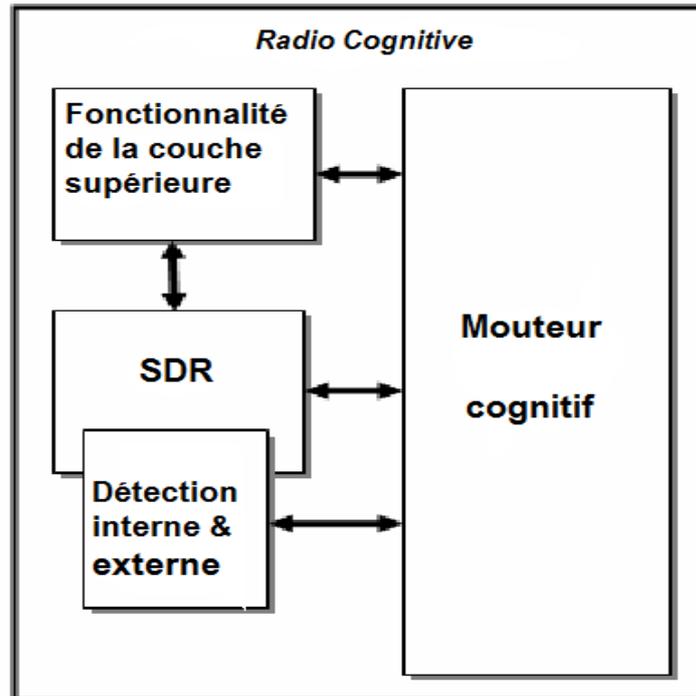


Figure I.1 : Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte. [11]

I.5 Architecture

Mitola a défini l'architecture d'une radio cognitive par un ensemble cohérent de règles de conception par lequel un ensemble spécifique de composants réalise une série de fonctions de produits et de services. [12]

L'architecture la plus simple d'une radio intelligente est l'ensemble minimaliste des composantes fonctionnelles de la Figure I.2.

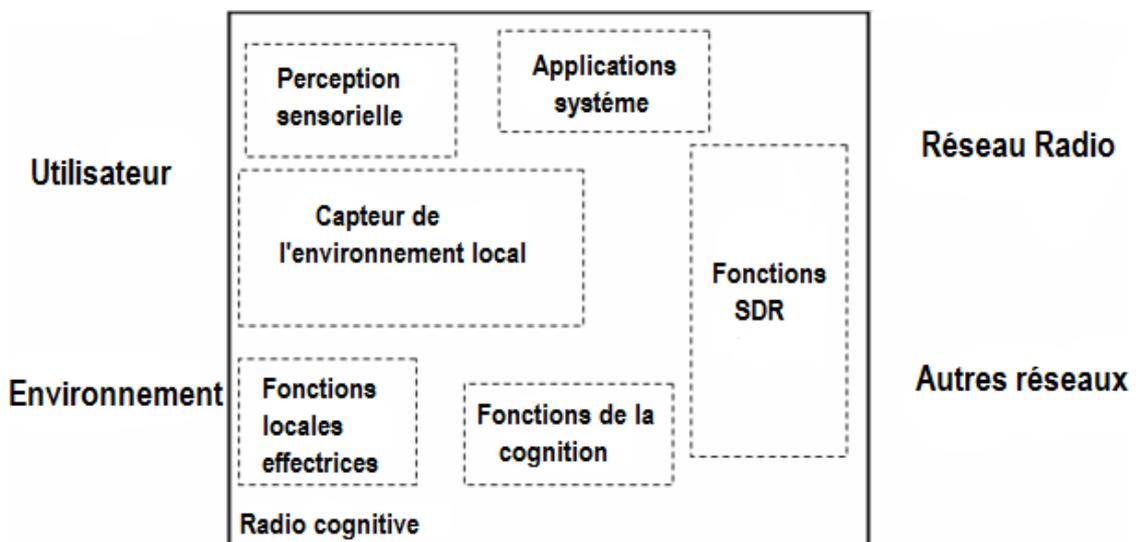


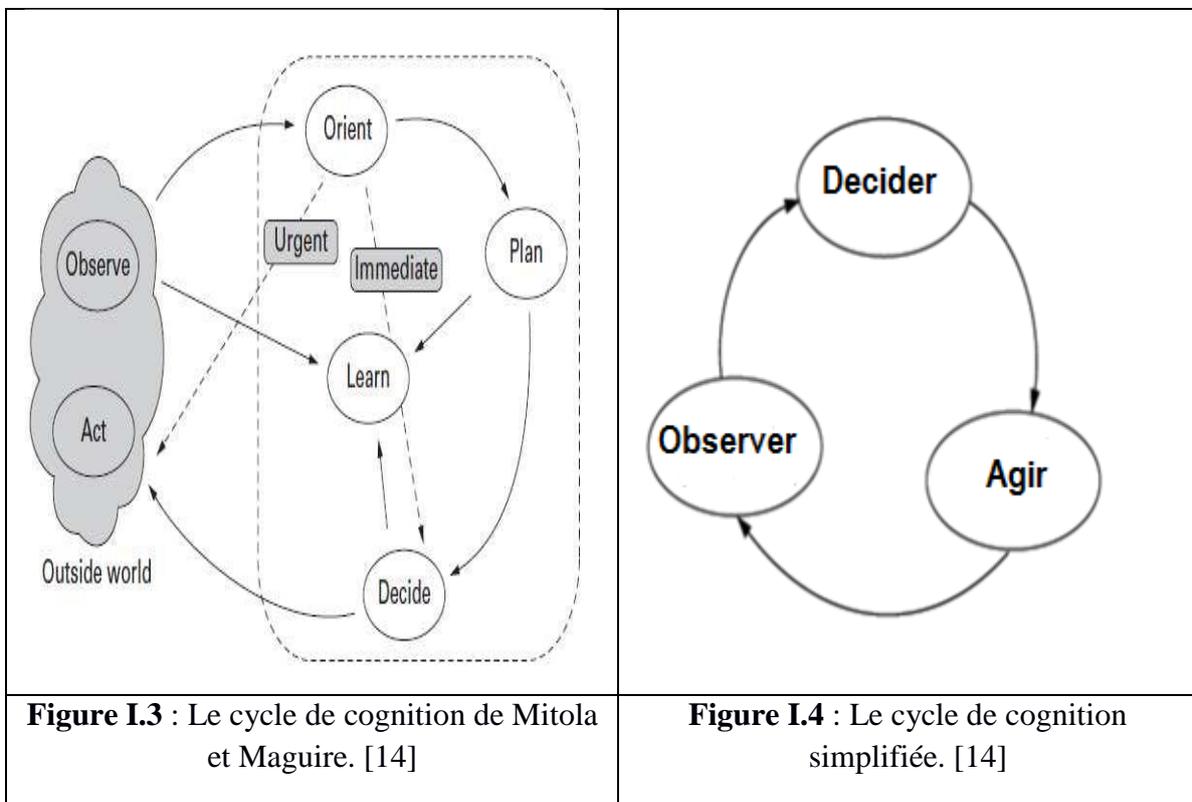
Figure I.2: Architecture de la radio cognitive. [13]

- L’interface de perception sensorielle de l’utilisateur comprend les fonctions de capture (sensing) et de perception, visuelles et acoustiques.
- Les capteurs de l’environnement local (position, température, accélération, etc.).
- Les applications système (les services médias indépendants comme un jeu en réseau).
- Les fonctions de la radio logicielle restreinte (SDR) (qui incluent la détection RF et les applications radio de la SDR).
- Les fonctions de la cognition (contrôle, planification, apprentissage).
- Les fonctions locales effectrices (synthèse de parole, texte, graphiques, affichages multimédias). [12]

I.6 Cycle de cognition

La Figure I.3 illustre le cycle de cognition ainsi appelé par Mitola et Maguire [9] qui synthétise les fonctions de cognition de l’architecture d’une radio intelligente.

Une telle radio cognitive observe l’environnement, s’oriente, crée des plans, décide, et puis agit.



L'observation (observe) consiste en la compréhension de l'environnement radio, des besoins des utilisateurs, des contraintes existantes. L'orientation (orient) fait référence à la façon de déterminer s'il y a besoin d'une action urgente ou si une planification à long terme est plutôt nécessaire. La planification (plan) consiste en la prise de décisions à long terme. Le processus de décision (decision) se sert des observations pour produire une action ou un ensemble d'actions (act). L'apprentissage quant à lui dépend des phases d'observation, de décision, d'action et de planification. L'apprentissage initial est réalisé à travers les phases d'observation et d'action dans lesquelles toutes les perceptions sensorielles ainsi que les actions sont continuellement comparées à l'ensemble des expériences antérieures. Il est possible de simplifier le schéma de la Figure I.3 sans perte de généralité si l'on intègre à "decide" tout ce qui sous entend une notion d'intelligence, comme "orient", "plan", "learn" (Figure I.4) [4].

I.7 Composantes de la radio cognitive

Les différentes composantes d'un émetteur/récepteur radio cognitive qui mettent en œuvre ces fonctionnalités sont présentées dans la Figure I.5 [15].

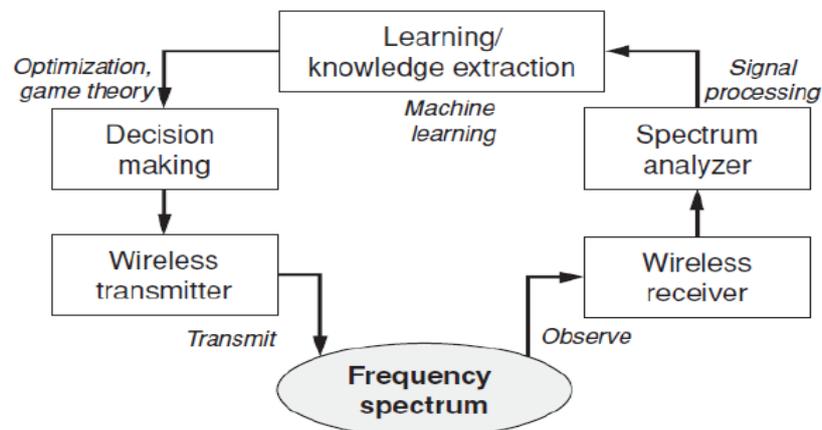


Figure I.5 : Composantes de la radio cognitive. [16]

- 1) Un émetteur/récepteur SDR sans fil est le composant majeur avec les fonctions du signal de transmission de données et de réception. En outre, un récepteur sans fil est également utilisé pour observer l'activité sur le spectre de fréquence (spectre de détection).
- 2) L'analyseur de spectre (Spectrum analyser) doit s'assurer que la transmission d'un utilisateur primaire n'est pas perturbée si un utilisateur secondaire décide d'accéder au spectre. Dans ce cas, diverses techniques de traitement du signal peuvent être utilisées pour obtenir des informations sur l'utilisation du spectre.

- 3) L'apprentissage et l'extraction de connaissances (Learning/ knowledge extraction) utilisent les informations sur l'utilisation du spectre pour comprendre l'environnement ambiant RF (par exemple le comportement des utilisateurs sous licence). Une base de connaissances de l'environnement d'accès au spectre est construite et entretenue, qui est ensuite utilisée pour optimiser et adapter les paramètres de transmission pour atteindre l'objectif désiré sous diverses contraintes. Les algorithmes d'apprentissage peuvent être appliqués pour l'apprentissage et l'extraction de connaissances.
- 4) Prise de décision (Decision making)
- Après que la connaissance de l'utilisation du spectre soit disponible, la décision sur l'accès au spectre doit être faite. La décision optimale dépend du milieu ambiant, elle dépend du comportement coopératif ou compétitif des utilisateurs secondaires. Différentes techniques peuvent être utilisées pour obtenir une solution optimale.

I.8 Fonctions de la radio cognitive

Les principales fonctions de la radio cognitive sont les suivantes :

I.8.1 Détection du spectre (Spectrum sensing) :

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

Objectifs de la détection du spectre :

- La détection des interférences.
- Obtenir le statut du spectre (libre /occupé), de sorte que le spectre peut être consulté par un utilisateur secondaires en vertu de la contrainte d'interférence.

Le défi réside dans le fait de mesurer l'interférence au niveau du récepteur primaire causée par les transmissions d'utilisateurs secondaires.

I.8.2 Gestion du spectre (Spectrum management) :

- Capter les meilleures fréquences disponibles pour répondre aux besoins de communication des utilisateurs.
- Les radios cognitives devraient décider de la meilleure bande de spectre pour répondre aux exigences de QoS sur toutes les bandes de fréquences disponibles.

Ces fonctions de gestion peuvent être classées comme suit:

I.8.2.1 Analyse du spectre :

- ❖ Les résultats obtenus de la détection du spectre sont analysés pour estimer la qualité du spectre.

- ❖ Cette qualité peut être caractérisée par le rapport signal/bruit, la durée moyenne et la corrélation de la disponibilité des espaces blancs du spectre.
- ❖ Des algorithmes d'apprentissage de l'intelligence artificielle sont des techniques qui peuvent être employées par les utilisateurs de la radio cognitive pour l'analyse du spectre.

I.8.2.2 Décision sur le spectre :

- ❖ Un modèle de décision est nécessaire pour l'accès au spectre.
- ❖ La complexité de ce modèle dépend des paramètres considérés lors de l'analyse du spectre.
- ❖ Le modèle de décision devient plus complexe quand un utilisateur secondaire a des objectifs multiples.
- ❖ Lorsque plusieurs utilisateurs (à la fois primaires et secondaires) sont dans le système, leur préférence va influencer sur la décision du spectre d'accès.

Ces utilisateurs peuvent être coopératifs ou non coopératifs dans l'accès au spectre.

- Dans un environnement non-coopératif, chaque utilisateur a son propre objectif, tandis que dans un environnement coopératif, tous les utilisateurs peuvent collaborer pour atteindre un seul objectif. Par exemple, plusieurs utilisateurs secondaires peuvent entrer en compétition les uns avec les autres pour accéder au spectre radio (par exemple, O1, O2, O3, O4 dans la **Figure I.6**) de sorte que leur débit individuel soit maximisé. Au cours de cette concurrence entre les utilisateurs secondaires, tous veillent à ce que l'interférence causée à l'utilisateur primaire est maintenue en dessous de la limite de température de brouillage correspondante. La théorie des jeux est l'outil le plus approprié pour obtenir la solution d'équilibre pour le problème du spectre dans un tel scénario.

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

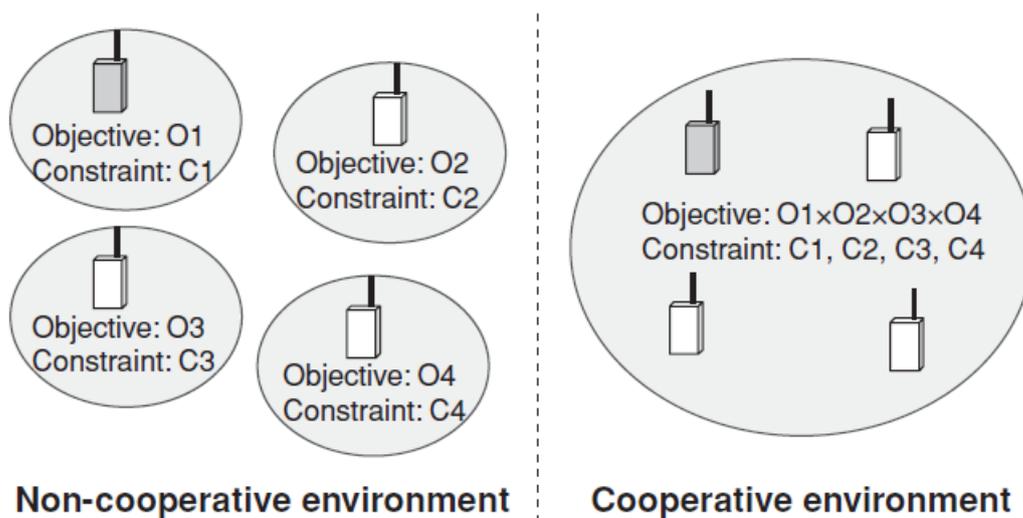


Figure I.6 : Accès au spectre coopératif et non-coopératif.

I.8.3 Mobilité du spectre (Spectrum mobility) :

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

- Recherche des meilleures bandes de fréquence disponible, la RC doit garder une trace des bandes de fréquence disponibles de sorte que si nécessaire, l'utilisateur peut passer immédiatement à d'autres bandes de fréquence.
- Quand un utilisateur secondaire effectue un transfert du spectre, doivent être prises en compte ;
 - ❖ **Auto-coexistence** : le canal cible ne doit pas être actuellement utilisé par un autre utilisateur secondaire ;
 - ❖ **Synchronisation** : le récepteur de la liaison secondaire correspondant doit être informé de la non-intervention du spectre.

I.9 Domaines d'application de la radio cognitive

Parmi les domaines d'application de la radio cognitive, on peut citer :

➤ Les réseaux sans fil de prochaine génération :

La radio opportuniste (RC) est apparue comme une technologie clé pour la prochaine génération des réseaux sans fil hétérogènes.

➤ Coexistence de différentes technologies sans fil :

IEEE 802.22, basée sur les utilisateurs WRAN peut utiliser efficacement la bande TV quand il n'y a pas d'utilisation du téléviseur à proximité ou quand une station de télévision ne diffuse pas.

➤ **Services de cyber santé (eHealth services) :**

Depuis que les équipements médicaux et les capteurs bio-signal sont sensibles aux interférences électromagnétiques, la puissance d'émission des appareils sans fil doit être soigneusement contrôlée.

En outre, différents dispositifs biomédicaux (équipement et appareils chirurgicaux, de diagnostic et de suivi) utilisent la transmission RF. L'utilisation du spectre de ces dispositifs doit être choisie avec soin pour éviter toute interférence avec l'autre. Dans ce cas, les concepts de la radio cognitive peuvent être appliqués.

➤ **Réseaux d'urgence :**

Les réseaux de sécurité publique et d'urgence peuvent profiter des concepts de la radio cognitive pour fournir la fiabilité et la flexibilité de communication sans fil.

➤ **Réseaux militaire :**

Avec la RC, les paramètres de la communication sans fil peuvent être adaptés de manière dynamique en fonction du temps et de l'emplacement ainsi que de la mission des soldats.

I.10 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre des notions importantes concernant la radio cognitive (radio logicielle, SDR, architecture de RC, cycle de cognition, composantes de la RC, fonctions de la RC et les domaines d'application) qui est un domaine alliant l'intelligence artificielle aux télécommunications. Dans le chapitre 2, nous proposons une nouvelle approche de la RC qui permet de créer des environnements ayant la capacité de s'autogérer et de s'adapter aux changements dynamique.

Chapitre II

L'informatique autonome

II.1 Introduction

L'Autonomic computing est un concept introduit par IBM en 2001 qui s'est inspiré de la biologie et plus précisément du système nerveux humain (voir figure II.1). Notre système nerveux gère efficacement notre corps sans aucune intervention de notre part [17]. Il régule le battement de notre cœur, notre température interne et notre débit respiratoire. Malgré leur vitalité et leur récurrence, ces activités sont totalement inconscientes pour l'humain. Ce qui lui permet de consacrer sa pensée à des tâches de plus haut niveau.

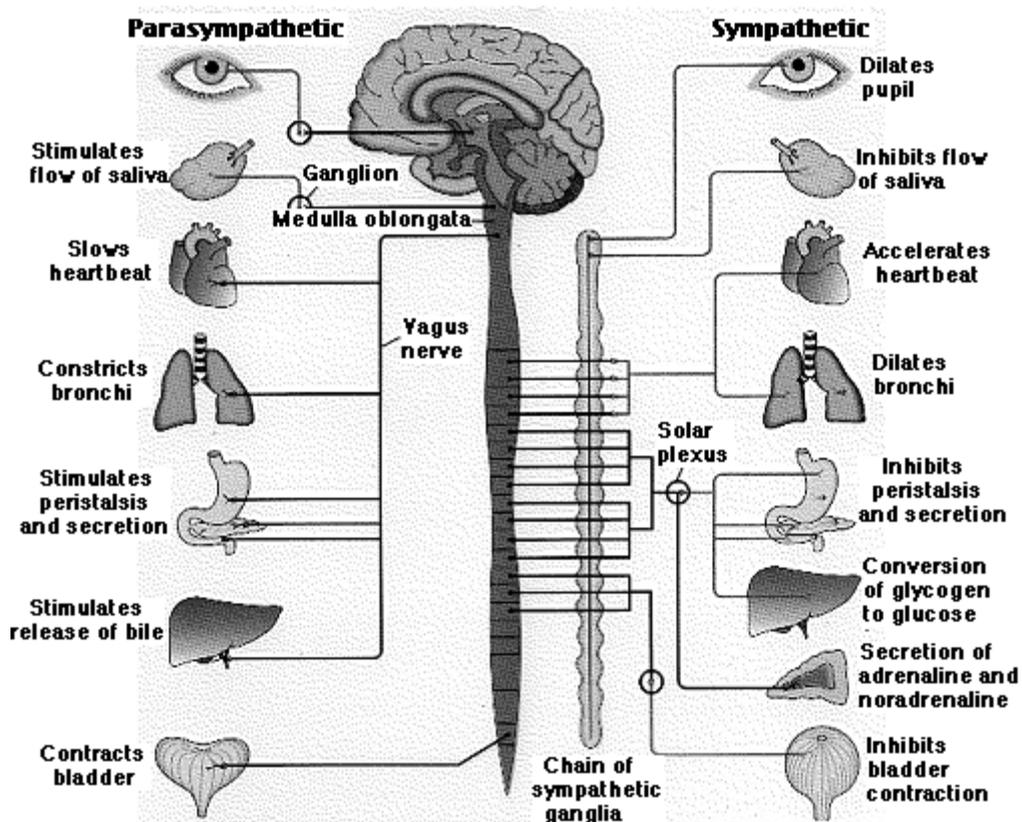


Figure II.1 : Système Nerveux Autonome [18].

II.2 Définition

L'Autonomic computing est la capacité d'un système à s'auto-gérer, étant donné des objectifs de haut niveau. Les capacités d'auto-gestion accomplissent leurs fonctions en décidant quelle action appropriée à entreprendre pour une ou plusieurs situations détectées dans leur environnement. [19]

Suscité par la croissance et la complexité des systèmes informatiques, l'autonomic computing vise à gérer automatiquement les systèmes informatiques, diminuer le coût de leur maintenance et garantir la disponibilité des services et des ressources. Les systèmes dotés de cette capacité sont dits autonomes.

II.3 Les propriétés d'informatique autonome

Selon les recherches d'IBM sur l'informatique autonome, ils introduisent huit caractéristiques de base du système nerveux autonome [20].

a. Un système d'informatique autonome devrait avoir la connaissance entière de lui et ses composants.

Un système autonome, à besoin de données détaillées de ses composants, son état actuel, sa capacité et l'auto-gouvernance de toutes les connexions avec d'autres systèmes. Il est nécessaire de connaître le degré de sa "propriété" des ressources, ils peuvent emprunter ou prêter, et ces systèmes la peuvent être partagés ou doit être isolé.

b. Un système d'informatique autonome devrait avoir la capacité de se configurer pour s'adapter "aux conditions imprévisibles".

La configuration du système doit se produire automatiquement, comme cela doit avoir des ajustements dynamiques de cette configuration pour mieux gérer les évolutions des environnements.

c. Un système d'informatique autonome devrait toujours avoir la capacité de s'optimiser.

Le système informatique autonome doit avoir la capacité d'optimiser ses tâches. Optimiser signifie qu'il doit hiérarchiser les tâches et aussi il faut utiliser le chemin optimal pour accomplir l'objectif. Et le système nerveux autonome doit avoir la capacité de gérer ses ressources.

d. Un système d'informatique autonome devrait avoir la capacité de survivre et du rétablissement de quelques erreurs sérieuses.

Il doit être en mesure de détecter les problèmes ou des problèmes potentiels, puis de trouver une autre façon d'utiliser les ressources ou bien reconfigurer le système pour qu'il continue de fonctionner sans collisions.

Dans un premier temps, "la guérison" prise par un système autonome, suivra les règles générées par les experts. Mais comme nous avons intégré plus d'intelligence en systèmes informatiques, ils commenceront à découvrir de nouvelles règles sur leurs propres systèmes qui les aident à utiliser la redondance du système ou des ressources supplémentaires

permettant de récupérer et atteindre l'objectif principal ainsi que l'accomplissement de cette tâche.

- e. **Un système d'informatique autonome devrait avoir la capacité de se protéger contre les différents types d'attaques et de maintenir globalement la sécurité et l'intégrité d'un système.**
- f. **Un système d'informatique autonome devrait être conscient de son environnement d'exploitation, et agit en conséquence.**

C'est presque l'auto-optimisation qui est tournée vers l'extérieur; un système autonome va trouver et générer des règles pour savoir comment interagir avec les systèmes voisins. Il va puiser les ressources disponibles, même de négocier l'utilisation par d'autres systèmes de ses éléments, modifiant à la fois son système et son environnement dans le processus.

- g. **Un système informatique autonome ne peut pas exister dans un environnement hermétique.**

Bien qu'indépendant à gérer sa capacité, le système informatique autonome doit fonctionner dans un monde hétérogène et de mettre en œuvre des standards ouverts.

- h. **Un système d'informatique autonome devrait garder la complexité de ses travaux cachés d'utilisateurs.**

C'est le but ultime de l'informatique autonome : le regroupement des ressources IT pour réduire le fossé entre l'entreprise ou des objectifs personnels de nos clients, et la mise en œuvre nécessaires d'IT pour atteindre ces objectifs, sans impliquer l'utilisateur dans cette mise en œuvre.

II.4 Quatre éléments de base de calcul autonome

En examinons les huit caractéristiques de recherches cité avant, ces derniers identifient que l'informatique autonome dispose de quatre éléments de base : l'auto-configuration, l'auto-guérison, l'auto-optimisation et l'auto-protection comme le montre la Figure II.2.

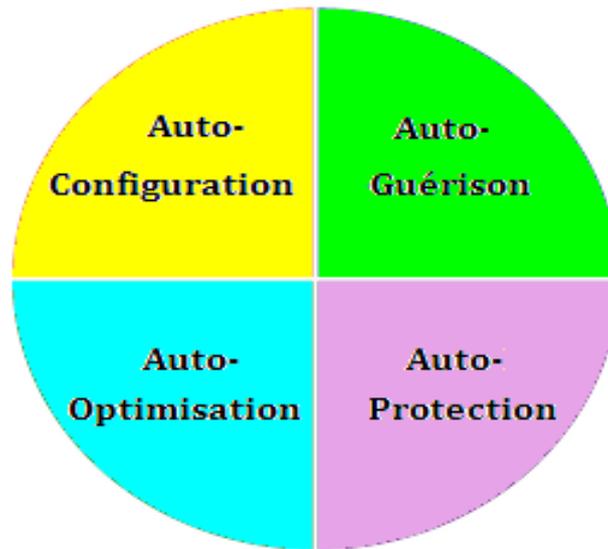


Figure II.2 : Les quatre éléments de base [21].

II.4.1 L'auto-configuration

Installer, configurer et intégrer de grands systèmes complexes dans des délais très courts et sans erreurs est une tâche complexe dans l'environnement réseau hétérogène actuel.

Permet à un système de s'adapter automatiquement aux conditions imprévisibles en changeant sa configuration, sans perturber le service.

Cela peut se faire par un simple ajout ou suppression d'un constituant du système ou par la modification d'un ou de plusieurs paramètres.

II.4.2 L'auto-guérison

La détection de pannes et des dysfonctionnements peut être une tâche très complexe dans les réseaux.

Permet à un système de réparer automatiquement une panne. L'auto-guérison consiste à détecter la panne, la diagnostiquer et par la suite la réparer.

II.4.3 L'auto-optimisation

Très peu d'experts sont capables d'ajuster les paramètres de manière la plus optimale possible.

L'ajustement des performances d'un sous système peut avoir des conséquences imprévisibles sur le système global.

Permet à un système d'optimiser régulièrement sa configuration afin de garantir le fonctionnement optimal ainsi que le respect de ses contraintes. Cette propriété peut être proactive afin d'améliorer sa configuration par rapport à son état précédent, ou réactive pour répondre aux contraintes de son environnement.

II.4.4 L'auto-protection

La stabilité des réseaux et des services peut être remise en cause par le biais d'actions volontaires ou non.

Permet à un système de détecter, identifier et se protéger contre les virus, les accès non autorisés, les attaques de dénis de service, etc.

L'informatique autonome Vs l'informatique actuelle

Le tableau II.1 compare les quatre états d'informatique autonome selon la manière dont l'informatique gère aujourd'hui et celle avec les systèmes autonomes.

Concept	Informatique actuelle	Informatique autonome
L'auto-configuration	Des entreprises de centres de données ont plusieurs fournisseurs et des plateformes. L'installation, la configuration et l'intégration des systèmes sont des processus qui prennent beaucoup de temps et d'erreurs.	La configuration automatisée des composants et des systèmes suit des hauts niveaux politiques. Le reste du système règle automatiquement et de manière transparente.
L'auto-optimisation	Les systèmes ont défini des centaines de paramètres de réglage manuellement non linéaire, et leur nombre augmente avec chaque version.	Les Composants et les systèmes cherchent sans cesse des possibilités d'améliorer leurs propres performances et leurs efficacités.
L'auto-guérison	La détermination du problème dans les grands systèmes complexes, peuvent prendre a une équipe de programmeurs des semaines de travail.	Le système détecte automatiquement les diagnostics, les réparations et les problèmes localisés des matériels et logiciels.
L'auto-protection	Suite à des pannes en cascade, la détection et la récupération des attaques sont manuel.	Le système se défend automatiquement contre les attaques malveillantes ou pannes en cascade. Il utilise des alertes rapide afin d'anticiper et de prévenir les défaillances du système.

Tableau II.1 Comparaison entre l'informatique actuelle et autonome [22].

II.5 Architecture de l'informatique autonome

IBM [23] a proposé une architecture de référence, telle que présentée par la Figure II.3 Cette architecture est assez générale, décrivant les différentes entités qui constituent un système autonome et leurs interactions. Elle est composée de :

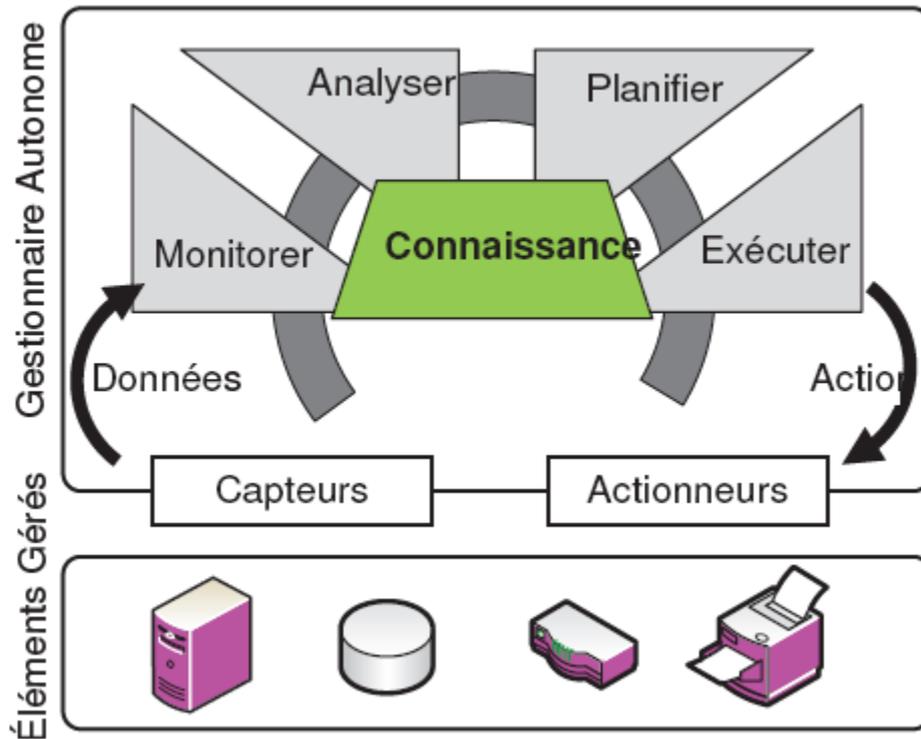


Figure II.3 : Architecture d'un système autonome proposée par IBM. [24]

a. Un gestionnaire autonome (*autonomic manager*)

Implémentant la boucle de contrôle autonome, les systèmes autonomes sont basés sur la notion de boucle de contrôle (voir figure II.4). Largement étudiées dans l'automatique, les boucles de contrôle sont basées sur le principe de rétroaction qui se fait en trois phases :

- Une phase d'observation, où un événement ou un problème donné est détecté,
- Une phase de décision suite à l'événement, qui permet de choisir quelle action à entreprendre pour résoudre le problème détecté, et
- Une phase d'action ou de réaction exécutant la décision prise.

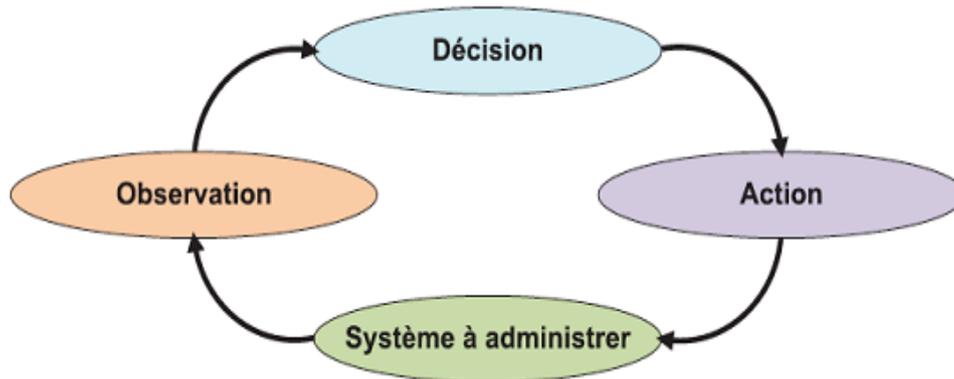


Figure II.4 : Boucle de contrôle autonome. [24]

b. Des éléments à gérer

Cela peut être n'importe quel composant dans le système autonome, comme un serveur, une base de données, ou un fichier, ou il peut y avoir de nombreux éléments liés plus importants, comme une grappe de serveurs, une application logicielle complète, ou même une unité d'affaires.

Le gestionnaire autonome impose aux éléments à gérer, dans le cycle de la boucle de contrôle autonome, un comportement particulier aux éléments gérés. Le gestionnaire autonome est composé de plusieurs parties :

La connaissance : c'est la partie principale du gestionnaire. Elle permet de sauvegarder les informations relatives aux éléments à gérer à savoir l'historique, le comportement interne et les informations relatives à la politique de gestion de chaque élément à gérer.

Cette partie doit mettre à jour régulièrement son contenu.

Le monitoring : cette partie représente l'interface entre les éléments à gérer et les autres parties du gestionnaire autonome. Elle permet de récupérer les données des différents éléments à gérer, les agréger et fournir ces informations à la partie analyse.

L'analyse : elle récupère les informations de la partie monitoring et les analyse afin d'identifier les informations relatives à un mauvais fonctionnement ou les informations concernant les portions à optimiser ou à protéger.

La planification : cette partie décide des actions à entreprendre pour réparer ou optimiser ou protéger les éléments à gérer.

L'exécution : enfin, ce composant récupère l'ensemble des actions à envoyer aux éléments à gérer et les exécute.

Afin d'interagir avec les éléments à gérer, le gestionnaire autonome est doté d'un ensemble de capteurs et d'actionneurs. Les capteurs produisent des informations des éléments à gérer et les actionneurs sont utilisés pour exécuter une action. Pour des raisons de généralité de l'architecture, IBM n'a pas spécifié plus de détails concernant les interactions entre les différents constituants de cette architecture.

II.6 Avantages de l'informatique autonome

Le principal avantage de l'informatique autonome est le réduit du TCO (Total Cost of Ownership). Les pannes seront moins fréquentes, ce qui réduit considérablement les coûts de maintenance. Moins de personnel sera nécessaire pour gérer les systèmes.

L'avantage le plus immédiat de l'informatique autonome sera de réduire le coût de déploiement, de la maintenance et de la stabilité accrue des systèmes d'IT grâce à l'automatisation. IBM indique également que les systèmes autonomes peuvent réduire le temps pour le déploiement de nouveaux systèmes.

Le défi pour un client aujourd'hui, c'est que son infrastructure informatique est probablement hétérogène, ce qui signifie qu'il est composé de matériel provenant de plusieurs fournisseurs. Cela rend de plus en plus difficile d'ajouter des systèmes et de les gérer. Les clients passent les trois quarts de leur temps à déployer des applications et des coûts sur l'équation d'intégration. Nous avons besoin de capacités autonomes de telle sorte que leurs infrastructures informatiques peuvent être auto-configurables, auto-guérisables, auto-optimisables et auto-protégeables.

Un autre avantage de cette technologie est qu'elle permet la consolidation des serveurs afin d'optimiser la disponibilité du système, et minimise les coûts et les efforts humains pour gérer les batteries de serveurs de grande taille. [25]

II.7 Informatique autonome recherche, Enjeux et défis

II.7.1 Défis conceptuels

- ✓ Identifier les abstractions et les modèles pour spécifier, comprendre, contrôler et implanter les comportements autonomiques
- ✓ Adapter les théories existantes/classiques aux systèmes informatiques dynamiques
- ✓ Offrir des modèles de négociation permettant aux gestionnaires autonomiques de former des relations

- ✓ Concevoir des modèles statistiques permettant la création de modèles globaux de systèmes répartis et à large échelle, à partir de données locales (niveau service ou équipement)

II.7.2 Défis architecturaux

- ✓ Spécifier et construire des architectures permettant l'intégration d'éléments autonomes dans des applications/systèmes autonomes
- ✓ Permettre la spécification d'objectifs d'autogestion au niveau local et global
- ✓ Garantir la robustesse et la performance du système autonome résultant

II.7.3 Défis Middleware

- ✓ Offrir des services pour l'implantation de fonctions d'autogestion fiables, efficaces, qui passent à l'échelle
- ✓ Ex : surveillance de variables, découverte, communication par message, sécurité, identification, interconnexion dynamique, ...

II.7.4 Défis d'application

- ✓ Construire des applications et des systèmes capables de s'autogérer (auto-optimiser, réparer, configurer, protéger, ..)
- ✓ Fournir des modèles de programmation, des mécanismes de composition dynamique de composants, ...
- ✓ Fournir des outils qui facilitent la mise en œuvre, l'exécution et la gestion des applications autonomes

II .8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le paradigme d'informatique autonome incluant ses propriétés, architecture, les défis d'informatique autonome. Dans le chapitre suivant, nous proposons une nouvelle approche de la RC et implémentée à l'aide de la plateforme JADE.

Chapitre III

**Implémentation de la solution
proposée à l'aide de l'outil JADE**

III.1 Introduction

La radio cognitive est une technologie émergente en matière d'accès sans fil, visant à améliorer considérablement l'utilisation du spectre radio en permettant d'y accéder de manière opportuniste. Dans ce PEF, nous nous intéressons à établir le lien entre la radio cognitive et les réseaux autonomes. Pour cela, nous nous sommes basés sur l'approche proposée dans [26]. Donc, en se basant sur la notion d'autonomie, nous allons présenter une approche qui permet de gérer les éventuels problèmes d'interférences susceptible d'apparaître entre un utilisateur primaire (PU) possédant une licence sur le spectre et un utilisateur secondaire (SU) qui va allouer des canaux sur ce spectre.

III.2 Topologie du réseau utilisé

Dans ce travail, nous proposons d'utiliser une architecture de réseau ad hoc, car ce type de réseau est capable de s'organiser de manière autonome sans infrastructure fixe. La figure III.1 illustre la topologie du réseau utilisé, un environnement RC ad hoc composants d'un seul SU et de plusieurs PUs.

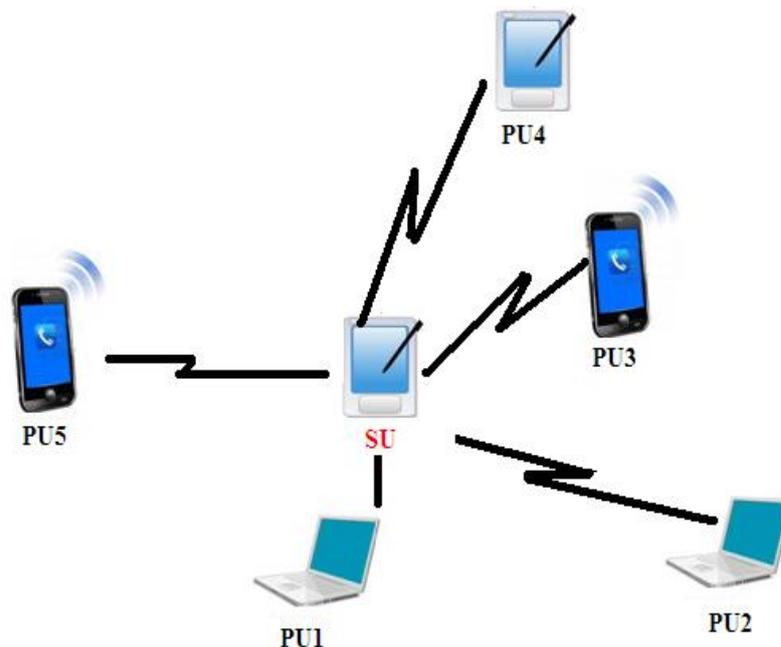


Figure III.1 : Topologie du réseau (mode ad hoc).

III.3 Adaptation entre les réseaux autonomes et la radio cognitive

L'autonomie dans les réseaux de radio cognitive est principalement focaliser sur la gestion du spectre qui permet l'amélioration du débit sans pour autant à dégrader les communications des autres. Un réseau autonome est caractérisé par quatre points bien distincts: l'auto-optimisation, l'auto-configuration, l'auto-protection et l'auto-guérison.

Nous nous intéressons dans ce PEF à deux caractéristiques des réseaux autonomes, l'auto-protection et l'auto-guérison. La figure III.2 explicite le lien entre ces deux caractéristiques et la radio cognitive.

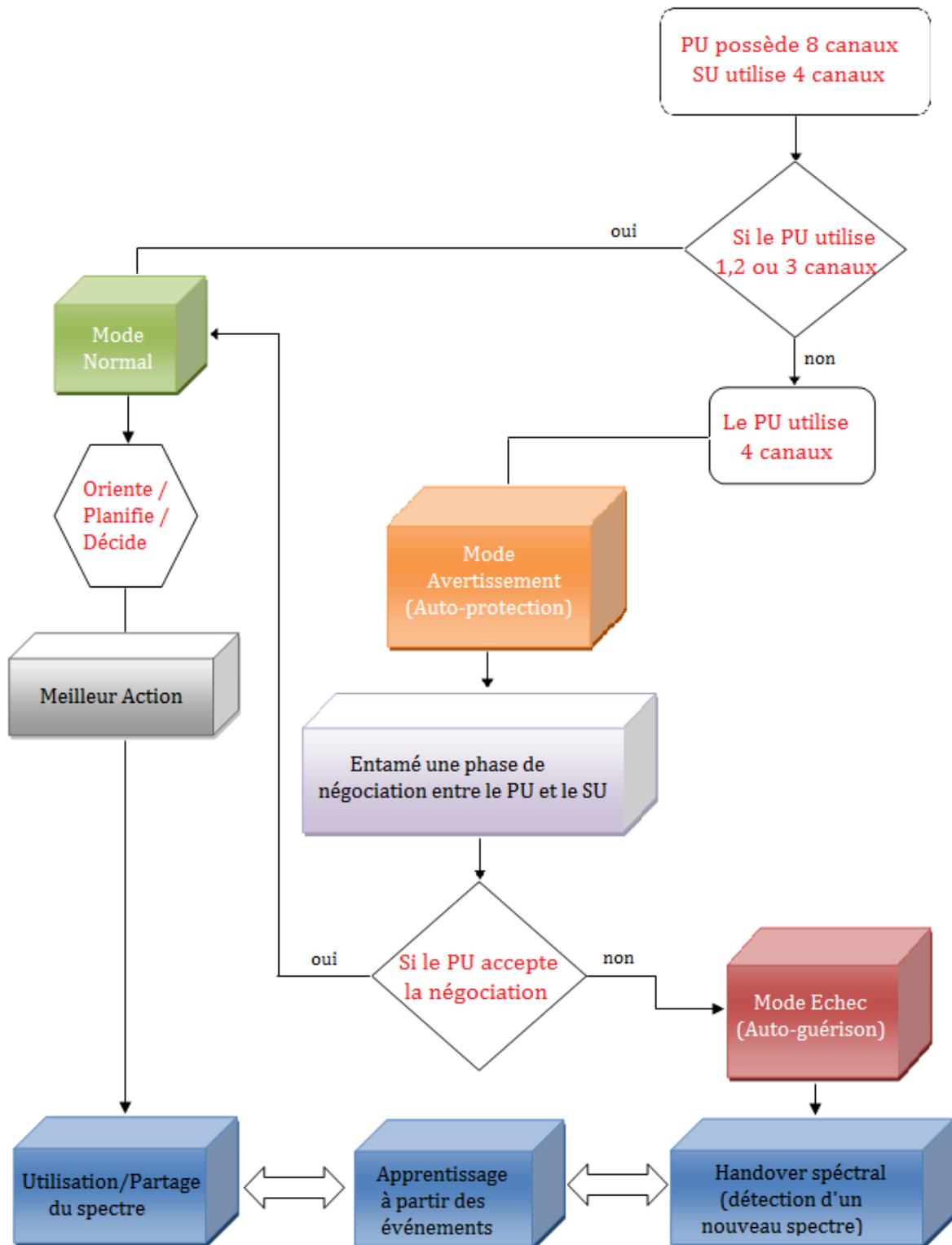


Figure III.2 : Auto-protection et auto-guérison d'un nœud radio cognitif pour la gestion des échecs [26].

III.4 Outils utilisés

III.4.1 JADE



JADE (Java Agent Development Framework - Bellifemine, Poggi, Rimassa, 1999) est une plate-forme de développement d'agents gratuite et Open Source développée par CSELT (Groupe de recherche de Gruppo Telecom, Italie) et qui résulte principalement des activités de recherche. [27]

Ces principales caractéristiques sont : [27]

Simplification de l'implémentation d'un SMA à travers un Middleware répondant aux spécifications de la FIPA une librairie de classes que les utilisateurs peuvent utiliser et étendre ; JADE assure une communication transparente par l'échange de messages dans le langage normalisé FIPA-ACL;

JADE a comme but la construction des systèmes multi-agents et la réalisation d'applications conformes à la norme FIPA (FIPA, 1997).

La plateforme JADE inclut tous les composants obligatoires qui contrôlent un système multi-agent. Ces composants sont : [27]

- Le **Canal de Communication entre Agents** (Agent Communication Channel - ACC) est l'agent qui fournit la route pour les interactions de base entre les agents dans et hors de la plate-forme ; c'est la méthode de communication implicite qui offre un service fiable et précis pour le routage des messages ; il doit aussi être compatible avec le protocole IIOP pour l'interopérabilité entre les différentes plates-formes multi-agents.
- Le **Système de Gestion d'Agents** (Agent Management System - AMS) est l'agent qui exerce le contrôle de supervision sur l'accès à et l'usage de la plate-forme ; il est responsable de l'authentification des agents résidents et du contrôle d'enregistrements.
- Le **Facilitateur d'Annuaire** (Directory Facilitator - DF) est l'agent qui fournit un service de pages jaunes à la plate-forme multi-agents.
- **Dummy Agent (DA)**, cet outil permet aux utilisateurs d'interagir avec les agents JADE d'une façon particulière. L'interface permet la composition et l'envoi de messages ACL et maintient une liste de messages ACL envoyés et reçus.
- **Sniffer Agent (SA)** : quand un utilisateur décide d'épier un agent ou un groupe d'agents, il utilise un agent Sniffer. Chaque message partant ou allant vers ce groupe est capté et affiché sur l'interface du sniffer. L'utilisateur peut voir et enregistrer tous les messages, pour

éventuellement les analyser plus tard. L'agent peut être lancé du menu du RMA ou de la ligne de commande suivant **Java jade.Boot sniffer : jade.tools.sniffer.sniffer**.

- **Introspector Agent** : Cet agent permet de gérer et de contrôler le cycle de vie d'un agent s'exécutant et de la file de ses messages envoyés et reçus.

III.4.1 Jfreechart

JFreeChart est une librairie gratuite d'édition de graphique pour la plateforme Java. Il est conçu pour inclus dans des applications, applets, servlets et JSP. JFreeChart est distribué avec le code sources complets sous les termes d'une License GNU Lesser General Public Licence, ce qui permet à JFreeChart d'être utilisé dans des applications libres ou propriétaires. [28]

III.5 Présentation de l'application

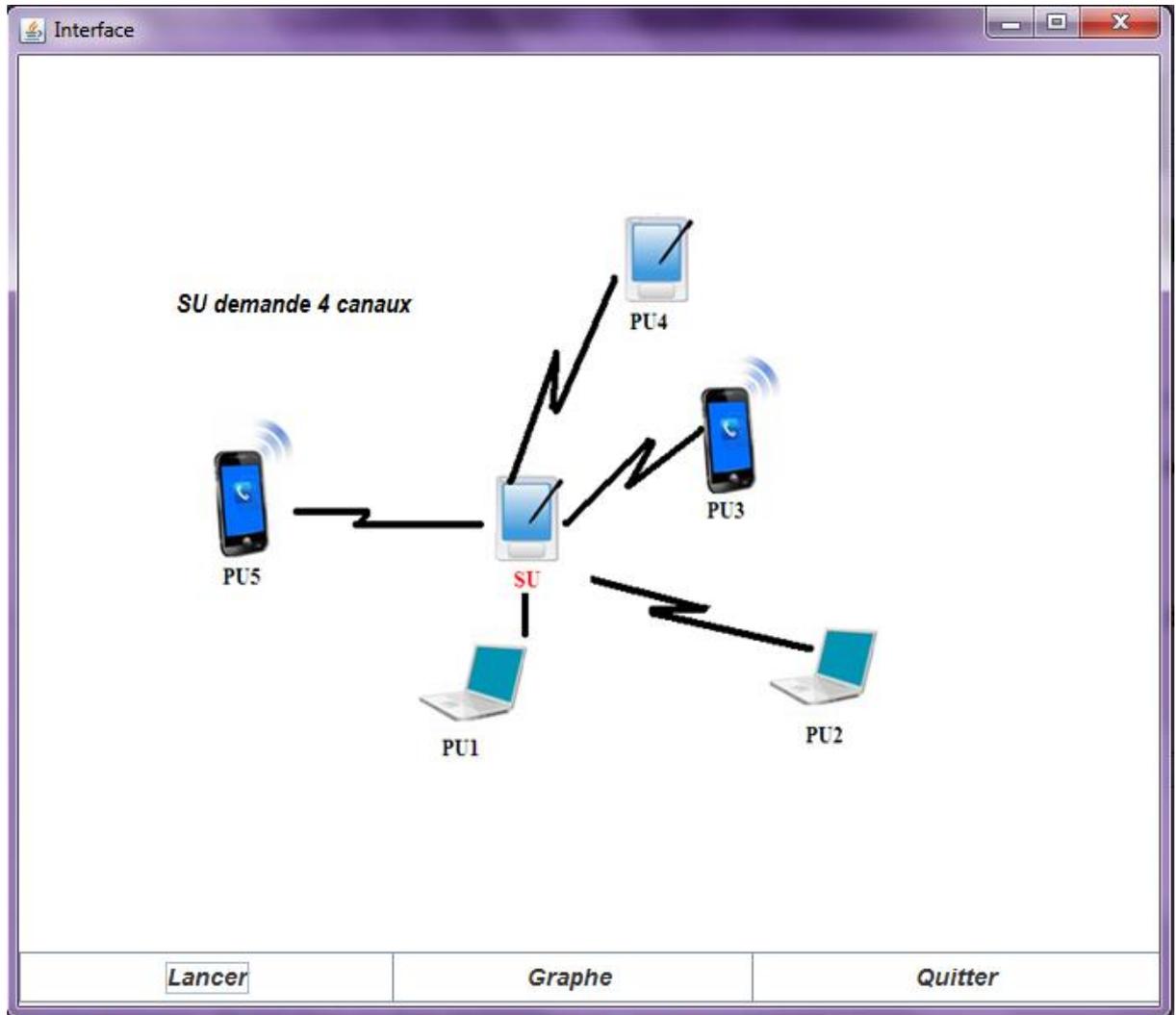
III.5.1 L'interface principale

L'IHM suivante montre l'accueil de notre application.



Figure III.3 : Page d'accueil.

Le bouton « Démarrer » lance l'interface suivante :

**Figure III.4** : Interface.

On a trois boutons « Lancer », «Graphe » et « Quitter » :

- ✓ **Lancer** : pour lancer l'interface graphique de JADE et commencer la simulation.
- ✓ **Graphe** : afficher les résultats sous forme graphiques.
- ✓ **Quitter** : pour quitter l'application.

III.6 Simulation

III.6.1 Présentation d'un scénario de simulation

Dans ce qui suit, nous allons présenter un scénario de simulation dans le quel on utilise 1 SU et 5 PUs. Dans cette simulation tous les PUs ont exactement 8 canaux. La figure III.5 donne une idée sur notre simulation.



Figure III. 5: Interface de simulation.

Au départ le SU va allouer 4 canaux avec l'accord de PU1, PU1 utilise 4 canaux dans ce cas, on est dans le **mode Avertissement**, l'utilisation de ses 8 canaux peut causer l'interférence entre le SU et le PU1 pendant la transmission, alors une phase de négociation sera entamée entre le PU1 et le SU, c'est ce que nous appelons l'**Auto-protection**.

Dans notre cas, le PU1 n'a pas accepté la négociation avec le SU « le SU est dans le **Mode Echec** ». Le signal sera très faible et l'échec de la connexion sera garanti et aucune phase de négociation ne sera accordée. Donc une nouvelle phase est exigée, on parle alors de l'**Auto-guérison**. Dans ce cas le SU effectue un changement du spectre « Handover Spectrale » vers le PU2 (la décision d'accepter ou de refuser une négociation par un PU est programmée à l'aide d'une fonction qui retourne une variable booléenne d'une manière aléatoire (true : veut dire que le PU a accepté la négociation et false pour indiquer le contraire).

Le nombre de canaux libre dans PU2 est 3 (5 canaux sont utilisés par le PU2), le PU2 ne peut pas satisfaire le SU (SU demande 4 canaux), dans ce cas le SU est dans le **Mode Echec** et donc va effectuer un changement de spectre vers PU3.

Le nombre de canaux libre dans PU3 est 1 (7 canaux sont utilisé par le PU3), le PU3 ne peut pas satisfaire le SU (SU demande 4 canaux), dans ce cas le SU est dans le **Mode Echec** donc va effectuer un changement de spectre vers PU4.

Enfin, le nombre de canaux libre dans PU4 est 6 (2 canaux sont utilisé par le PU4), le SU est dans le **Mode Normal**, donc le PU4 peut partager le spectre avec le SU sans interférence.

III.6.2 Interaction entre le SU et les PUs en fonction des différents modes

Dans ce qui suit, nous allons présenter les interactions entre le SU et les PUs en fonction des différents modes dans lesquels va se retrouver le SU. Si le nombre de canaux utilisé par le PU1 est 4, dans ce cas le SU est dans le **Mode Avertissement** (le SU utilise 4 canaux), l'utilisation de ses 8 canaux peut causer l'interférence entre le SU et le PU1 pendant la transmission, alors une phase de négociation sera entamée entre le SU et le PU1. On parle alors de l'auto-protection. Après la négociation nous aurions deux cas possibles :

1^{er} cas: le PU1 accepte la négociation.

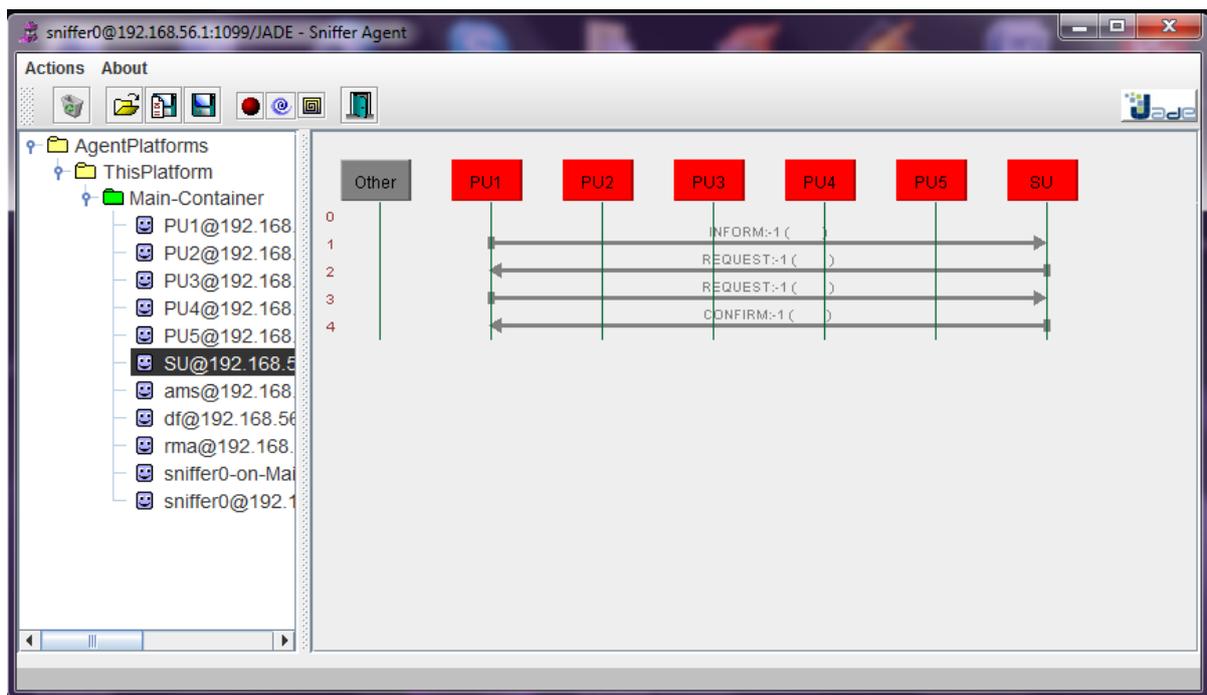


Figure III.6 : Agent Sniffer.

D'après la Figure III.6, le PU1 coopère avec le SU et accepte à assigner au moins un canal de transmission, donc le SU retourne au premier scénario « c.-à-d. **Mode Normal** ».

2^{ème} cas: le PU1 refuse la négociation.

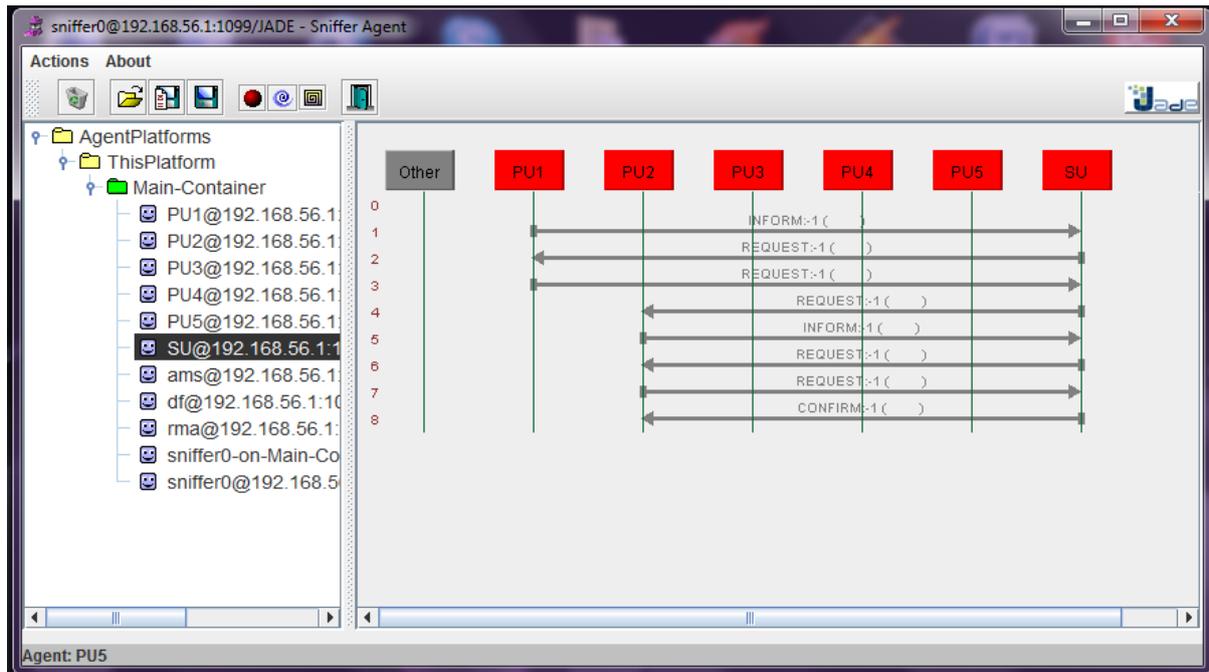


Figure III.7 : Agent Sniffer.

D'après la Figure III.7, le PU1 n'accepte pas la négociation avec le SU « le SU est dans le **Mode Echec** », le signal sera très faible et l'échec de connexion sera garantie et aucune phase de négociation ne sera accordée. Donc une nouvelle phase est exigée, on parle alors de l'auto-guérison. Dans ce cas le SU effectue un Handover Spectral vers PU2.

Le nombre de canaux libre dans PU2 est 4, dans ce cas le SU est dans le **Mode Avertissement**, alors une phase de négociation sera entamée entre le SU et le PU2. Après la négociation, le PU2 coopère avec le SU et accepte à assigner au moins un canal de transmission, donc le SU retourne au premier scénario « c.-à-d. **Mode Normal** ».

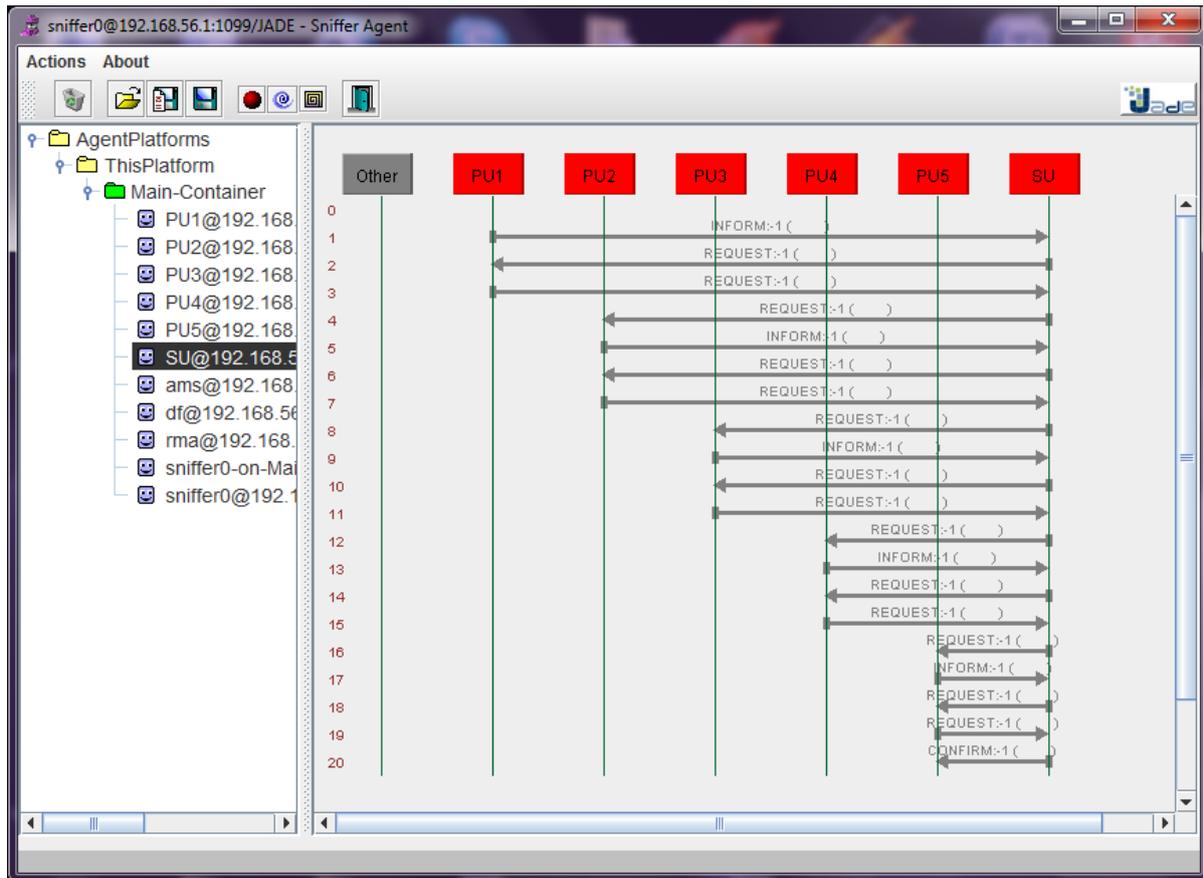


Figure III.8 : Agent Sniffer.

Un autre scénario se présente dans la figure III.8, dans ce cas le PU2 n'accepte pas la négociation avec le SU «le SU est dans le **Mode Echec**», donc le SU va effectuer un Handover Spectral vers PU3.

Le nombre de canaux libre dans PU3 est 4, dans ce cas le SU est dans le **Mode Avertissement**, alors une phase de négociation sera entamée entre le SU et le PU3. Après la négociation, le PU3 n'accepte pas la négociation avec le SU «le SU est dans le **Mode Echec**», donc le SU va effectuer un Handover Spectral vers PU4.

Le nombre de canaux libre dans PU4 est 4, dans ce cas le SU est dans le **Mode Avertissement**, alors une phase de négociation sera entamée entre le SU et le PU4, après la négociation, le PU4 n'accepte pas la négociation avec le SU «SU est dans le **Mode Echec**», donc le SU va effectuer un Handover Spectral vers PU5.

Le nombre de canaux libre dans PU 5 est 4, dans ce cas le SU est dans le **Mode Avertissement**, alors une phase de négociation sera entamée entre le SU et le PU 5, après la

négociation, le PU5 coopère avec le SU et accepte à assigner au moins un canal de transmission, donc le SU retourne au premier scénario « c.-à-d. **Mode Normal** ».

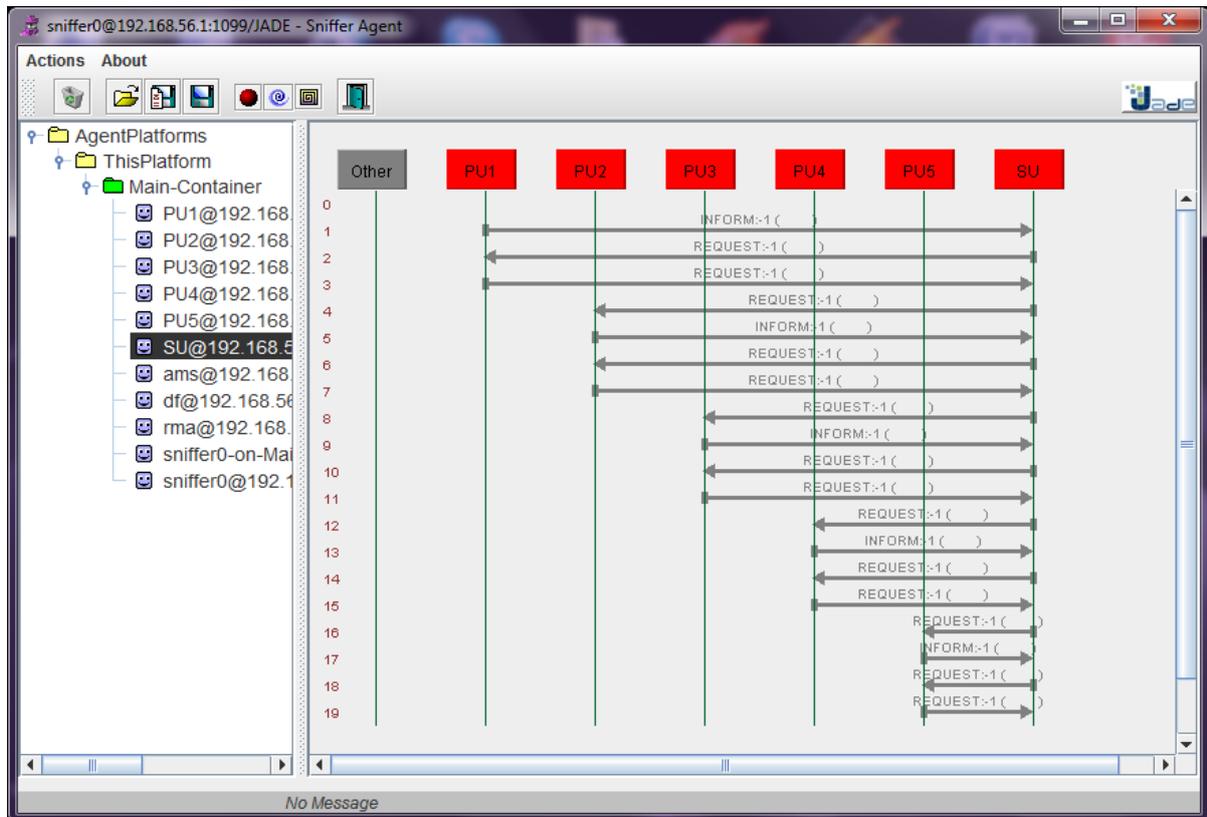


Figure III.9 : Agent Sniffer.

Un autre scénario se présente dans la figure III.9 où le PU5 n'accepte pas la négociation avec le SU « le SU est dans le **Mode Echec** ».

III.6.3 Résultats obtenus

Le bouton *Graph* de l'interface principale permet d'afficher les résultats sous forme graphiques. La figure suivante donne un aperçu sur l'IHM lancée.

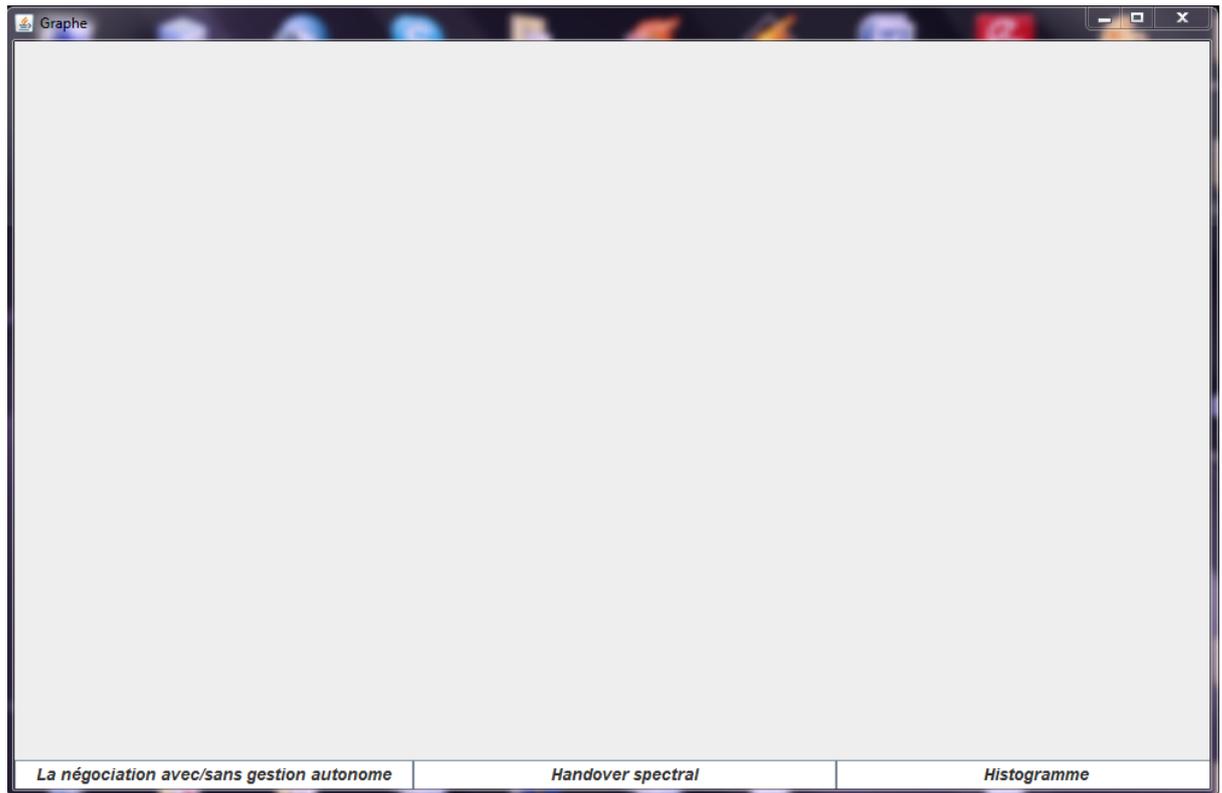


Figure III.10 : Interface de graphique.

Pour montrer et valider l'intérêt d'une gestion autonome des nœuds RC, nous avons effectué quelques mesures qui sont montrés dans les graphes suivants.

III.6.3.1 L'impact du taux d'échec de la négociation (avec/sans) gestion autonome sur la valeur cumulée de l'interférence

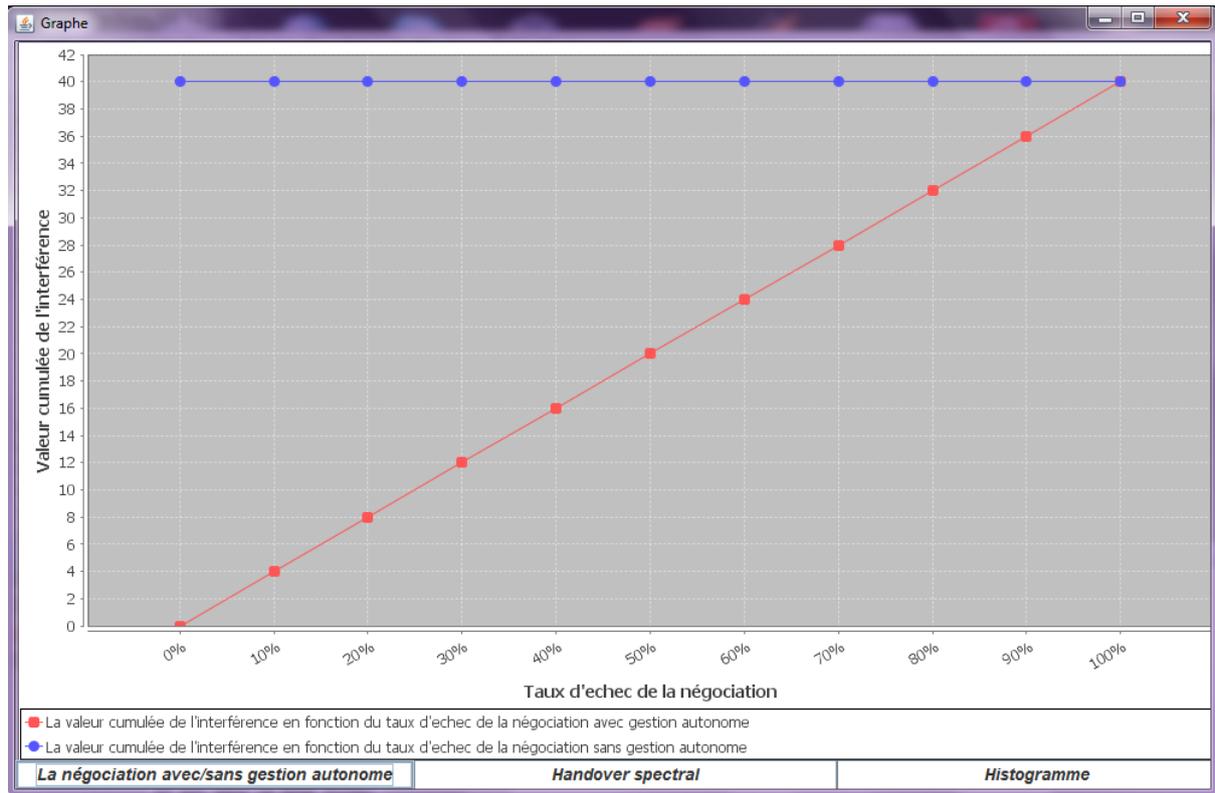


Figure III.11 : L'impact du taux d'échec de la négociation (avec/sans) gestion autonome sur la valeur cumulée de l'interférence.

Dans le cas des interférences entre le SU et le PU, nous avons supposé que cette valeur d'interférence est égale à une valeur α (pour simplifier, nous avons pris $\alpha = 4$). On s'est intéressé par la suite à la valeur cumulée de l'interférence sans et avec gestion autonome. Nous avons pris comme paramètre le taux d'échec de la négociation.

D'après la Figure III.11, nous remarquons que la valeur cumulée de l'interférence en fonction du taux d'échec de la négociation sans gestion autonome est toujours égale à 40 car tous simplement il n'y a pas de négociation entre les nœuds dans ce cas.

La valeur de l'interférence en fonction du taux d'échec de la négociation avec gestion autonome est calculée comme suit:

- 0% : la valeur cumulée de l'interférence = 0 « Négociation réussie à 100% » (les 10 PUs acceptent la négociation).
- 10% : la valeur cumulée de l'interférence = 4 (9 PUs acceptent la négociation, 1 seul PU a refusé la négociation).
- 20% : la valeur cumulée de l'interférence = 8 (8 PUs acceptent la négociation, 2 PUs refusent la négociation).

- 30% : la valeur cumulée de l'interférence = 12 (7 PUs acceptent la négociation, 3 PUs refusent la négociation).
- 40% : la valeur cumulée de l'interférence = 16 (6 PUs acceptent la négociation, 4 PUs refusent la négociation).
- 50% : la valeur cumulée de l'interférence = 20 (5 PUs acceptent la négociation, 5 PUs refusent la négociation).
- 60% : la valeur cumulée de l'interférence = 24 (4 PUs acceptent la négociation, 6 PUs refusent la négociation).
- 70% : la valeur cumulée de l'interférence = 28 (3 PUs acceptent la négociation, 7 PUs refusent la négociation).
- 80% : la valeur cumulée de l'interférence = 32 (2 PUs acceptent la négociation, 8 PUs refusent la négociation).
- 90% : la valeur cumulée de l'interférence = 36 (1 PU accepte la négociation, 9 PUs refusent la négociation).
- 100% : la valeur cumulée de l'interférence = 40 « Négociation non réussie » (les 10 PUs refusent la négociation).

Dans le graphe suivant, on voit clairement l'intérêt de la négociation (la gestion autonome) pour réduire la valeur cumulée de l'interférence. Avec une gestion autonome, on réduit considérablement les interférences.

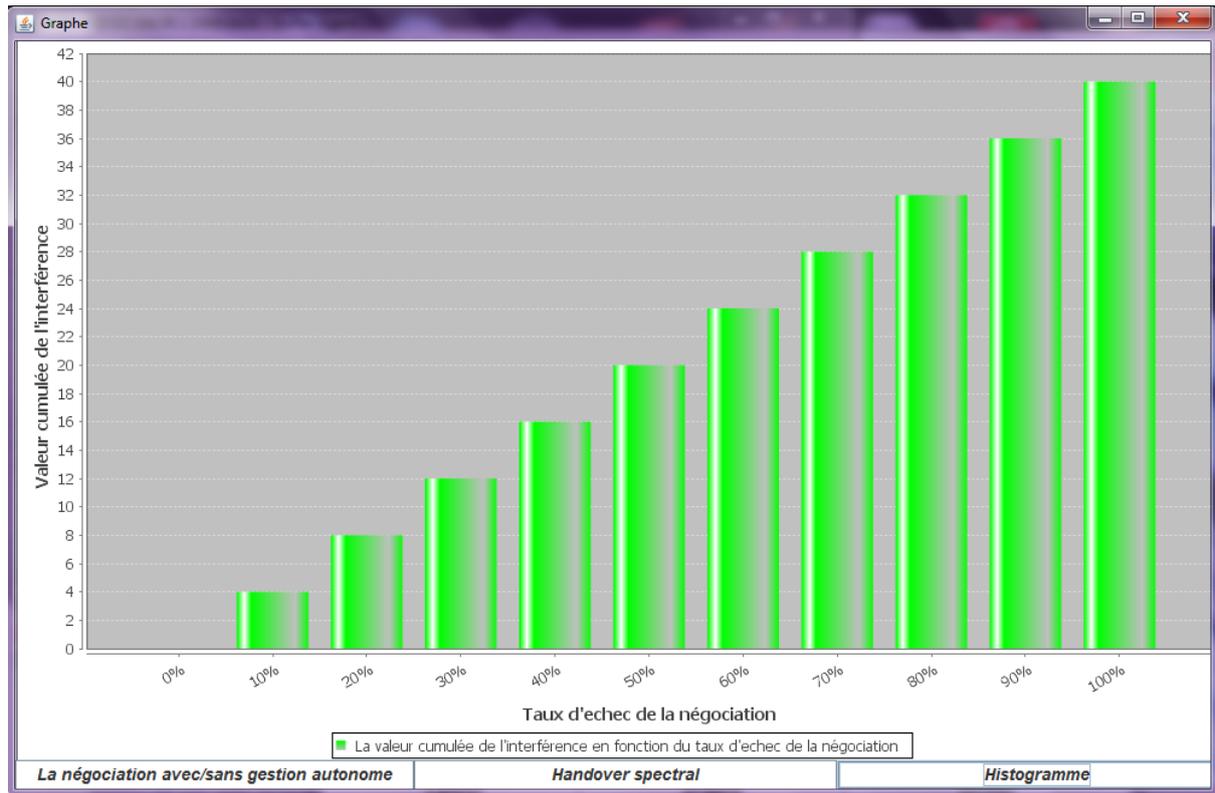


Figure III.12 : L'impact du taux d'échec de la négociation sur la valeur cumulée de l'interférence.

III.6.3.2 L'impact du taux d'échec de la négociation sur le nombre de Handover Spectral

La figure III.13 montre l'impact du taux d'échec de la négociation sur le nombre de Handover Spectral effectué par le SU. Dans le cas d'une réussite à 100% de la négociation (0% échec), le nombre de Handover Spectral est égal à 0. Les 10 PUs dans ce cas ont accepté la négociation donc aucun changement du spectre n'est nécessaire pour le SU. Dans le cas d'un échec de la négociation (taux échec de 10% à 100%), le SU effectuera systématiquement un changement de spectre ou autrement dit un Handover Spectral.

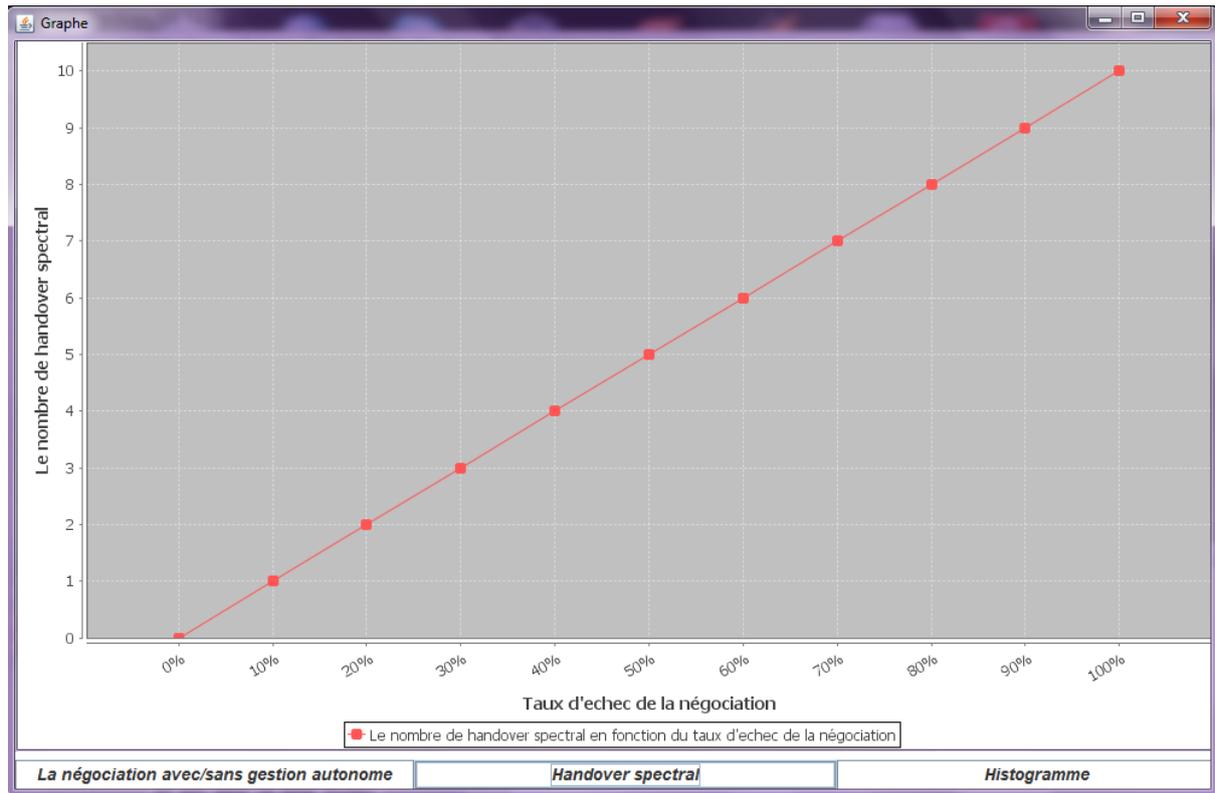


Figure III.13 : L'impact du taux d'échec de la négociation sur le nombre de Handover Spectral.

Pour résumer, on peut dire qu'une gestion autonome des nœuds RC permet d'améliorer la gestion spectrale dans le contexte de la RC car elle permet de réduire les interférences mais en contre partie elle va générer un nombre de Handover Spectral à assumer dans ce contexte.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la relation entre la gestion autonome et la radio cognitive en se focalisant sur deux propriétés des réseaux autonomes qui sont « l'auto-protection » et « l'auto-guérison ». A travers les simulations que nous avons réalisées, nous avons pu constater l'intérêt de la gestion autonome dans le contexte d'un réseau de radio cognitive. En effet, et à travers la négociation qui est un outil pour l'autonomie, un nœud RC peut améliorer la qualité de son spectre en réduisant les interférences.

Conclusion générale

Conclusion générale

La RC est une forme de communication sans fil dans laquelle un émetteur/récepteur peut détecter intelligemment les canaux de communication qui sont en cours d'utilisation et ceux qui ne le sont pas, et peut se déplacer vers les canaux inutilisés. Ceci permet d'optimiser l'utilisation des fréquences radio disponibles du spectre tout en minimisant les interférences avec d'autres utilisateurs. [29]

L'informatique autonome a pour but de diminuer la complexité en utilisant des technologies pour gérer un système en minimisant l'intervention d'opérateurs humains. Son objectif est de créer des environnements ayant la capacité de s'autogérer et de s'adapter aux changements dynamiques.

Dans le cadre de ce PFE, nous nous intéressons à deux caractéristiques de l'autonomie à savoir l'auto-protection en cas de menace d'interférence entre le PU et le SU et l'auto-guérison en cas de changement de spectre causé par une rupture de coopération ou manque de ressources disponibles. Les résultats obtenus à travers la simulation avec JADE ont montré l'intérêt d'appliquer les principes des réseaux autonomes dans le cadre d'un réseau de radio cognitive.

Références bibliographiques

- [1] ATIG, Chahrazed « Etude et Synthèse de la Radio Cognitive (intelligente) : Application à la télécardiologie ».
- [2] Insa Ngom et Louis Diouf « LA RADIO COGNITIVE » Master Professionnel Télécommunications 2007/2008.
- [3] Badr Benmammar et Asma Amraoui Réseaux de radio cognitive : « Allocation des ressources radio et accès dynamique au spectre »
- [4] A. Metref, « Contribution à l'étude du problème de Synchronisation de porteuse dans le contexte de la Radio Intelligente », Novembre 2010.
- [5] Hossain E., Niyam D. and Zhu Han, «Dynamic Spectrum Access and management in cognitive radio networks», Cambridge University Press 2009.
- [6] Amraoui, Asma, Wassila Baghli, and Badr Benmammar. « Amélioration de la fiabilité du lien sans fil pour un terminal radio cognitive mobile».Les 12èmes Journées Doctorales en Informatique et Réseaux (JDIR'11). 2011.
- [7] Glisic S., «ADVANCED WIRELESS NETWORKS Cognitive, Cooperative and Opportunistic 4G Technology», Second Edition, University of Oulu, Finland
- [8] Hossain E., Niyam D. and Zhu Han, «Dynamic Spectrum Access and management in cognitive radio networks», Cambridge University Press 2009. [9] Ngom I. et Diouf L., «La radio cognitive», université Lille 1 USTL, 2008
- [10] Haykin S., « Cognitive radio: Brain empowered wireless communications », IEEE journal on selected areas in communications, vol. 23 no. 2, February 2005.
- [11] A. Amraoui, W. Baghli « synthèse de profils applicatifs dans le cadre des réseaux radio cognitive », 4 juillet 2011.
- [12] Benmammar Badr, and Asma Amraoui. « Radio Resource Allocation and Dynamic Spectrum Access».Wiley-ISTE, 2012.
- [13] Benmammar Badr, and Asma Amraoui. « Cognitive Radio. » dans le livre « Radio Resource Allocation and Dynamic Spectrum Access »: pp 23-38. Wiley-Edition. 2013.
- [14] <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/68/23/44/PDF/RC-Pres-Benmammar.pdf>
- [15] Mitola J. and Maguire G., « Cognitive radio: Making software radios more personal», IEEE Personal Communications, Page(s): 13-18, August 1999.
- [16] Hossain, Ekram, Dusit Niyato, and Zhu Han. Dynamic spectrum access and management in cognitive radio networks. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [17] J. O. Kephart and D. M. Chess. The vision of autonomic computing. *Computer*, 36(1) :41–50, January 2003.

- [18] The Peripheral Nervous System.
<http://www.users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/P/PNS.html>. 2003.
- [19] <http://mescal.imag.fr/membres/jean-marc.vincent/index.html/PhD/Harbaoui.pdf>
- [20] Kephart, Jeffrey O. et Chess, David M.- The Vision of Autonomic Computing, dans Computer numéro 36, 2003
- [21] Silva, A.D., 2003. An autonomic experience in self-healing and self-optimizing
- [22] The Vision of Autonomic Computing agl.cs.unm.edu/~forrest/classes/readings/ieee-autonomic.pdf
- [23] IBM. An architectural blueprint for autonomic computing
[http://www-03.ibm.com/autonomic/pdfs/AC Blueprint White Paper V7.pdf](http://www-03.ibm.com/autonomic/pdfs/AC%20Blueprint%20White%20Paper%20V7.pdf), June 2005.
- [24] Ahmed HARBAOUI « Vers une modélisation et un dimensionnement automatiques des applications réparties » Laboratoire Informatique de Grenoble et Orange labs, 21 Octobre 2011.
- [25] <http://hareenlaks.blogspot.com/2011/03/benefits-of-autonomic-computing.html>
- [26] MZ. Baba-Ahmed, B. Benmammar, FT. Bendimerad. « Vers l'auto-gestion d'un réseau de radio cognitive », Proceedings of the International Congress on Telecommunication and Application'14 (ICTA'14), University of A. MIRA Bejaia, Algeria, 23-24 April 2014.
- [27] Brakni Ilhem, Planification multi-agents pour la composition dynamique, Projet de Fin d'Etude, Université de Tébessa -Algerie-, 2010. Disponible sur le site : http://www.memoireonline.com/08/11/4782/m_Planification-multi-agents-pour-la-composition-dynamique40.html
- [28] <https://code.google.com/p/mygoal/wiki/JFreeChartTutoriel20071202>
- [29] <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/73/43/67/PDF/Guelma-Benmammar2012.pdf>