

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID - TLEMCEN

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE TELECOMMUNICATION

LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATIONS DE TLEMCEN

Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat

Spécialité : Télécommunication

Option : Réseaux et communications sans fil

Présenté par

Mr. BABA AHMED MOHAMMED ZAKARYA

Études des Mécanismes d'Adaptation Autonome dans le Contexte de la Radio Cognitive

Soutenue le 1 juillet 2015 devant le jury composé de :

Mr. BOUKLI HACENE Nourreddine	Professeur, Université de Tlemcen	Président
Mr. FARAOUN Kamel Mohamed	Professeur, Université de Sidi Bel Abbes	Examineur
Mr. HADJ ABDERRAHMANE Lahcène	Directeur de Recherche, C.D.S. (Oran)	Examineur
Mme. DEBBAT Fatima	MCA, Université de Mascara	Examinatrice
Mr. BENDIMERAD Fethi Tarik	Professeur, Université de Tlemcen	Directeur de Thèse
Mr. BENMAMMAR Badr	MCA, Université de Tlemcen	Co-Directeur de Thèse

Remerciements

Mes premiers remerciements vont vers le tout puissant Allah, que grâce à sa bénédiction j'ai pu arriver à la finalisation de ma thèse.

C'est par une grande fierté, que je tiens à remercier chaleureusement et à exprimer ma profonde reconnaissance et sympathie à mon directeur de thèse Monsieur BENDIMERAD Fethi Tarik, Professeur à l'université de Tlemcen pour sa supervision et ses directives tout au long de ma formation doctorale, pour ses qualités pédagogiques et humaines, pour ses conseils et sa bonne humeur qui m'ont aidé à me forger et à prendre confiance en moi pour l'achèvement de ce travail.

D'autre part, j'adresse aussi mes sincères remerciements à mon co-directeur de thèse Monsieur BENMAMMAR Badr. Maître de conférences A à l'université de Tlemcen pour son engagement et sa détermination dans le cadre professionnel qui m'a permis de bénéficier de ses grandes connaissances scientifiques ainsi que ses précieux conseils qui m'ont aidé à me défier chaque jour de plus en plus pour mener à bien le résultat de ce travail.

Je tiens également à remercier Monsieur MBAREK Nader pour son dévouement avec attention et gentillesse durant mon stage effectué à Dijon en France au laboratoire L'E2I à l'université de Bourgogne. Ses compétences scientifiques, ses motivations et ses remarques m'ont permis d'aboutir à la finalisation de cette thèse.

Mes vifs remerciements vont à Mr BOUKLI HACENE Nourreddine, Professeur à l'Université de Tlemcen pour avoir accepté de présider le jury de ma thèse, Mes sincères remerciements aussi à Mr FARAOUN Kamel Mohamed Professeur à l'Université de Sidi Bel Abbès, Mr HADJ ABDERRAHMANE Lahcene Directeur de Recherche au C.D.S. (à Oran), Mme DEBBAT Fatima, M. C. A à l'Université de Mascara ; pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail.

Je remercie également tous les membres du laboratoire de Télécommunication de Tlemcen (LTT) au sein duquel ce travail a été réalisé.



Dédicace

Je dédie cette thèse qui est le fruit de nombreuses années de recherche et de travail, tout en exprimant ma profonde gratitude et sympathie à toutes les personnes qui ont participées de près ou de loin pour mener à bien ce projet, plus particulièrement.

*À ma mère qui est la lumière de mes yeux qui me comble d'amour.
À mon père qui m'a toujours épaulé, soutenu financièrement et moralement et donné son amour et son respect.*

À mon frère, mes sœurs, mes beaux-frères et ma belle-sœur, mes nièces, et mon petit neveu pour l'amour, L'attention, l'aide et le soutien qu'ils m'ont apportés.

À mes encadreurs qui m'ont soutenu durant toute mon expérience et avec qui j'ai beaucoup appris.

À mes meilleurs amis et collègues de travail, que sans eux ma formation de doctorat ne sera qu'une longue épreuve pleine d'obstacles.

*Sans oublier bien sûr, mon grand-père, mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines, mes voisins et à la mémoire de mes grands-parents et mes oncles qui sont décédés et qui n'ont pas pu assister à cette grande journée.
(que DIEU ait pitié de leurs âmes).*

Je tiens par ailleurs, à dédier le résultat de mon effort à tous les doctorants et étudiants de "la faculté de Technologie" et en particulier ceux du laboratoire de télécommunication LTT et spécialement à tous mes amis avec qui j'ai vécu de bons moments, et qui resteront gravés dans ma mémoire à jamais.

Zaki.

Résumé

Un réseau autonome est un réseau qui est capable de s'autogérer et de délivrer un service basé sur les ressources de ses nœuds, il suit le concept de l'informatique autonome, son but est la création de réseaux en autogestion pour supporter la complexité grandissante d'internet et de permettre l'expansion des réseaux au-delà de leurs tailles actuelles. Dans le domaine des réseaux, la radio cognitive pourrait être considérée comme un agent intelligent capable de s'adapter à son contexte opérationnel, elle offre également une solution équilibrée aux problèmes de l'encombrement du spectre. Le concept de la radio cognitive est basé sur l'emploi dynamique de n'importe quelle bande de fréquence disponible et détectable du spectre radio pour les communications entre les réseaux de deux catégories, à savoir les primaires, qui ont un accès contrôlés et prioritaires au spectre et les secondaires dit cognitifs. Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés à la gestion dynamique et intelligente des ressources radio dans le cadre d'un réseau de radio cognitive à l'aide des mécanismes basés sur les techniques d'apprentissages autonomes. Nous avons proposé deux nouvelles approches modélisées pour la gestion et le partage efficace du spectre radio.

Mots clés : Réseau autonome, radio cognitive, apprentissage, modélisation, adaptation.

Abstract

The autonomous network is a type of network capable of self-manage and deliver a service based on the resources of its nodes. It follows the concept of autonomic computing, its goal is the creation of self-management networks to support the growing complexity of Internet and allow the expansion of networks beyond their current sizes. In the field of networks, cognitive radio could be regarded as an intelligent agent capable of adapting itself to its operational context; it also offers a balanced solution to spectrum congestion. The concept of the cognitive radio is based on the dynamic employment of any available and detectable frequency band of the radio spectrum for communications between two categories of networks, namely primary, which have a controlled and priority access to spectrum and secondary called cognitive radio. In this thesis, we are interested in dynamic and intelligent radio resource management in the context of cognitive radio network using mechanisms based on autonomous learning techniques; we proposed two new approaches modelled for the management and the effective sharing of the radio spectrum.

Keywords: Autonomous network, cognitive radio, learning, modeling, adaptation.

ملخص

الشبكة ذاتية الحكم هي نوع من الشبكات القادرة على الإدارة الذاتية وتقديم خدمة مستندة على الموارد من فروعها. الشبكة ذاتية الحكم تتبع مفهوم الحوسبة ذاتية الحكم، هدفها هو إنشاء شبكات الإدارة الذاتية لمساعدة التعقيدات المتزايدة للإنترنت وتسمح بالتوسع المستقبلي في شبكات تتجاوز أحجامها الحالية. في مجال الشبكات، يمكن اعتبار الراديو الإدراكية بصفقتها وكبلا ذكيا التي يمكن أن تتكيف مع بيئة تشغيلها، كما أنها تقدم حلا متوازنا لمشاكل ازدحام الطيف. يتم تقديم مفهوم الراديو الإدراكي على أساس الوظيفة الديناميكية لأي نطاق طيف الترددات الراديوية المتاحة والمكشوفة للطيف الراديوي للاتصالات بين نوعين من الشبكات، وهم المستخدمين الرئيسيين، الذين يسيطرون ولهم الأولوية في الحصول على الطيف والمستخدمين الثانويين الملقبون باسم الإدراكيون. في هذه الأطروحة، نحن مهتمون بالإدارة الديناميكية الذكية لموارد الراديو في إطار شبكة الراديوية الإدراكية باستخدام آليات قائمة على التقنيات التعلم الذاتي، اقترحنا منهجين جديدين منمنجين للإدارة والمشاركة الفعالة للطيف الراديوي.

كلمات البحث: الشبكة ذاتية الحكم، راديو الإدراكية، التعلم، النمذجة، التكيف.

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Résumé	iii
Table des matières	iv
Liste des figures	ix
Acronymes et Abréviations	xiii

Introduction générale

.....	1
-------	---

Chapitre I : Généralités sur les réseaux sans fils et mobiles

I – Introduction	7
II – Ondes radio	7
II – 1 / Définition	7
II – 2 / Différents types d’ondes	9
II – 3 / Propagation des ondes	10
II – 4 / Types de modulations d’une onde radio	11
II – 5 / Multiplexage	12
III – Système OFDM	14
III – 1 / Historique et définition	14
III - 2 / La modulation multi porteuse	15
III - 3 / Les différents modes d’accès OFDM	15
IV – Réseaux sans-fil	17
IV – 1 / Différents réseaux sans fil	18
IV – 2 / Différents réseaux WxAN	18
IV – 3 / Différentes normes 802.x	21
V – Réseaux mobiles	24
V – 1 / Les différentes cellules	24
V – 2 / Les différentes générations des téléphones mobiles	25
VI – Conclusion	29

Chapitre II : Introduction à la radio cognitive

I – Introduction	32
II – La radio logicielle restreinte (SDR)	32
II – 1 / Architectures matérielle d’une radio logicielle restreinte	33
II – 2 / Exemples d'applications	33

III – La radio cognitive (RC).....	36
III – 1 / Historique	36
III – 2 / Définition	36
III – 3 / Relation entre RC et SDR	38
III – 4 / Architecture de la radio cognitive	39
III – 5 / Cycle de cognition.....	41
III – 6 / Composantes de la radio cognitive	44
III – 7 / Fonctions de la radio cognitive	45
IV - Les réseaux de futur	51
IV - 1/ Les composants des réseaux de futur	51
IV - 2/ Hétérogénéité du spectre.....	52
IV - 3/ Hétérogénéité du réseau.....	53
V - Applications de la Radio cognitive	53
V – 1 / Amélioration de l'efficacité spectrale	54
V – 2 / Amélioration de la fiabilité du lien radio	54
V – 3 / Topologie avancée du réseau	54
V – 4 / Techniques de collaboration.....	54
V – 5 / Automatisation de la gestion des ressources radio	55
VI - Langages de la radio cognitive	55
VII - Domaines d'application de la radio cognitive	57
VII – 1 / Service santé (eHealth services)	57
VII – 2 / Coexistence de différentes technologies sans fil	57
VII – 3 / réseaux militaires	57
VII – 4 / réseaux d'urgences	57
VII – 5 / réseaux mobiles	58
VIII – Conclusion.....	58

Chapitre III : Présentation des réseaux autonomes

I – Introduction.....	61
II – Système nerveux humain.....	61
III – Informatique autonome	63
III – 1 / Définition	63
III – 2 / le besoin d'autonomie	63
III – 3 / Principales huit caractéristiques de recherches en informatique autonome.....	64
IV – Hiérarchie de l'informatique Autonome	66

V – Quatre éléments de base d'autonomie	67
V – 1 / L'auto-configuration	67
V – 2 / L'auto-guérison.....	68
V – 3 / L'auto-optimisation.....	69
V – 4 / L'auto -protection	70
V – 5 / L'informatique autonome Vs l'informatique actuelle.....	71
VI - Architecture des réseaux autonomes	72
VII - Impacte d'autonomie dans la Radio cognitive	74
VII – 1 /Algorithme d'auto-configuration de la couche 2.....	74
VII – 2 / Auto-conscience dans le cycle de cognition.....	75
VIII - Systèmes autonomes d'aujourd'hui	76
VIII – 1 / Initiatives de l'informatique autonome	76
VIII – 2 / Avantages des systèmes autonomes	77
VIII – 3 / Applications de l'informatique autonome.....	78
IX – Projet de recherche lié aux réseaux autonomes.....	79
IX – 1 / Le projet : ANA	79
IX – 2 / Le projet : CASCADAS.....	79
IX – 3 / Le projet : BIONETS	80
IX – 4 / Le projet : CPN	80
X - Les différents défis des systèmes autonomes.....	81
X – 1 / Défis conceptuels	81
X – 2 / Défis architecturaux	81
X – 3 / Défis Middleware	82
X – 4 / Défis d'application.....	82
XI - Avenir des systèmes informatiques	82
XI – 1 / Sans la présence des systèmes autonomes	82
XI – 2 / Avec la présence des systèmes autonomes	83
XII – Conclusion	85

Chapitre IV : Contributions des mécanismes autonomes dans les réseaux de radio cognitive

I – Introduction.....	88
II – Première contribution : Auto-optimisation et auto-guérison d'un nœud radio cognitive pour la gestion des échecs	88
II – 1 / Approche proposée de la négociation entre SU et PU	89

II – 2 / Principe de fonctionnement de l’approche proposée.....	90
II – 3 / Principe de négociation spécifique d’un SU détectant des PUs.....	91
III – Deuxième contribution : L’auto-gestion de la base d’apprentissage pour Agent autonome.....	92
III – 1 / Approche proposée de LBAA	92
III – 2 / Mode de fonctionnement de LBAA	94
III – 3 / Automate fini ou FSM (Finite State Machine) d’un SU	95
III – 4 / Architecture de l’approche LBAA	97
III 4 – 1 / Architecture proposés de l’autonomie dans les réseaux de radio cognitive.....	97
III 4 – 2 / Impacte de l’autonomie sur l’architecture réelle de notre approche	97
III – 5 / Diagramme de fonctionnent du LBAA	100
III – 6 / Message Sequence Chart (MSC) d’un SU en communication	101
III 6 - 1/ Première alignement du MSC coté A	104
III 6 - 1/ Deuxième alignement du MSC coté B	106
IV – Conclusion	109

**Chapitre V : Evaluation des contributions proposées pour la gestion autonome dans le
contexte d’un réseau de radio cognitive**

I – Introduction.....	112
II – Environnement de simulation	112
III – Simulations et résultats de la première contribution	113
III – 1 / Simulation de la première contribution	113
III – 2 / Résultats de simulations de la première contribution.....	115
III 2 - 1/ Résultats de comparaison du premier axe.....	116
III 2 – 2/ Interprétation des résultats du premier axe	121
III 2 - 3/ Résultats de comparaison du deuxième axe.....	121
III 2 – 2/ Interprétation des résultats du deuxième axe	125
III – 3 / Simulation de la deuxième contribution	126
III 3 - 1 / Algorithme de l’approche LBAA pour une suggestion de PUs aux SUs	127
III – 4 / Résultats de simulations de la deuxième contribution	129
III – 5 / Interprétation des résultats de la deuxième contribution.....	135
III – 6 / Comparaison des résultats de simulations entre les deux contributions	136
III – 7 / Interprétation de la comparaison entre les résultats des deux contributions	137
IV – Conclusion	138

Conclusion générale	139
ANNEXE : Les systèmes multi-agents et la plateforme JADE	142
Bibliographie	154
Liste des publications	159

Chapitre I

FIG 1.1 Schéma d'une onde électromagnétique	8
FIG 1.2 Différentes applications utilisées en radiofréquences.....	9
FIG 1.3 Propagation des ondes radio dans l'atmosphère terrestre.....	10
FIG 1.4 Multiplexage	12
FIG 1.5 Technique d'accès multiple FDMA	13
FIG 1.6 Technique d'accès multiple TDMA	13
FIG 1.7 Technique d'accès multiple CDMA.....	14
FIG 1.8 Modulation de l'OFDM	15
FIG 1.9 Accès multiple OFDM-TDMA.....	16
FIG 1.10 Accès multiple OFDMA	16
FIG 1.11 Catégorie des réseaux sans fil.....	18
FIG 1.12 Réseau WBAN utilisé en télémédecine	19
FIG 1.13 Les différents types de cellules	25
Tableau 1.1 : spectre radiofréquence.....	8

Chapitre II

FIG 2.1 Radio logicielle restreinte avec conversion directe. FPB : Filtre Passe Bande ; FPBa : Filtre Passe Bas ; AFB : Amplificateur Faible Bruit ; OL : Oscillateur Local ; A/N : Analogique/Numérique	34
FIG 2.2 Radio logicielle restreinte avec FI basse fréquence.....	34
FIG 2.3 Effet du sous échantillonnage. f_e : fréquence d'échantillonnage ; f_{max} : fréquence maximale RF (ou FI) ; B : bande passante à numériser	35
FIG 2.4 Le partage des trous du spectre	37
FIG 2.5 Relation entre RC et SDR.....	39
FIG 2.6 Six composantes fonctionnelles de L'architecture de la radio cognitive.....	39
FIG 2.7 Protocoles utilisés par la radio cognitive	41
FIG 2.8 Cycle de cognition de Mitola.....	42
FIG 2.9 Composantes de la radio cognitive	44
FIG 2.10 Fonction de la radio cognitive	46
FIG 2.11 Occupation du spectre mesuré sur six emplacements.....	47
FIG 2.12 Concentration du spectre	47
FIG 2.13 Accès au spectre coopératif et non-coopératif.....	49
FIG 2.14 Architecture des réseaux de futures générations.....	51
FIG 2.15 RC, WBAN et Capteur	57
Tableau 2.1 : Langages de la radio cognitive.....	56

Chapitre III

FIG 3.1 Système nerveux autonome de l'être humain	61
FIG 3.2 Diagramme de qualité de métrique de l'informatique autonome	67
FIG 3.3 Les quatre éléments de base.....	67
FIG 3.4 Architecture des réseaux autonomes.....	72
FIG 3.5 Cycle de fonctionnement d'un nœud radio cognitif	75
FIG 3.6 Architecture logique Self-NET d'un cycle cognitif pour l'auto-conscience	76
FIG 3.7 Périphérique Plug-and-play	77
Tableau 3.1 : Comparaison entre l'informatique actuelle et autonome	71

Chapitre IV

FIG 4.1 Approche proposée pour l'auto-optimisation et l'auto-guérison à travers la négociation entre les utilisateurs SU et PU	89
FIG 4.2 L'autonomie spécifique de la négociation et de la prise de décision entre LE SU et les différents PU	91
FIG 4.3 L'effet d'entonnoir inverse de l'autonomie spécifique au général approche.....	92
FIG 4.4 Première étape de l'approche LBAA	93
FIG 4.5 Deuxième étape de l'approche LBAA	94
FIG 4.6 Mode de fonctionnement de l'approche LBAA.....	95
FIG 4.7 Automate fini d'un SU dans un environnement radio cognitif.....	96
FIG 4.8 Architecture du gestionnaire autonome LBAA dans un réseau de radio cognitive....	97
FIG 4.9 Architecture réelle d'un gestionnaire autonome réagissant avec un environnement cognitif	99
FIG 4.10 Diagramme de fonctionnement de l'approche LBAA	100
FIG 4.11 Globale MSC des communications de SUi.....	101
FIG 4.12 Explication des composants d'un MSC	102
FIG 4.13 Diagramme de séquence pour le MSC globale.....	103
FIG 4.14 Diagramme de séquence de messages pour le MSC M	104
FIG 4.15 Diagramme de séquence de messages pour le MSC A.....	105
FIG 4.16 Diagramme de séquence de messages pour le MSC A2.....	105
FIG 4.17 Diagramme de séquence de messages pour le MSC A22.....	106
FIG 4.18 Diagramme de séquence de messages pour le MSC B	107
FIG 4.19 Diagramme de séquence de messages pour le MSC B2.....	108
FIG 4.20 Diagramme de séquence de messages pour le MSC B22.....	108
FIG 4.21 Diagramme de séquence de messages pour le MSC B222.....	109
Tableau 4.1 : Caractéristiques de la QoS pour les 4 types de transmission	88

Chapitre V

FIG 5.1 Interface de simulation JADE de notre approche	113
FIG 5.2 Exemple de négociation entre Le SU et les PUs avec l'Agent Sniffer.....	114
FIG 5.3 Résultats de la simulation pour le temps de réponse de la négociation par rapport aux quatre types de transmissions	116
FIG 5.4 Résultats de la simulation pour le taux de réussite de la négociation par rapport aux quatre types de transmissions	117
FIG 5.5 La variation instantanée de la gigue du temps de communication entre le SU et les PUs par rapport aux quatre types de transmission	118
FIG 5.6 La moyenne du temps de réponse du partage du spectre entre le SU et le PU correspondant pour chaque type de transmission.....	118
FIG 5.7 La moyenne du taux de réussite de la négociation du partage du spectre entre le SU et le PU correspondant pour chaque type de transmission.....	119
FIG 5.8 La variation moyenne de la gigue entre le SU et les huit PUs pour les quatre types de transmission en valeur absolue.....	120
FIG 5.9 Comparaison des résultats de simulation pour le temps de réponse du partage de spectre de la vidéo de conférence entre SU et PU avec et sans négociation.....	122
FIG 5.10 Comparaison des résultats de simulation pour le taux de réussite du partage de spectre de la vidéo conférence entre SU et PU avec et sans négociation.....	122
FIG 5.11 Nombre d'interférences pour 10 tentatives de communication entre le SU et les PUs consultés avec et sans négociation pour la vidéo conférence.....	123
FIG 5.12 La moyenne du temps de réponse du partage du spectre entre le SU et le PUs correspondant pour la vidéo conférence.....	124
FIG 5.13 La moyenne du taux de réussite du partage du spectre entre le SU et le PUs correspondant pour la vidéo conférence.....	124
FIG 5.14 Comparaison entre le nombre d'interférences relié à la communication entre le SU et les PUs consultés avec et sans négociation pour la vidéo conférence.....	125
FIG 5.15 Exemple de suggestion de l'approche LBAA avec l'Agent Sniffer	126
FIG 5.16 Exemple d'une suggestion du LBAA par un ACL Message au SU7	127
FIG 5.17 Temps de convergence entre les quatre premiers SUs et leurs PUs pour dix tentatives de communications sans la suggestion du LBAA.....	132
FIG 5.18 Taux de réussite de partage du spectre des quatre premiers SUs avec les PUs correspondants pour dix tentatives sans la suggestion du LBAA	132
FIG 5.19 Temps de convergence entre les quatre seconds SUs et leurs PUs pour dix tentatives de communications avec la suggestion du LBAA	133
FIG 5.20 Taux de réussite de partage du spectre des quatre seconds SUs avec les PUs correspondants pour dix tentatives avec la suggestion du LBAA.....	134

FIG 5.21 La moyenne du temps de convergence entre les huit SUs et leurs PUs sur dix tentatives de communications	134
FIG 5.22 La moyenne du taux de réussite de partage du spectre des huit SUs avec leurs PUs correspondants pour les dix tentatives	135
FIG 5.23 Comparaison du temps de convergence de communications de SU avec PU entre les deux contributions	136
FIG 5.24 Comparaison du taux de réussite de partage du spectre du SU avec le PU correspondant entre les deux contributions	137
Tableau 5.1 : Résultats de simulation des quatre premiers SUs.....	130
Tableau 5.2 : Résultats de simulation des quatre second SUs	131

ANNEXE

FIG A.1 Communication d'un agent réactif en interaction avec d'autres agents dans un système multi-agents	144
FIG A.2 Degrés d'autonomie, de coopération et d'adaptativité des principaux agents cognitifs	146
FIG A.3 Architecture des conteneurs JADE	149
FIG A.4 Interfaces des RMI, DA et Introspector	151

1G : 1^{er} Génération (même chose pour 2, 3, 4 et la 5G).
ACC : Agent Communication Channel.
ADSL: Assymetric Digital Suscriber Line.
AES: Advance Encryption Standard.
AFB : Amplificateur Faible Bruit.
AM : Amplitude Modulation.
AMPS: Advanced Mobile Phone System.
AMS: Agent Management System.
ANA: Autonomic Network Architecture.
API: Application Programming Interface.
ASIC: Application Specific Integrated Circuit.
BIONETS: BIOlogically inspired NETwork and Services.
BS: Base Station.
BTS : Base Transceiver Stations.
CAN : Convertisseur Analogique-Numérique
CASCADAS: Component-ware for Autonomic Situation-aware Communications, and Dynamically Adaptable Services.
CDMA : Code Division Multiple Access.
CORBA: Common Object Request Broker Architecture.
CPN: The Cognitive Packet Network.
DA: Dummy Agent.
DAB: Digital Audio Broadcasting.
DECT: Digital Enhanced Cordless Telephone.
DF: Director Facilitator.
DSP: Digital Signal Processor.
DS-SS: Direct Sequence - Spread Spectrum.
DVB: Digital Video Broadcasting.
EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution.
EHF: Extremely High Frequency.
ELF: Extremely Low Frequency.
ETACS: Extended Total Access Communication System.
FCC: Federal Communications Commission.
FDMA: Frequency Division Multiple Access.
FFT: Fast Fourier Transform.
FI : Fréquence dite Intermédiaire.
FIPA-ACL: Foundation for Intelligent Physical Agents - Agent Communication Language.
FM : Frequency Modulation.
FPB : Filtre Passe Bande.
FPBa : Filtre Passe Bas.
FPGA: Field Programmable Gate Array.
FSM: Finite State Machine.

GPRS: General Packet Radio System.
GSM: Global System for Mobile communication.
HF: High Frequency.
HSDPA: High Speed Downlink Packet Access
IBM: International Business Machines.
IDL: Interface Definition Language.
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IP: Internet Protocol.
ISM: Industrial, Scientific and Medical.
ISO: International Organization for Standardization.
IT: Information Technology.
JADE: Java Agent Development framework.
JAL: Jack Agent Language.
JVM: Java Virtual Machine.
KIF: Knowledge Interchange Format.
KQML: Knowledge Query and Manipulation Language.
LBAA: Learning Base for Autonomic Agent.
LF: Low Frequency.
LTE-Advanced: Long Term Evolution Advanced.
LTE-B: Long Term Evolution Advanced Type B.
LTM: Long Term Memory.
MAC: Media Access Control.
MADKIT: Multi-Agents Development Kit.
MAGIQUE: Multi-Agents hiérarchIQUE.
MAPE-K: Monitor, Analyze, Plan and Execute- Knowledge.
MBWA: Mobile Broadband Wireless Access.
MIMO: Multiple Input Multiple Output.
MF: Medium Frequency.
MSC: Message Sequence Chart.
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
OL: Oscillateur Local.
OPRS: Open source planning tools.
OSI: Open Systems Interconnection.
PM: Phase Modulation.
PU: Primary User.
QoI: Quality of Information.
QoS: Quality of Service.
RC: Radio Cognitive.
RF: Radio Frequency.
RKRL: Radio Knowledge Representation Language.
RMI: Remote Method Invocation.
SA: Sniffer Agent.
SDR: Software Defined Radio.
Self-CHOP: Self Configuration, Healing, Optimization and Protection.
Self-NET: self-Networking.
SHF: Super High Frequency.

SLF: Super Low Frequency.
SMA : Système Multi-Agent.
SNC : Système Nerveux Central.
SNP : Système Nerveux Périphérique.
SNR : Signal to Noise Ratio.
SP : Sensory Perception.
STM: Short Term Memory.
SU: Secondary User.
TACS: Total Access Communication System.
TCO: Total Cost of Ownership.
TCP: Transmission Control Protocol.
TDMA: Time Division Multiple Access.
TKIP: Temporal Key Integrity Protocol.
UDP: User Datagram Protocol.
UHF: Ultra High Frequency.
UIT: Union International des Telecommunication.
ULF: Ultra Low Frequency.
UML: Unified Modeling Language.
UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.
UWB: Ultra Wide Band.
VHF: Very High Frequency.
VLF: Very Low Frequency.
WBAN: Wireless Body Area Network.
Wi-Fi: Wireless Fidelity.
WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.
WLAN: Wireless Local Area Network.
WMAN: Wireless Metropolitan Area Network.
WPA: Wireless Protected Access.
WPAN: Wireless Personal Area Network.
WRAN: Wireless Regional Area Network.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'évolution accélérée de la technologie sans-fil et l'utilisation primordiale de la mobilité dans les domaines de réseaux, ont provoqué un réel besoin de satisfaire les utilisateurs à un accès rapide et de qualité aux réseaux. La plus part des technologies actuelles sont basées sur des normes et des règles bien définies qui ne sont ni échangeables ni adaptables à d'autres modifications, Nous nous sommes intéressés à cet aspect d'autonomie dans le but est de choisir une adaptation dynamique, qui nous permettra une flexibilité et une large extensibilité à d'autres technologies.

Le choix de la normalisation et la standardisation des utilisateurs du spectre radio, a permis non seulement de classifier les différentes technologies mais aussi de limiter l'accès à des utilisateurs bien définis. Mais les objectifs et les contraintes d'hier ne sont pas les mêmes exigés aujourd'hui, et ne seront pas pareille dans le futur. L'une des principales préoccupations d'aujourd'hui est la bonne gestion du spectre radio, qui devient un réel problème pour les réseaux de futures générations. Pour mieux régler ces problèmes, nous avons fait recours à une technologie récente qui est, la Radio Cognitive (RC).

La radio cognitive est la solution idéale à la gestion dynamique du spectre radio, cette technologie est basée sur la norme 802.22 sous l'appellation de WRAN (Wireless Regional Area Networks). Cette technologie est capable de défier n'importe quelle récente technologie capable de s'adapter à son environnement radio. De manière la plus simple, la radio cognitive permet de garantir la flexibilité de la transition des données sur n'importe quel support de transmission, de s'adapter à n'importe quelle bande de fréquence et de recevoir n'importe quelle modulation en utilisant le même matériel, grâce à un système de communication radio intitulé Software Defined Radio (SDR).

La RC est basée sur le principe qu'un utilisateur secondaire (nommé SU ou dite de radio cognitive) cherche de partager le spectre avec un utilisateur primaire (nommé PU ayant une License sur le spectre) sans causer aucun endommagement à ce dernier. Il y a deux types de SU. Le premier type est basé sur le principe qu'un SU cherche à partager le spectre avec le PU sans son consentement, mais il se retire lorsque l'utilisateur primaire montre des vellétés de connexion. Le deuxième type est basé sur l'utilisation légale du spectre radio avec l'accord de l'utilisateur primaire (c'est à dire, que le SU va demander de partager le spectre avec le PU pour les parties inutilisées de son spectre).

Dans le cadre de notre étude, nous avons opté de travailler sur le deuxième type de la radio cognitive mais de façon autonome en introduisant des mécanismes adaptatifs qui nous permettra de mieux gérer le spectre radio. Cette autonomie est basé sur le principe de l'informatique

autonome qui permet de rendre les systèmes informatiques moins dépendant des usagés, permettant ainsi de traiter les informations d'une manière autonome en se basant essentiellement sur le système nerveux autonome de l'être humain. Cette idée vient du fait que la croissance sulfurant de la technologie nous amène à dire que les problèmes de complexité ne cessent d'augmenter.

Basé sur le concept de l'informatique autonome mais dans le domaine des réseaux, les réseaux autonomes quant à eux sont vêtus de quatre aspects complémentaires et engendrés par la gestion, à savoir l'auto-optimisation, l'auto-configuration, l'auto-protection et l'auto-guérison. Ses quatre éléments sont la base de notre étude dans les systèmes cognitifs.

L'objectif de cette thèse est d'étudier des mécanismes adaptatifs et autonomes basée sur des prototypes d'auto-gestion permettant de mieux gérer le spectre radio en assurant une qualité de service meilleur aux utilisateurs de la radio cognitive, dans le contexte d'une utilisation avec consentement entre l'utilisateur primaire et secondaire, et dans un environnement au même temps coopératif et compétitif pour les utilisateurs primaires et les autres utilisateurs secondaires.

Nous avons réparti cette thèse sur cinq chapitres avec l'inclusion d'une introduction et d'une conclusion générale :

Dans le premier chapitre intitulé : Généralités sur les réseaux sans fils et mobiles, nous allons présenter les différents types d'ondes radio qui peuvent être alloués par les utilisateurs, aussi nous allons définir les différentes techniques d'accès et de modulation utilisées dans les domaines des réseaux, Nous allons aussi présenter les différents réseaux sans fil et mobiles, ainsi que les différentes normes et générations utilisées en téléphonie.

Le second chapitre intitulé : Introduction à la radio cognitive, présente la technologie tolérante de la flexibilité dans le spectre radio qui est la radio cognitive. Nous allons détaillé les différents composants de cette technologie, en commençant par les couches les plus basses du système OSI (Open Systems Interconnection) à savoir la radio logicielle restreinte SDR(niveau physique) et passant par les couches intermédiaires pour les protocoles adaptatifs jusqu' aux couches supérieures dans le cycle de cognition. Nous allons par ailleurs présenter l'architecture, les différentes étapes de cognition et les domaines d'applications de la radio cognitive.

Dans le troisième chapitre intitulé : Présentation des réseaux autonomes, nous allons présenter le concept de l'autonomie dans les systèmes informatiques et le lien de cet aspect avec les réseaux, puis nous allons montré les quatre éléments de base des réseaux autonomes et

l'architecture officielle de ce dernier, par la suite nous allons présenter quelques travaux relatifs liés à la radio cognitive et l'impact d'autonomie sur les systèmes cognitifs.

Le quatrième chapitre intitulé : Contributions des mécanismes autonomes dans les réseaux de radio cognitive, représente les deux approches que nous allons adapter aux systèmes radio cognitifs. Nous allons présenter dans la première contribution une approche avec un diagramme de fonctionnement de l'approche de négociation autonome entre l'utilisateur secondaire SU1 et les utilisateurs primaires PUs détectés dans un environnement radio. Cette approche permet de mieux gérer les échecs et les interférences du SU pour le partage du spectre avec les utilisateurs primaires dû à un manque ou une surcharge d'allocation de la bande de fréquence, afin d'assurer une meilleure adaptation en termes de qualité de service. Dans la deuxième contribution, nous allons concevoir une base d'apprentissage autonome permettant de faire l'auto-gestion des systèmes cognitifs. Cette base permet aux utilisateurs secondaires mobiles de faciliter la tâche de partage du spectre en leur suggérant des utilisateurs primaires convenables à leurs critères d'allocation. Nous allons aussi présenter des architectures, des diagrammes de fonctionnement, des MSC (Message Sequence Chart) et des FSM (Finite State Machine) de notre approche pour la gestion autonome du spectre radio.

Le cinquième et dernier chapitre intitulé : Evaluation des contributions proposées pour la gestion autonome dans le contexte d'un réseau de radio cognitive, représente les résultats de simulations des deux approches proposées sur la plateforme JADE (Java Agent DEvelopment) basées sur les SMA (Systèmes Multi Agents) et implémentées dans le logiciel NetBeans 8.0, pour voir la réaction des agents cognitifs communiquant entre eux avec un comportement autonome. La simulation pour la première approche est basée sur quatre types de transmission, à savoir la voix, l'email, le transfert des fichiers et la vidéo conférence, afin de faire la comparaison de ses différents types de transmission s'effectuant sur quatre critères de la qualité de service : la bande passante, le délai d'attente, le taux d'erreur, et la gigue. Dans la deuxième approche, nous allons simuler un cas général de la première approche avec la conception d'une base autonome capable de suggérer et de gérer le problème de partage du spectre.

CHAPITRE I

Généralités sur les réseaux
sans fils et mobiles

Sommaire

I – Introduction.....	7
II – Ondes radio.....	7
II – 1 / Définition.....	7
II – 2 / Différents types d’ondes	9
II – 3 / Propagation des ondes	10
II – 4 / Types de modulations d’une onde radio	11
II – 5 / Multiplexage	12
III – Système OFDM.....	14
III – 1 / Historique et définition	14
III - 2 / La modulation multi porteuse.....	15
III - 3 / Les différents modes d’accès OFDM.....	15
IV – Réseaux sans-fil	17
IV – 1 / Différents réseaux sans fil	18
IV – 2 / Différents réseaux WxAN	18
IV – 3 / Différentes normes 802.x.....	21
V – Réseaux mobiles.....	24
V – 1 / Les différentes cellules	24
V – 2 / Les différentes générations des téléphones mobiles	25
VI – Conclusion	29

I – Introduction

Les ordinateurs et la plupart des appareils mobiles d'aujourd'hui disposent de moyens de connexion à un ou plusieurs types de réseaux sans fil. Ce qui rendra la tâche plus facile, de créer en quelques minutes un réseau sans fil qui permet à tous ces appareils la communication entre eux, et en tenant compte de la mise en œuvre de la zone de réception, la puissance de l'émetteur, la détection du récepteur et la sécurité des données transmises. La mobilité est représentée comme l'avantage essentiel des systèmes de communication, cet aspect a séduit une grande partie de personnes. Le service de mobilité permet aux usagers de communiquer sur une zone étendue et de pouvoir poursuivre une communication tout en se déplaçant. Les systèmes qui permettent d'offrir ce type de service au sens le plus large dans la communication est les systèmes cellulaires.

Cinq générations ont marqué l'histoire des communications mobiles, on cite les générations les plus marquantes commençant par le GSM (Global System for Mobile communication) pour la 2G (2^{ème} Génération), l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) pour la 3G, LTE-Advanced (Long Term Evolution Advanced) pour la 4G et LTE-B ((Long Term Evolution Advanced Type B / IMT-2020³⁰) pour la 5G.

Dans ce chapitre nous allons éclaircir sur un aspect architectural, géographique et normaliser les différents réseaux sans-fil et mobiles, puisque c'est deux derniers sont souvent confondus en terme de description des systèmes tel que le Wi-Fi (Wireless Fidelity), GSM, Bluetooth, etc.

II – Ondes radio

II – 1 / Définition

Par définition, Une onde peut se propager en produisant sur son passage une variation réversible des propriétés physiques locales du milieu. Sa vitesse de déplacement est déterminée par le milieu de propagation, dépendante à ses caractéristiques. Elle ne transporte que de l'énergie et non pas de matière.

Physiquement parlant, une onde est une vibration qui se propage dans l'espace. Le courant électrique alternatif produit un champ électrique et un champ magnétique également alternatif provoquant la succession des cycles " aller-retour " qui finalement constitue l'onde.

La définition de L'onde électromagnétique est présentée par la propagation perpendiculaire des ondes du champ électrique et du champ magnétique entre elles et à la direction de propagation. Aux fréquences très basses, le champ électrique et le champ magnétique sont considérés séparément. Aux fréquences élevées, le champ électrique et le champ magnétique

sont indissociables et sont repris soit sous le terme global "onde électromagnétique" soit sous l'appellation "champ électromagnétique" [1].

Toute onde électromagnétique est caractérisée par deux paramètres : la FRÉQUENCE qui représente le nombre d'oscillations du champ électromagnétique par seconde, (elle est mesurée en Hertz) et la LONGUEUR D'ONDE qui est la distance entre deux maxima de champ électromagnétique, (voir figure 1.1).

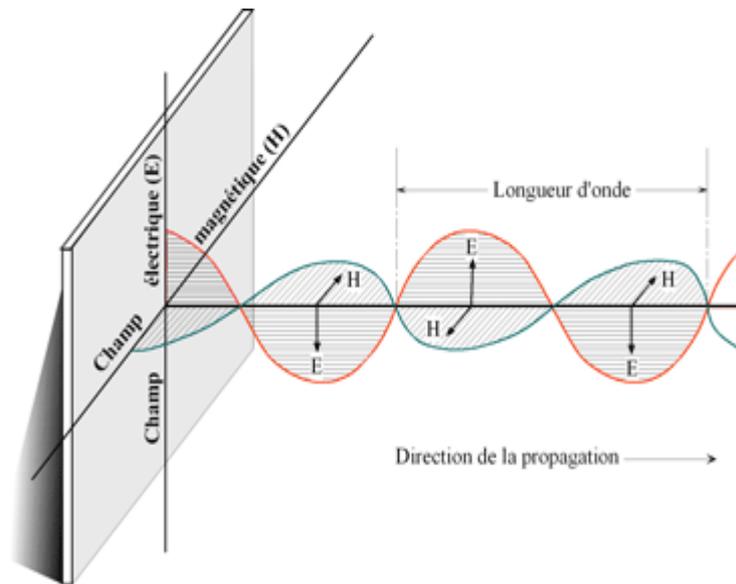


FIG 1.1 Schéma d'une onde électromagnétique

Les ondes radioélectrique (dites ondes radio) sont des ondes électromagnétiques dont la fréquence d'ondes est comprise entre 9 KHz et 3 000 GHz, ce qui correspond dans le même sens à des longueurs d'onde de 33 Km à 0,1 mm.

Une onde radio est classée en fonction de sa fréquence ; l'ensemble de ces fréquences constitue le spectre radiofréquence, comme le montre le tableau 1.1 suivant :

Désignation	Fréquences	Longueur d'onde
ELF (<i>extremely low frequency</i>)	3-30 Hz	10000 km – 100000 km
SLF (<i>super low frequency</i>)	30–300 Hz	1000 km – 10000 km
ULF (<i>ultra low frequency</i>)	300–3000 Hz	100 km – 1000 km
VLF (<i>very low frequency</i>)	3 à 30 kHz	Myriamétrique, 10 km à 100 km
LF (<i>low frequency</i>)	30 kHz à 300 kHz	Kilométrique ou ondes longues, 1 km à 10 km
MF (<i>medium frequency</i>)	300 kHz à 3 MHz	Hectométrique ou ondes moyennes, 100 m à 1 km
HF (<i>high frequency</i>)	3 MHz à 30 MHz	Décamétrique ou ondes courtes, 10 m à 100 m
VHF (<i>very high frequency</i>)	30 MHz à 300 MHz	Métrique, 1 m à 10 m
UHF (<i>ultra high frequency</i>)	300 MHz à 3 GHz	Décimétrique, 10 cm à 1 m
SHF (<i>super high frequency</i>)	3 GHz à 30 GHz	Centimétrique, 1 cm à 10 cm
EHF (<i>extremely high frequency</i>)	30 GHz à 300 GHz	Millimétrique, 1 mm à 1 cm

Tableau 1.1 : spectre radiofréquence [2]

II – 2 / Différents types d'ondes

Ces ondes se propagent dans l'atmosphère terrestre à la vitesse de la lumière (c'est-à-dire presque instantanément à l'échelle humaine) et avec une atténuation importante (proportionnelle au carré de la distance parcourue). Elles sont relativement faciles à émettre et à recevoir avec des appareils simples et peu coûteux. Elles sont donc un support très important pour la transmission de l'information (notamment radio et TV).

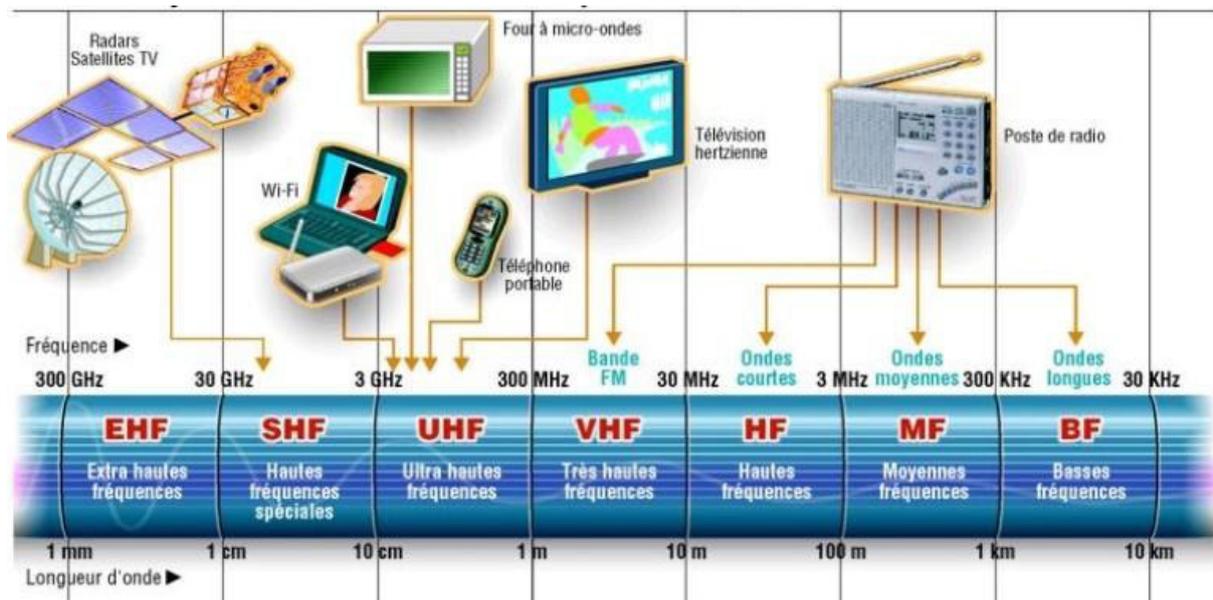


FIG 1.2 Différentes applications utilisées en radiofréquences

Il est à remarquer que les ondes sont sensibles aux obstacles de dimensions plus grandes que la longueur d'onde : à une puissance d'émission donnée et, toute chose égale par ailleurs ; plus la fréquence d'onde sera faible (c'est-à-dire plus la longueur d'onde sera importante), plus l'onde pourra se propager sur une longue distance et passer outre aux obstacles. Réciproquement, un radar sera d'autant plus précis (sera sensible à des détails d'autant plus fins) qu'il utilisera des ondes courtes. Si les premiers radars avaient du mal à voir un avion (ondes décimétriques), les derniers utilisés pendant la Seconde Guerre mondiale pouvaient repérer un périscope de sous-marin (onde centimétrique).

Cependant, dans le cas des ondes radios, la partie de la haute atmosphère appelée ionosphère produit partiellement un effet de miroir, qui permet aux ondes " courtes " et, dans une moindre mesure, les ondes " moyennes ", de se propager en dépit de la rotondité de la terre, alors que les ondes " longues " ne profitent pas de cet effet [2].

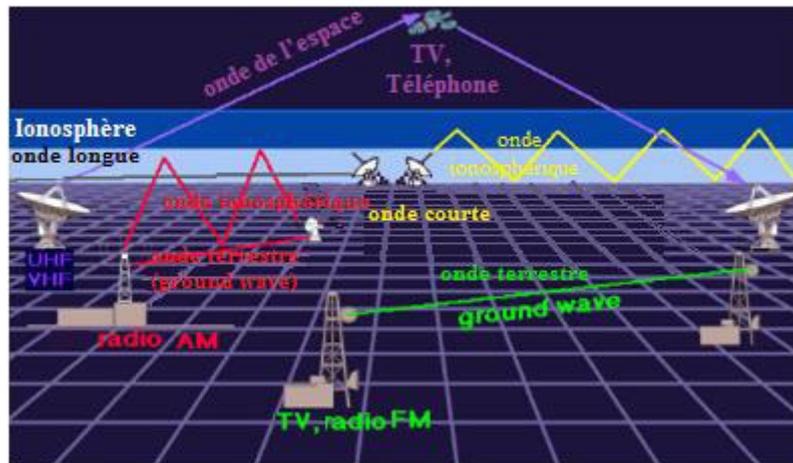


FIG 1.3 Propagation des ondes radio dans l'atmosphère terrestre

II – 3 / Propagation des ondes

Les ondes radio (notées RF pour Radio Frequency) se propagent en ligne droite dans plusieurs directions. Dans tout autre milieu, le signal subit un affaiblissement dû à la réflexion, la réfraction, la diffusion, l'interférence et l'absorption.

a. Réflexion

Lorsque le milieu change, une partie de l'onde électromagnétique repart vers le milieu d'origine. Le radar primaire exploite ce phénomène.

Lorsqu'une onde radio rencontre un obstacle, tout ou une partie de l'onde est réfléchi, avec une perte de puissance. La différence de temps de propagation (délai de propagation) entre deux signaux ayant emprunté des chemins différents peut provoquer des interférences au niveau du récepteur car les données reçues se chevauchent.

b. Réfraction

Lorsque le milieu change, l'onde se propage dans le second milieu mais avec une direction différente. Ceci a une grande influence sur la propagation des ondes radio.

c. Diffusion

Dans certains cas, lorsqu'une onde rencontre un corps, dont le milieu est différent, la diffusion influe sur la longueur d'onde et la fait augmenter ou diminuer.

d. Interférences

Les ondes électromagnétiques sont sujettes aux interférences. Elles ont pour conséquences les parasites lors des transmissions radio.

e. Absorption

Lorsqu'une onde radio rencontre un obstacle, une partie de son énergie est absorbée et transformée en énergie, une partie continue à se propager de façon atténuée et une partie peut éventuellement être réfléchi.

On appelle atténuation d'un signal, la réduction de la puissance de celui-ci lors d'une transmission. L'atténuation augmente avec l'augmentation de la fréquence ou de la distance. De plus, lors de la collision avec un obstacle, la valeur de l'atténuation dépend fortement du matériau composant l'obstacle [4].

II – 4 / Types de modulations d'une onde radio

La modulation peut être définie comme le processus par lequel le signal est transformé de sa forme originale en une forme adaptée au canal de transmission [3]. La modulation d'une onde radio est la variation d'une grandeur caractéristique d'une onde, telle que l'amplitude, la fréquence ou la phase, en fonction des variations d'un signal à transmettre. Pour retrouver le signal après transmission, il faut faire une démodulation.

a. Modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude (AM) est une technique utilisée pour moduler un signal. Elle consiste en la multiplication du signal à moduler par un signal de fréquence plus élevé. En d'autre terme cela consiste à modifier l'amplitude d'une onde porteuse de fréquence très élevée par le signal à transmettre auquel on ajoute une tension continue.

b. Modulation de fréquence

La modulation de fréquence (FM) est un mode de modulation consistant à transmettre un signal par la modulation de la fréquence d'un signal porteur (porteuse).

On parle de modulation de fréquence par opposition à la modulation d'amplitude. En modulation de fréquence, l'information est portée par une modification de la fréquence de la porteuse, et non par une variation d'amplitude. La modulation de fréquence est plus robuste que la modulation d'amplitude pour transmettre un message dans des conditions difficiles (atténuation et bruits importants) [3].

c. Modulation de phase

La modulation de phase (PM) consiste à transmettre un signal par la modulation de la phase de la porteuse. Cette modulation est non linéaire. Elle est utilisée en radiotéléphonie VHF (Very High Frequency) et en UHF (Ultra High Frequency).

Une modulation de phase précédée d'un filtrage étant équivalente à une modulation de fréquence, c'est aussi une façon de moduler en fréquence dans la radiotéléphonie [3].

II – 5 / Multiplexage

II 5 – 1 / Définition

On appelle multiplexage, la capacité à transmettre sur un seul support physique (appelé voie haute vitesse) des données provenant de plusieurs paires d'équipements (émetteurs et récepteurs) ; on parle alors de voies basse vitesse [3].

Le multiplexeur combine les données provenant de plusieurs voies basses vitesse sur une voie haute vitesse, alors que le démultiplexeur fait l'opération inverse.

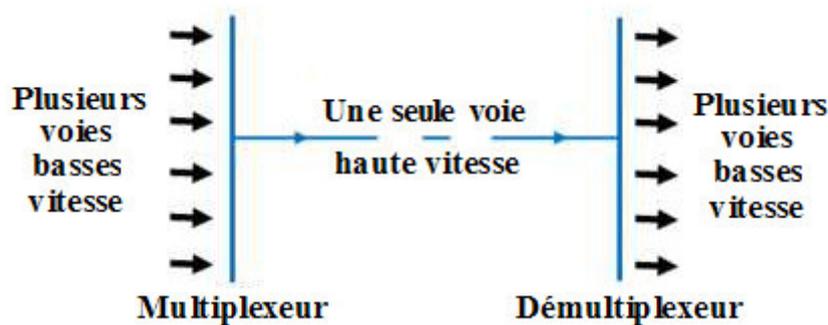


FIG 1.4 Multiplexage [3]

II 5 – 2 / Techniques d'accès multiples

L'accès multiples est une manière efficace de partager les ressources de communication en temps et bande passante pour augmenter la capacité d'un réseau de communication en nombre d'utilisateurs. Cette technique de partage doit être mise en œuvre sans créer d'interférences nuisibles aux performances des systèmes [5].

La définition des canaux de communication dépend de la méthode d'accès multiples retenue. Et les trois principales techniques d'accès multiple sont les suivantes :

1. Accès multiples par répartition de fréquences (Frequency Division Multiple Access, FDMA).
2. Accès multiples par répartition dans le temps (Time Division Multiple Access, TDMA).
3. Accès multiples par répartition des codes (Code Division Multiple Access, CDMA).

a. Accès multiples par répartition de fréquences (FDMA)

La technique FDMA a été la première méthode développée et utilisée dans les systèmes de téléphonie analogique. Pour ce type d'accès multiples, une bande de fréquence est allouée à

chaque utilisateur (Figure 1.5). L'ensemble est juxtaposé et transmis sur un même canal de transmission. En réception, un filtre sélectif accordé sur la bande de fréquence de l'utilisateur désiré permet de récupérer les données [5][6].

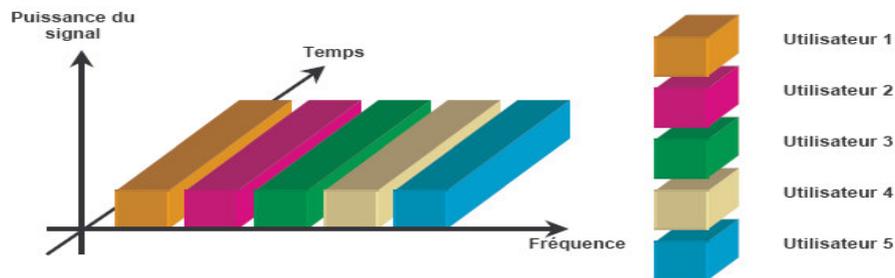


FIG 1.5 Technique d'accès multiple FDMA

b. Accès multiples par la répartition dans le temps (TDMA)

La méthode TDMA est basée sur la répartition des ressources en temps. Les utilisateurs partagent la même bande passante et émettent les données à transmettre dans les différents intervalles de temps ou « slots » qui leur sont alloués (Figure 1.6).

Le récepteur effectue l'opération de démultiplexage pour récupérer les données [5][6].

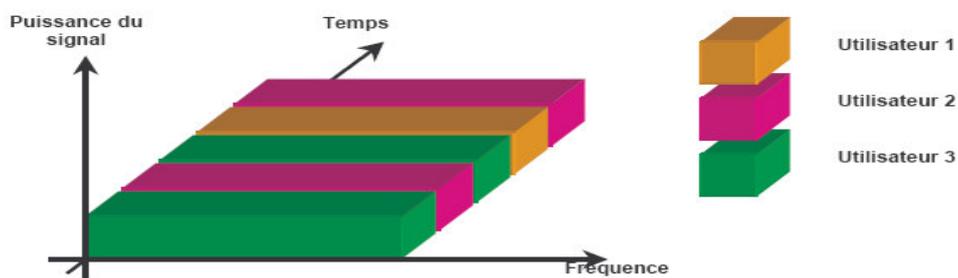


FIG 1.6 Technique d'accès multiple TDMA

b. Accès multiples par la répartition de codes (CDMA)

C'est une méthode utilisée pour plusieurs technologies de communication radio. Le concept de base dans cette technique est de permettre à plusieurs utilisateurs d'envoyer l'information simultanément à travers un seul canal et d'occuper la même bande de fréquence (Figure 1.7).

Ce concept appelé multiplexage CDMA qui emploie la technologie du spectre étendu et le système de codes spéciaux pour permettre aux utilisateurs d'utiliser le même canal physique [5] [6].

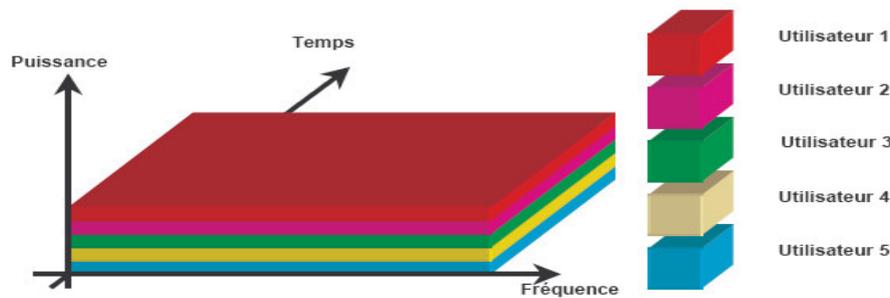


FIG 1.7 Technique d'accès multiple CDMA

III – Système OFDM

III – 1 / Historique et définition

Si les premières études sur les multi-porteuses datent de la fin des années 1950, le multiplexage à division de fréquences orthogonales, plus connu sous le nom anglophone OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a fait son apparition une dizaine d'années plus tard.

Délaissé ensuite lors du développement de la théorie de l'égalisation pour les systèmes mono-porteuses (de moindre complexité), l'OFDM refait son retour vers le milieu des années 1980, grâce au projet de radiodiffusion numérique DAB (Digital Audio Broadcasting). En effet, les systèmes mono porteuses, contrairement à l'OFDM, ne remplissaient pas les conditions de résistance aux trajets multiples et de débit élevé pour un taux d'erreur binaire faible requis par cette nouvelle application. Depuis lors, l'OFDM est restée une technique prépondérante, puisqu'elle est utilisée pour de nombreuses applications comme la télévision numérique DVB (Digital Video Broadcasting) ou la norme ADSL (Assymmetric Digital Subscriber Line) permettant des liaisons Internet à haut débit. Enfin l'OFDM s'adapte parfaitement aux communications mobiles, et semble incontournable pour les futurs standards de troisième et quatrième générations [7].

Le principe de l'OFDM consiste à diviser le signal numérique que l'on veut transmettre sur un grand nombre de porteuses. Pour que les fréquences des porteuses soient les plus proches possibles et ainsi transmettre le maximum d'informations sur une portion de fréquences, l'OFDM utilise des porteuses orthogonales entre elles [11].

III - 2 / La modulation multi porteuse

Les techniques multi porteuses consistent à transmettre en même temps des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses. L'amélioration de l'efficacité spectrale s'effectue et obtenue grâce à l'orthogonalisation des sous porteuses, ce qui permet d'implémenter la modulation et la démodulation à l'aide de circuits basés sur l'algorithme de

la transformée de Fourier rapide (FFT). La figure 1.8 nous éclaire la notion d'orthogonalité sur la modulation multi porteuse d'un système OFDM [5].

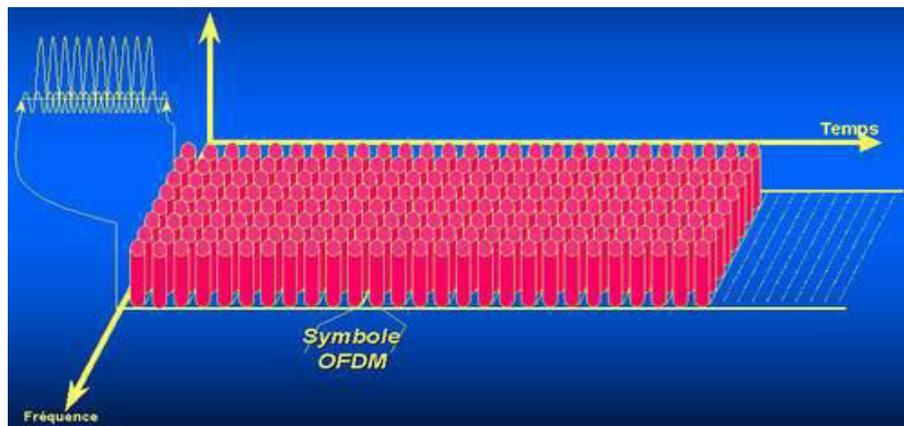


FIG 1.8 Modulation de l'OFDM [7]

III - 3 / Les différents modes d'accès OFDM

Dans une transmission OFDM, les informations relatives au canal de transmission tel que le rapport signal sur bruit SNR permettent à l'émetteur d'effectuer une allocation adaptative des sous-porteuses. Ce concept est utilisé dans les systèmes pratiques d'OFDM et il est référencé comme une modulation adaptative ou « BitLoading ». Différentes méthodes d'accès multiple utilisant la transmission OFDM existent : OFDM-TDMA, OFDM-FDMA, OFDM-CDMA.

a. OFDM-TDMA

Dans un système OFDM – TDMA, chaque utilisateur a un intervalle de temps durant lequel toutes les sous-porteuses lui sont allouées (Figure 1.9). On suppose que la durée de chaque intervalle de temps est égale à la durée d'un symbole OFDM. La modulation porte sur toutes les sous-porteuses suivant les conditions du canal. Ce mode d'accès multiple est meilleur que les autres modes quand l'allocation aléatoire est utilisée, car il bénéficie de tout le gain que présente le canal.

L'avantage de ce type d'accès multiple est la réduction de la consommation d'énergie au récepteur qui ne fonctionne qu'à des instants bien déterminés.

L'inconvénient de ce type de système est l'apparition des problèmes dans le cas de délai de propagation remarquable [7].

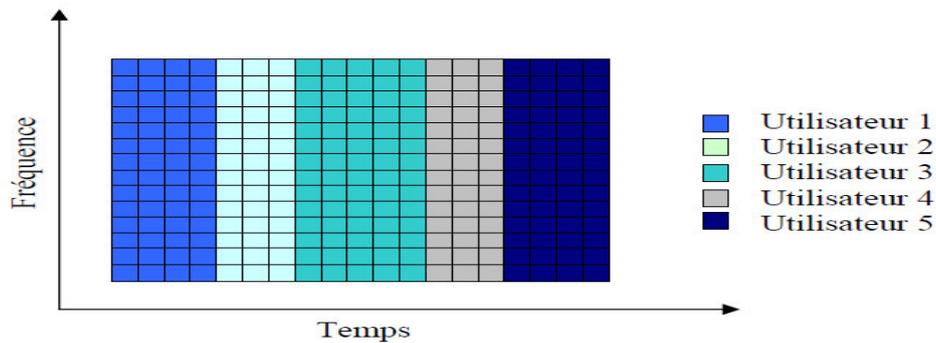


FIG 1.9 Accès multiple OFDM-TDMA [7]

b. OFDM-FDMA (OFDMA)

Dans un système OFDM – FDMA, Chaque utilisateur alloue une partie des sous porteuses à chaque symbole OFDM. Pour chaque sous-porteuse allouée, on applique une méthode adaptative d'allocation qui dépend du rapport SNR. Cette méthode présente des avantages et des inconvénients opposés à ceux de la méthode TDMA-OFDM.

A chaque usager est alloué un ensemble de sous-porteuses adjacentes (Figure 1.10). La station de base calcule le gain moyen des canaux adjacents pour tous les utilisateurs et pour tous les blocs. L'allocation d'un bloc à un utilisateur quelconque se fait en appliquant le « Greedy Algorithm » qui consiste à allouer un seul bloc à chaque utilisateur. Le premier bloc sera alloué à l'utilisateur qui présente le meilleur rapport SNR (Signal to Noise Ratio) associé à ce bloc. On continue en appliquant la même procédure avec les blocs et les utilisateurs restants, jusqu'à ce que tous les blocs soient alloués.

De ce qui précède découle la conclusion suivante : la meilleure combinaison utilisateur bloc est celle qui donne la somme maximale de gains fréquentiels moyens de tous les blocs alloués aux utilisateurs.

Cette méthode présente un inconvénient dans le cas de présence d'un creux dans la réponse fréquentielle du canal de transmission, car toutes les sous porteuses adjacentes seront affectées par ce creux, et par suite le bloc tout entier sera mal reçu [7].

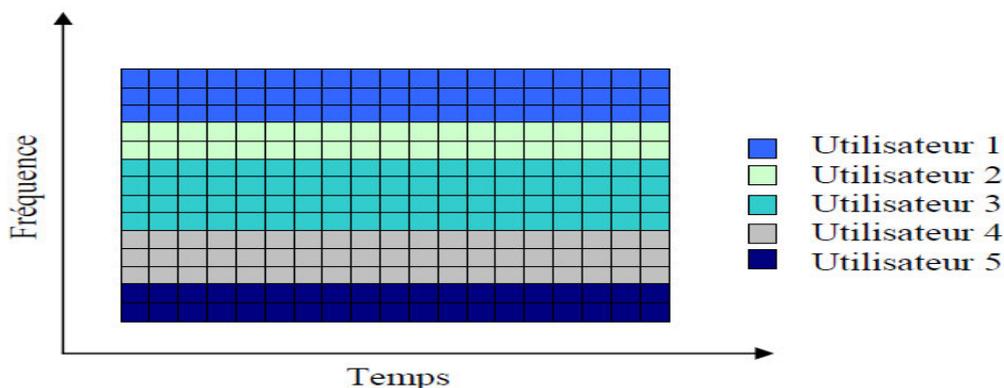


FIG 1.10 Accès multiple OFDMA [7]

c. OFDM-CDMA (MC-CDMA)

Les usagers se distinguent les uns des autres par des codes. La version de CDMA-OFDM la plus utilisée est la multi-porteuse CDMA (MC-CDMA). Dans ce type d'accès, le signal de donnée est étalé par une séquence directe d'étalement de spectre (DS-SS), le code d'étalement utilisé dans notre cas est le code Walsh.

L'avantage de CDMA-OFDM est la limite douce de la capacité de l'utilisateur, et au contraire de TDMA-OFDM et de FDMA-OFDM où la probabilité d'erreur d'un bit dépend de l'état de canal à la fréquence par laquelle il est modulé, dans le cas de l'OFDM-CDMA chaque bit prend l'avantage de tous les piques de gain du canal [7].

IV – Réseaux sans-fil

Un réseau sans-fil est un réseau dont au moins deux terminaux peuvent communiquer avec des ondes radio ou infrarouge et sans la présence d'une liaison filaire.

Un réseau local sans fil véhicule les informations soit par infrarouge, soit par onde radio. La transmission par onde radio est la méthode la plus répandue en raison de sa plus large couverture géographique et de son débit plus grand.

Il y a quelques règles simples qui peuvent être utiles pour concevoir un réseau sans fil :

- ✓ Plus la longueur d'onde est grande, plus loin sa portée rayonnera.
- ✓ Plus la longueur d'onde est grande, mieux voyagera celle-ci à travers et autour des choses.
- ✓ À plus courte longueur d'onde, plus de données pourront être transportées [11].

L'objectif initial du réseau local a été étendu à un accès sans fil large bande et une connectivité aux réseaux IP (Internet Protocol) mais a également donné naissance à de nombreux autres types de réseaux sans fil qu'on peut désigner sous l'acronyme WxAN, qui se distinguent par la nature des services offerts, donc des débits et des bandes de fréquence qui sont conçus pour être les mieux adaptés à leur environnement [7].

IV – 1 / Différents Réseaux sans fil

Un réseau sans-fil substitue les habituels câbles de connexion aérienne via des ondes radios, infrarouges ou éventuellement des faisceaux laser. Cette définition large nous amène à considérer plusieurs types de réseaux sans-fil :

a. Les réseaux sans-fil de type infrastructure

Les réseaux de type infrastructure sont des réseaux structurés, basés sur des équipements d'interconnexion faisant office de ponts entre un réseau radio et un réseau câblé, permettant

ainsi à de nombreux clients mobiles d'accéder à des ressources informatiques. Dans cette catégorie on trouve : les réseaux sans-fil locaux WLAN (Wireless Local Area Network), ou bien les réseaux sans-fil métropolitains et étendus on parle des WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) et WWAN (Wireless Wide Area Network) selon les distances.

b. Les réseaux ad-hoc

Les réseaux ad-hoc sont connus sous le nom de WPAN (Wireless Personal Area Network) ou des réseaux personnels sans-fil. L'objectif de ces réseaux est de fournir une connectivité sans infrastructure dédiée. Ils sont donc exclusivement point à point c.-à-d. qu'ils n'ont pas besoin d'un équipement intermédiaire pour communiquer entre eux [7].

IV – 2 / Différents Réseaux WxAN

Il existe différents types des réseaux sans-fil classés par rapport à leurs portés de couverture réseau en terme géographique. La figure 1.11 nous donne les différentes catégories des réseaux sans-fil.

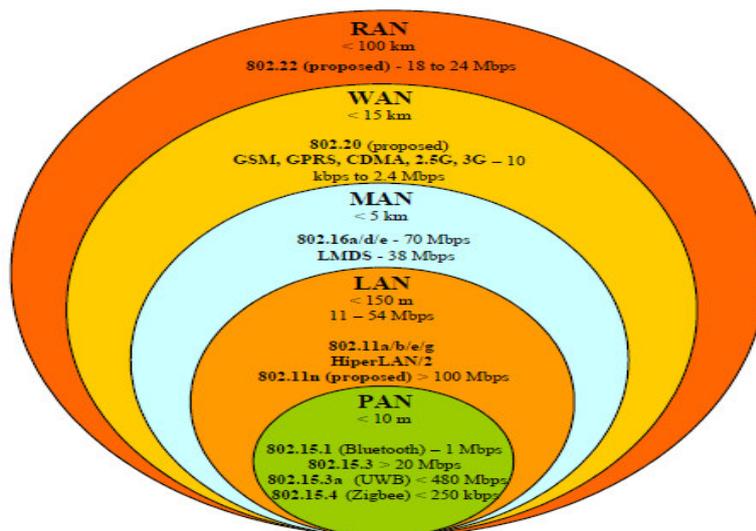


FIG 1.11 Catégorie des réseaux sans fil [8]

a. WPAN (Wireless Personal Area Network)

Les réseaux WPAN comme leurs noms l'indiquent sont des réseaux sans fil, personnels avec une portée très limitée (de quelques mètres) communiquent entre des équipements dans le même bureau ou dans la même maison.

Les WPAN sont regroupés au niveau de la norme IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) dans la famille 802.15, 15.3 pour les hauts débits, 15.4 pour les bas débits, Bluetooth pouvant être considéré comme le 15.1 [7].

b. WBAN (Wireless Body Area Network)

Dans la norme IEEE 802.15.4 connue sous le nom de WBAN, est en réalité une sous famille des réseaux WPAN dans la norme IEEE 802.15(WiMédia).

Le réseau WBAN pour Wireless Body Area Networks est Un réseau sans fil de proximité, situé sur, voire implanté à l'intérieur du corps humain. Ce réseau peut gérer les paramètres vitaux d'un corps humain et est constitué d'un ensemble de composants communicants avec des technologies sans fil (comme le Bluetooth IEEE 802.15.1, Zig Bee 15.4, ou UWB (Ultra Wide Band) 15.3). Ces composants consistent en un ensemble de capteurs reliés entre eux et connectés à un appareil de retransmission appelé nœud-maître. Celui-ci transmet les données collectées par l'ensemble des capteurs vers un serveur central via une liaison ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). La figure 1.12 nous montre un exemple d'utilisation de ce type de réseaux sur un corps humain utilisé en télémédecine.

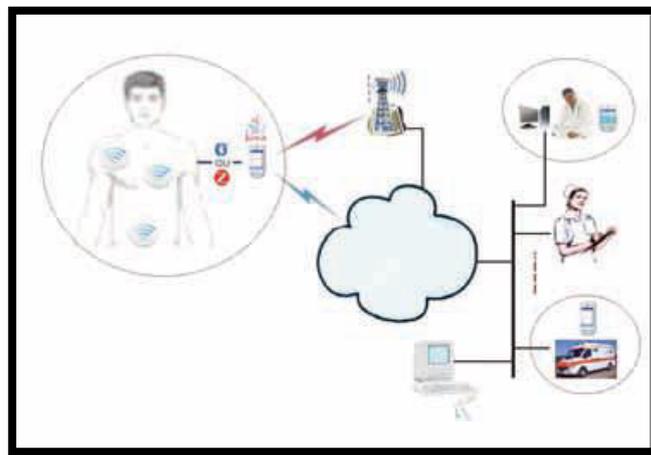


FIG 1. 12 Réseau WBAN utilisé en télémédecine [9]

- Le WBAN constitué de divers capteurs sans fil communiquant entre eux en mode ad hoc et connectés à un appareil de retransmission.
- Un retransmetteur du WBAN, peut être installé à l'aide d'un « Smartphone » ou d'un "Pocket PC". Il fera office de passerelle entre le WBAN et le réseau global Internet. Il assurera également la sécurité et la confidentialité de cette liaison [9].

c. WLAN (Wireless Local Area Network)

Les WLAN ont été conçus pour offrir un accès large bande radio avec des débits de plusieurs Mégabit/s pour relier des équipements de type PC et autres équipements électroniques ou informatiques dans des environnements professionnels, immeubles de bureaux, bâtiments industriels ou grand public et se connecter à un réseau cœur, tel qu'un réseau Ethernet. Ils sont déployés dans des lieux privés mais aussi dans des lieux publics gare, aéroports, campus (hot spots).

Deux grandes familles se partagent le domaine des WLAN résultant des travaux menés aux États-Unis et en Europe :

- ✓ La première famille est celle du WiFi, nom donné à la norme IEEE 802.11b qui est actuellement la plus populaire pour offrir des débits jusqu'à 11 Mbit/s pour des distances de 10 à 100 m.
- ✓ La seconde famille est celle de l'HIPERLAN2 et de IEEE 802.11a, basée sur l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) plus robuste aux distorsions sélectives en fréquence du canal, offrant des débits jusqu'à 54 Mbit/s mais au prix d'une complexité plus grande [7].

d. WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

Les WMAN sont l'accès radio large bande fixe pour l'extérieur des bâtiments en remplacement d'un réseau câblé, filaire ou optique ou d'un réseau ADSL avec une structure un peu similaire à celle d'un réseau cellulaire avec une station de base et une réception à partir d'une antenne extérieure au bâtiment. Le WMAN constitue un accès pour les réseaux WLAN, WPAN qui se trouvent à l'intérieur du bâtiment mais il est envisageable que certains protocoles réseaux (mais pas au niveau de l'interface radio) permettent d'assurer une liaison entre la BS (Base Station) et l'équipement individuel [7].

Les WMAN sont des réseaux avec une portée de 2 à 50 kilomètres, l'envergure d'une ville. Cette technologie est destinée principalement aux opérateurs de télécommunication. Les principales normes sont IEEE802.16/WiMax (World wide Interoperability for Microwave Access) et IEEE 802.20/MBWA (Mobile Broadband Wireless Access).

IEEE 802.16/WiMax est avant tout une famille de normes, définissant les connexions à haut débit par voie hertzienne. Le but premier du WiMax était de permettre la création de réseaux métropolitains fixes à très hauts débit. La norme 802.16e, publiée le 24 Juin 2004, utilise une fréquence entre 2 et 6 GHz et offre un taux de transmission théorique pouvant atteindre 74 Mbit/s. Elle apporte aussi un certain niveau de mobilité au WiMax : Les utilisateurs peuvent se déplacer jusqu'à 60km/h en conservant un débit de 15 Mbit/s. La norme IEEE802.16/WiMax sera détaillée plus loin dans ce chapitre.

IEEE 802.20/MBWA est un standard en cours de développement permettant plus de mobilité que le WiMax et plus de débit que l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Cette technologie utilise des fréquences inférieures à 3,5 GHz avec une cellule d'un rayon de 2,5Km et peut offrir 1 Mbits/s par utilisateur. Des versions utilisant un canal plus large de 5 MHz pourraient permettre des débits de 4 Mbit/s en descente et 1,2 Mbit/s en

montée pour chaque utilisateur. Le MBWA autorise des déplacements pouvant aller jusqu'à 250km/h avec un débit d'1Mbit/s [10].

e. WWAN (Wireless Wide Area Network)

Les réseaux WWAN sont des réseaux fonctionnant à une très grande portée (une dizaine de kilomètres). Ils sont utilisés dans les réseaux de téléphonie comme le GSM, GPRS (General Packet Radio System) et UMTS, aussi dans les réseaux satellitaires.

L'implémentation de ce type de réseau est onéreuse par rapport à ceux vue précédemment.

f. WRAN (Wireless Regional Area Network)

Bien connu sous la norme IEEE 802.22, les WRAN sont des réseaux régionaux sans fil qui fonctionneront dans des canaux de télévision inutilisés, et fourniront un accès aux services sans fil. La norme finale va supporter des canaux de 6,7 et 8 MHz pour une opération mondiale. Le WRAN est basé sur l'OFDMA. Cette norme est en cours de développement et est actuellement sous forme d'ébauche [3].

IV – 3 / Différentes normes 802.x

Dans les réseaux sans fil comme vue précédemment, les ondes radio et les ondes infrarouges sont les principales ondes adaptées à ce type de réseaux. Nous nous intéresserons aux ondes radio dont les différentes normes sont données comme suit :

IV 3 – 1 / Normes 802.11

a. Norme 802.11a

Cette norme a été développée en 1999 (parfois appelée WiFi5), elle opère dans la bande de fréquence 5 GHz, incompatible avec la fréquence 2,4 GHz. Elle utilise l'OFDM qui permet de limiter les interférences et rend possible des vitesses de transmission de données allant jusqu'à 54 Mbps.

b. Norme 802.11b, WiFi

Le terme WiFi (Wireless Fidelity), fait référence à cette norme qui fût la première norme des WLAN utilisée par un grand nombre d'utilisateurs, elle a été approuvée en 1999 par l'IEEE. La norme WiFi permet l'interopérabilité entre les différents matériels existants, elle offre des débits de 11Mbps, avec une portée de 300 m dans un environnement dégagé. Elle fonctionne dans la bande de fréquence 2,4 GHz, séparée en plusieurs canaux.

c. Norme 802.11g

Cette norme a été développée en 2003. Elle étend la norme 802.11b, en augmentant le débit jusqu'à 54Mbps théorique (30Mbps réels). Elle fonctionne aussi à 2,4 GHz, cette utilisation de la même zone de fréquence devrait permettre de mélanger des points d'accès 802.11b. Le point central adapte sa vitesse en fonction du périphérique connecté, permettant à des clients 802.11b de se connecter.

Grâce à cela, les équipements 802.11b sont utilisables avec les points d'accès 802.11g et vice versa. Cette norme utilise l'authentification WEP statique, elle accepte aussi d'autres types d'authentification WPA (Wireless Protected Access) avec cryptage dynamique (méthode de chiffrement TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) et AES (Advance Encryption Standard)).

d. Norme 802.11i

Ratifié en juin 2004, cette norme décrit des mécanismes de sécurité de transmission. Elle propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g. La 802.11i agit en interaction avec les normes 802.11b et 802.11g. Le débit théorique est donc inchangé, à savoir 11Mbps pour la 802.11b et 54Mbps pour la 802.11g.

e. Norme 802.11e

Disponible depuis 2005. Elle vise à donner des possibilités en matière de qualité de service au niveau de la couche liaison de données, des fonctionnalités de sécurité et d'authentification.

Ainsi, cette norme a pour but de définir les besoins des différents paquets en termes de bande passante et de délai de transmission de telle manière à permettre notamment une meilleure transmission de la voix et de la vidéo.

f. Norme 802.11n

Cette norme est normalisée depuis 2009, elle utilise en même temps les bandes de fréquences 2,4 GHz et 5 GHz. La vitesse maximum théorique est de 150 à 300 Mbps. Cette vitesse est celle de transport et ne tient pas compte des codes de contrôles, cryptage inclus dans le message. En pratique, le débit effectif est compris entre 100 et 200 Mbps.

Le 802.11n utilise le MIMO (Multiple Input Multiple Output) qui permet d'envoyer et de recevoir les données en utilisant plusieurs antennes simultanément. En modifiant le positionnement des antennes du point d'accès comme de la carte réseau, on augmente la

distance maximale (mais toujours sous les 100 m). Cette solution ne permet pas non plus de passer les murs mais permet dans certains cas de les contourner [3].

IV 3 – 2 / Norme 802.15

Connue sous le nom de Bluetooth, cette norme est une spécification industrielle pour les zones de réseaux PAN. Elle a été lancée par Ericsson en 1994. Ce type de liaison sans fil permet de relier deux appareils via une liaison hertzienne.

Le Bluetooth offre des débits moyens (1Mbps en théorie) sur un rayon limité (10 à 30 m en pratique).

Au sein d'un réseau Bluetooth, la bande passante est partagée entre un appareil servant de maître et jusqu'à 7 périphériques esclaves. Il est possible en théorie de faire communiquer jusqu'à 10 groupes d'appareils, soit 80 appareils [3].

IV 3 – 3 / Normes 802.16

Connue sous le nom de WiMax (World wide Interoperability for Microwave Access) est une connexion sans fil à haut débit et de longue distance. Elle autorise un débit de 70Mbps en théorie sur maximum 50 km, mais en pratique elle offre 10Mbps sur 2 km.

Le réseau WiMax désigne dans le langage courant un ensemble de standards et techniques du monde des réseaux WMAN. Il est principalement fondé sur une topologie en étoile bien que la topologie maillée soit possible.

Il existe différentes versions de WiMax :

- ✓ La version **802.16a** permet une distance de 20 km maximum avec un débit de 12 Mbps. La bande de fréquence utilisée se situe entre 2 et 11 GHz. Elle est obsolète.
- ✓ La version **802.16d** La norme officielles de WiMax, elle peut atteindre des distances de 50 km. C'est cette norme qui est actuellement commercialisée pour les connexions internet.
- ✓ La version **802.16e** transpose le WiMax pour la téléphonie mobile avec un taux de transfert de 30Mbps pour une distance de 3 km maximum. La plage de fréquence se situe entre 2 et 6 GHz [3].

IV 3 – 4 / Normes 802.22

IEEE 802.22 est un nouveau groupe de travail du comité de normalisation d'IEEE 802 LAN/MAN qui vise à construire l'utilisation sans fil du réseau WRAN des espaces blancs (canaux qui ne sont pas déjà utilisés) dans le spectre assigné de fréquence de TV.

La norme IEEE 802.22 est une norme de radio cognitive visant à doter les régions rurales moins peuplées d'un accès à large bande en utilisant des canaux de télévision vacants. De

part, le fait que les niveaux du bruit industriel et des réflexions ionosphériques demeurent relativement bas, que les antennes présentent des dimensions raisonnables et que les caractéristiques de propagation sans visibilité directe sont très bonnes, les bandes de radiodiffusion télévisuelle dans la gamme des VHF et des UHF se révèlent idéales pour la couverture de vastes régions rurales à faible densité de population [3].

V – Réseaux mobiles

Contrairement à ce que pensent les gens, un réseau mobile n'est pas forcément un réseau sans fil, à titre d'exemple, un système sans cordon est un système sans fil mais il n'est pas mobile. Certains systèmes tels que le GSM offrent la mobilité et le sans-fil simultanément mais La mobilité dans les réseaux de communication est définie comme la capacité d'accéder, à partir de n'importe où, à l'ensemble des services disponibles dans un environnement fixe et câblé. Tandis que, l'informatique mobile est définie comme la possibilité pour des usagers munis de périphériques portables d'accéder à des services et à des applications évoluées, à travers une infrastructure partagée de réseau, indépendamment de la localisation physique ou du mouvement de ses usagers [3].

V – 1 / Les différentes cellules

Dans un système cellulaire, une zone géographique est partagée en un certain nombre de sous-zones appelées cellules, il existe six types de cellules :

- Pico cellules : Les pico cellules sont les plus petites cellules utilisées dans les réseaux cellulaires. Elles ont une zone de couverture de peu de mètres, entre 30 à 80 mètres.
- Nano cellules : Elles sont utilisées dans les villes à forte densité populaire. L'aire géographique couverte par ces cellules est moins qu'un kilomètre.
- Micro cellules : elles sont employées dans des zones urbaines avec une zone de couverture de quelques kilomètres.
- Macro cellules : Elles couvrent une aire de plus de dix kilomètres et sont employées dans des régions rurales et montagneuses où il n'y pas beaucoup de trafic.
- Cellules parapluie : Elles se composent d'une macro cellule et de plusieurs microcellules. Elles sont employées quand une station mobile se déplace à une vitesse rapide.
- Cellules sectorielles ou sélectives : Ces cellules sont utilisées lorsque nous avons une couverture dans une seule direction. Par exemple dans un tunnel [11].

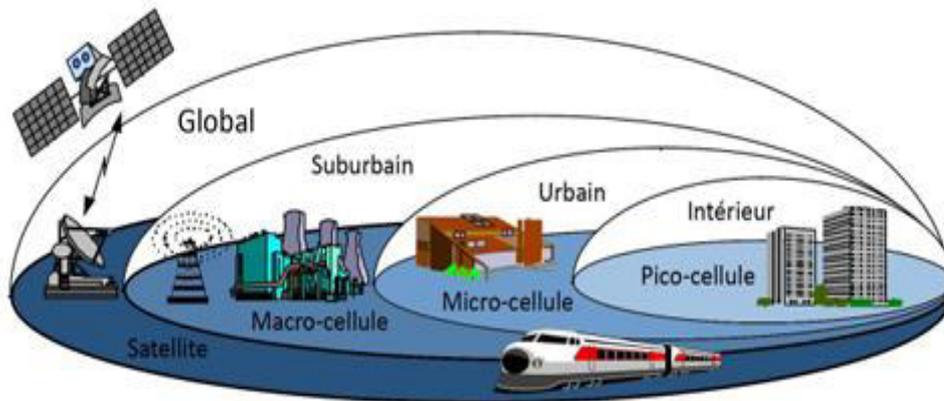


FIG 1.13 Les différents types de cellules [12]

V – 2 / Les différentes générations des téléphones mobiles

Le système cellulaire était créé dans le but de la communication mobile, la téléphonie a permis de mieux gérer le système cellulaire pour la transmission du son et de la parole mais ça c'était avant, dans les nouvelles générations les services précédents ne sont plus suffisants pour les téléphones mobiles, des applications avancées sont apparues. Comme la messagerie vocale, la conférence téléphonique ou les services vocaux. Nous allons maintenant voir l'évolution des systèmes cellulaires des différentes générations des téléphones mobiles.

a. Première génération (1G)

La première génération de téléphonie mobile (notée 1G) possédait un fonctionnement analogique et était constituée d'appareils relativement volumineux. Il s'agissait principalement des standards suivants :

- **AMPS** (Advanced Mobile Phone System), apparu en 1976 aux Etats-Unis, constitue le premier standard de réseau cellulaire. Ce réseau analogique de première génération possédait de faibles mécanismes de sécurité rendant possible le piratage de lignes téléphoniques.
- **TACS** (Total Access Communication System) est la version européenne du modèle AMPS. Utilisant la bande de fréquence de 900 MHz, ce système fut notamment largement utilisé en Angleterre.
- **ETACS** (Extended Total Access Communication System) est une version améliorée du standard TACS, développé au Royaume-Uni, utilisant un nombre plus important de canaux de communication.

Les réseaux cellulaires de la première génération ont été vite rendus obsolètes avec l'apparition d'une seconde génération entièrement numérique [13].

b. Deuxième génération (2G)

La seconde génération des réseaux mobiles ont marqué une rupture avec la première génération de téléphones cellulaires grâce au passage de l'analogique vers le numérique. Les principaux standards de téléphonie mobile 2G sont le GSM, le GPRS, et l'EDGE.

➤ Le standard GSM :

Le réseau GSM (Global System for Mobile communications) constitue au début du 21^{ème} siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé. Baptisé « Groupe Spécial Mobile » à l'origine de sa normalisation en 1982, il est devenu une norme internationale nommée « Global System for Mobile communications » en 1991.

En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Aux États-Unis par contre, la bande de fréquence utilisée est la bande 1900 MHz. Ainsi, on qualifie de tri-bande, les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux États-Unis. Et de bi-bande ceux fonctionnant uniquement en Europe.

La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbit/s, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS, pour Short Message Service) ou des messages multimédias (MMS, pour MultiMedia Message Service). Les bandes de fréquences autour de 1800 MHz est dite DCS (Digital Cellular System) et celle autour de 1900 MHz est dite PCS (Personal Communication System) [13].

➤ Le standard GPRS :

Le standard GPRS (General Packet Radio Service) est une évolution de la norme GSM, ce qui lui vaut parfois l'appellation GSM++ (ou GSM 2+). Étant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant de faire la transition vers la troisième génération (3G), on parle généralement de 2.5G pour classer le standard GPRS.

Le GPRS permet d'étendre l'architecture du standard GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums de l'ordre de 171,2 kbit/s (en pratique jusqu'à 114 kbit/s). Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. Le standard GPRS permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût. Ainsi, le standard GPRS utilise l'architecture du réseau GSM pour le transport de la voix, et propose d'accéder à des réseaux de données (notamment Internet) [13].

➤ **Le standard EDGE :**

Le standard EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation. Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner le standard EDGE.

EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par le GSM (8-PSK), ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles. L'EDGE permet ainsi de multiplier par un facteur 3 le débit des données avec une couverture plus réduite. Dans la théorie, le standard EDGE permet d'atteindre des débits allant jusqu'à 384 kbit/s pour les stations fixes (piétons et véhicules lents) et jusqu'à 144 kbit/s pour les stations mobiles (véhicules rapides) [13].

c. Troisième génération (3G)

Les spécifications IMT-20007 de l'Union Internationale des Communications (UIT), définissent les caractéristiques de la 3G (troisième génération de téléphonie mobile). ses caractéristiques sont notamment les suivantes :

- ❖ Un haut débit de transmission :
 - 144 Kbit/s avec une couverture totale pour une utilisation mobile,
 - 384 Kbit/s avec une couverture moyenne pour une utilisation piétonne,
 - 2 Mbit/s avec une zone de couverture réduite pour une utilisation fixe.
- ❖ Compatibilité mondiale,
- ❖ Compatibilité des services mobiles de 3^{ème} génération avec les réseaux de seconde génération.

La 3G propose d'atteindre des débits supérieurs à 144 kbit/s, ouvrant ainsi la porte à des usages multimédias tels que la transmission de vidéo, la visioconférence ou l'accès à Internet haut débit. Les réseaux 3G utilisent des bandes de fréquences différentes des réseaux précédents : 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

La principale norme 3G, utilisée en Europe s'appelle UMTS (Universal Mobile Télécommunications System), utilise un codage W-CDMA. La technologie UMTS utilise la bande de fréquence de 5 MHz pour le transfert de la voix et de données avec des débits pouvant aller de 384 kbit/s à 2 Mbit/s.

La technologie HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) est un protocole de téléphonie mobile de troisième génération baptisé 3.5G permettant d'atteindre des débits de

l'ordre de 8 à 10 Mbits/s. La technologie HSDPA utilise la bande de fréquence 5 GHz et utilise le codage W-CDMA [13].

Le LTE (Long Term Evolution) est une évolution des normes de téléphonie mobile GSM/EDGE, CDMA2000, TD-SCDMA et UMTS. La norme LTE, a d'abord été considérée comme une norme de troisième génération « 3.9G » (car proche de la 4G), spécifiée dans le cadre des technologies IMT-2000, car dans les « versions 8 et 9 » de la norme, elle ne satisfaisait pas toutes les spécifications techniques imposées pour les normes 4G par l'Union internationale des télécommunications (UIT). La norme LTE n'est pas figée (en général une nouvelle version tous les 12 à 18 mois¹) [14].

d. Quatrième génération (4G)

La différence frappante entre les débits théoriques et pratiques ont permis aux concurrents de déployer une nouvelle génération des téléphones mobiles permettant d'atteindre des débits de données de plus en plus élevés, Les utilisateurs mobiles ont de plus en plus besoins d'avoir accès à un ensemble riche des services multimédia avancés en utilisant n'importe quel terminal disponible, avec une qualité de service acceptable à travers n'importe quel réseau d'accès disponible.

C'est grâce à l'utilisation d'OFDMA avec la technologie MIMO que le WiMax mobile prétend satisfaire les besoins des utilisateurs mobiles. Le WiMax mobile concurrence l'UMTS. Les réseaux WiMax mobiles représentent en 2012 un quart des équipements de communication mobile au niveau terrestre [3].

En octobre 2010, l'UIT a reconnu la technologie LTE-Advanced comme une technologie 4G à part entière, puis, il a accordé en décembre 2010, aux normes LTE et WiMax définies avant les spécifications « IMT-Advanced » et qui ne satisfaisaient pas complètement à ses prérequis, la possibilité commerciale d'être considérées comme des technologies « 4G », du fait d'une amélioration sensible des performances comparées à celles des premiers systèmes « 3G » : UMTS [15].

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz, dans une plage de fréquences théorique de 450 MHz à 3,8 GHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en « liaison descendante » (downlink, vers le mobile). La « vraie 4G », appelée LTE Advanced offrira un débit descendant pouvant atteindre 1 Gbit/s, ce débit nécessitera l'utilisation de bandes de fréquences de 2×100 MHz de largeur qui sont définies dans les versions 10 et 11 de la norme LTE Advanced [14].

e. Cinquième génération (5G)

La 5ème génération n'est pas encore officialisée, mais La technologie de la 5G pourrait permettre des débits de télécommunication mobile dépassant plusieurs gigabits de données par seconde. Soit jusqu'à 1 000 fois plus rapides que les réseaux mobiles des générations précédentes, elle aura la possibilité d'inclure l'informatique en nuage (en anglais le cloud computing), d'intégration et d'interopérabilité d'objets communicants (dont les voitures et autres véhicules sans conducteurs) et autres réseaux dits intelligents comme la Radio cognitive dont nous allons l'utiliser tout au long de cette thèse.

VI – Conclusion

Les ondes électromagnétiques sont représentées comme une grande gamme de fréquences, nous nous sommes intéressés aux ondes radio qui seront les éléments essentiels de cette thèse. Le développement des réseaux sans fil et mobiles a connu un essor phénoménal ces deux dernières décennies, les technologies récentes sont très utilisées dans divers domaines de télécommunication due aux besoins de l'interconnexion et la disponibilité des utilisateurs à tout moment, à tout endroit et par n'importe qui.

Dans ce chapitre nous avons décrit brièvement une grande partie des ondes radio, les différentes techniques de modulation et de multiplexage ainsi une vue globale sur le système OFDM qui est le plus utilisé dans les récentes technologies d'accès multiple. Nous avons aussi vu et comparé les différentes facettes des réseaux sans fil et mobiles, ainsi que les différentes normes et différentes générations utilisées en téléphonie. Nous allons voir par la suite l'utilité de ces réseaux vis-à-vis les systèmes autonomes dans un environnement de radio cognitive.

CHAPITRE II

Introduction à la radio cognitive

Sommaire

I – Introduction.....	32
II – La radio logicielle restreinte.....	32
II – 1 / Architectures matérielle d’une radio logicielle restreinte.....	33
II – 2 / Exemples d'applications	33
III – La radio cognitive	36
III – 1 / Historique.....	36
III – 2 / Définition	36
III – 3 / Relation entre RC et SDR.....	38
III – 4 / Architecture de la radio cognitive.....	39
III – 5 / Cycle de cognition.....	41
III – 6 / Composantes de la radio cognitive	44
III – 7 / Fonctions de la radio cognitive.....	45
IV- Les réseaux de futur.....	51
IV - 1/ Les composants des réseaux de futur	51
IV - 2/ Hétérogénéité du spectre.....	52
IV - 3/ Hétérogénéité du réseau.....	53
V - Applications de la Radio cognitive	53
V – 1 / Amélioration de l'efficacité spectrale	54
V – 2 / Amélioration de la fiabilité du lien radio	54
V – 3 / Topologie avancée du réseau	54
V – 4 / Techniques de collaboration.....	54
V – 5 / Automatisation de la gestion des ressources radio	55
VI - Langages de la radio cognitive	55
VII - Domaines d’application de la radio cognitive	57
VII – 1 / Service santé (eHealth services)	57
VII – 2 / Coexistence de différentes technologies sans fil.....	57
VII – 3 / réseaux militaires	57
VII – 4 / réseaux d’urgences	57
VII – 5 / réseaux mobiles.....	58
VIII – Conclusion	58

I – Introduction

Les réseaux sans fil ont connu un essor phénoménal ces dix dernières années, ce qui nous amène à dire que la gestion et le partage du spectre sont devenus les principales préoccupations des réseaux sans fil. En outre plusieurs études ont été réalisées pour palier à ces problèmes, l'une des principales solutions est la radio cognitive (RC). Cette dernière permet une bonne gestion du spectre en occupant ou bien en exploitant les bandes inoccupées des spectres radio, et bien sûr en essayant d'utiliser efficacement le débit sans pour autant à dégrader les communications des autres.

Dans ce chapitre nous allons voir les différentes facettes de la radio cognitive en termes d'historique, principe de fonctionnement, architectures et applications.

II – Radio logicielle restreinte

Pour bien comprendre la SDR (Software Defined Radio), nous allons d'abord vers la radio logicielle (software radio). Apparue dans les années quatre-vingts dix, la radio logicielle est définie comme une classe de radio reprogrammable et reconfigurable d'après les travaux de Joseph Mitola [16].

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 intègre également l'implantation logicielle des procédés de cryptographie, codage correcteur d'erreurs, codage source de la voix, de la vidéo ou des données.

Le concept de la 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. [17]

La radio logicielle restreinte permet de passer dans une espèce de phase intermédiaire de la radio logicielle, cette phase permet de combiner entre anciennes et nouvelles techniques, cette phase permet de réduire le coût onéreux à savoir la consommation électrique ainsi que les contraintes de puissance de calcul.

La SDR (Software Defined Radio) est un système de communication radio qui peut s'adapter à n'importe quelle bande de fréquence et recevoir n'importe quelle modulation en utilisant le même matériel [18].

Comme nous l'avons déjà mentionné auparavant, l'une des préoccupations des réseaux sans fil et la gestion du spectre radio, la SDR permet de résoudre le problème de la gestion dynamique du spectre accordant ainsi aux équipements la flexibilité et l'adaptation automatique dans différentes zones pour différents spectres de différentes fréquences.

II – 1 / Architectures matérielle d'une radio logicielle restreinte

La radio logicielle restreinte, en anglais Software Defined Radio (SDR), est un émetteur / récepteur radio réalisé principalement en logiciel et dans une moindre mesure en matériel.

Pour le côté de la réception, la partie matérielle permet soit de faire la numérisation directe, par un convertisseur analogique-numérique (CAN) des signaux hautes fréquences de la bande à recevoir, soit de faire la conversion dans une bande de Fréquence dite Intermédiaire (FI) avant la numérisation.

Après l'étape de la conversion, des traitements peuvent être réalisés de façon logicielle comme par exemple : filtrage, décimation, démodulation, décodage, etc. Ces traitements sont réalisés par un microprocesseur intégré et destiné au traitement du signal (DSP, Digital Signal Processor), compris d'un composant conçu au traitement du signal (ASIC : Application Specific Integrated Circuit), et d'un composant électronique programmable (FPGA, Field Programmable Gate Array), ou directement sur le processeur d'un PC traditionnel. Cela permet d'universaliser et une grande adaptabilité à l'émetteur/récepteur. Ce qui est le cas, si on change ou on adapte un logiciel pour qu'il fonctionne avec un autre système radio [19].

L'émission et la réception des systèmes radio classiques, sont garantis par des composants matériels (oscillateurs, filtres, ...etc.) bien spécifiques et adaptable aux systèmes auxquels ils sont destinés. Le changement du matériel et l'intégralité du récepteur est primordial pour l'utilisation des systèmes différents.

Trois types d'architecture sont principalement représentés dans la littérature pour la radio logicielle restreinte, elles sont décrites dans ce qui suit :

a) La conversion directe

L'architecture du récepteur à conversion directe présentée sur la figure 2.1, réalise une transposition directe en bande de base dans le domaine analogique en multipliant le signal RF par un Oscillateur Local (OL) à la valeur de la porteuse du canal à démoduler. Comparée à une architecture conventionnelle super-hétérodyne, cette architecture n'a pas besoin d'une transposition en fréquence FI. Cependant, elle présente des inconvénients : un problème de tension de décalage (DC-offset) résultant de la réjection de l'OL dans l'entrée du mélangeur et une sensibilité aux émetteurs puissants dans les canaux adjacents qui saturent les mélangeurs.

De plus, dans un contexte multi-standard, il est nécessaire que l'OL soit capable de transposer toutes les fréquences porteuses correspondant aux différents standards. Aussi, il est difficile de réaliser un déphaseur de $\pi/2$ à fréquence élevée. Cette architecture est particulièrement intéressante pour les mobiles et est déjà utilisée dans certains récepteurs DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone) [17].

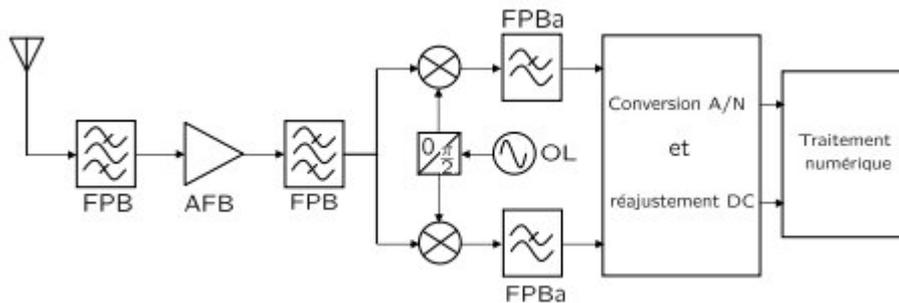


FIG 2.1 Radio logicielle restreinte avec conversion directe. FPB : Filtre Passe Bande ; FPBa : Filtre Passe Bas ; AFB : Amplificateur Faible Bruit ; OL : Oscillateur Local ; A/N : Analogique/Numérique [17]

b) FI basse fréquence

L'idée dans cette architecture consiste à réaliser une transposition de fréquence la plus basse possible. Dans ce cas de figure, la transposition en bande de base est réalisée en numérique et un seul convertisseur A/N est utilisé comme illustré sur la figure 2.2.

Cette architecture représente un compromis par rapport à la radio logicielle idéale, la bande de fréquence ramenée en FI doit être supérieure à la bande passante du ou des canaux (station de base) à démoduler.

L'inconvénient majeur des architectures avec la FI basse fréquence par rapport à la future radio logicielle réside dans le besoin d'une transposition de fréquence réalisée en circuits analogiques [17].

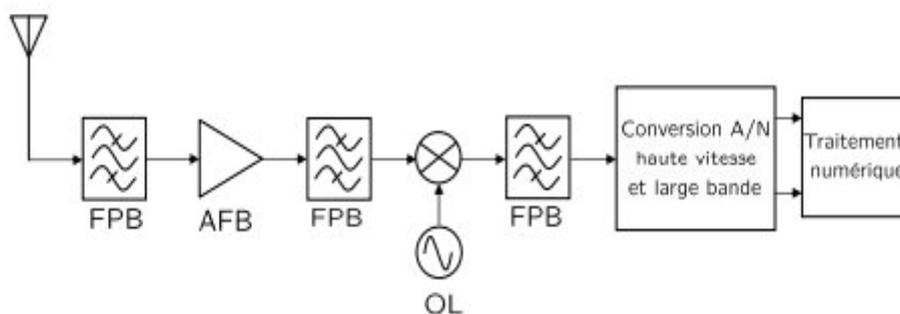


FIG 2.2 Radio logicielle restreinte avec FI basse fréquence [17]

c) Le sous-échantillonnage

Le principe de cette architecture est d'utiliser le repliement des spectres induit par l'échantillonnage pour transposer la bande de fréquence à traiter en bande de base. La fréquence d'échantillonnage doit être supérieure à deux fois la bande passante à numériser et égale à un sous multiple de la fréquence maximale RF (ou FI) (Fig 2.3). Dans ce cas, un filtrage RF (ou FI) sélectif est nécessaire pour isoler la bande sans chevauchement avec les canaux adjacents.

Le principal avantage de cette architecture est l'absence des transpositions de fréquence mais les contraintes sur le convertisseur A/N demeurent très fortes. De plus, le sous-échantillonnage ($f_e < 2f_{\max}$) entraîne aussi une dégradation du rapport signal à bruit [17].

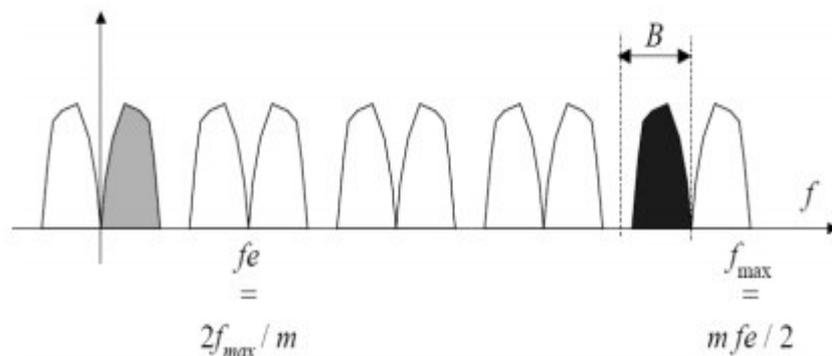


FIG 2.3 Effet du sous échantillonnage. f_e : fréquence d'échantillonnage ; f_{\max} : fréquence maximale RF (ou FI) ; B : bande passante à numériser [17]

Remarque : Les architectures matérielles que nous avons décrites ci-dessus sont orientées côté réception au niveau du terminal, mais il faut savoir que l'ensemble des problèmes de la radio logicielle concerne l'émission et la réception aussi bien des terminaux que des stations de base [17].

II – 2 / Exemples d'applications

Les techniques de radio logicielle sont par exemple utilisées dans les réseaux mobiles (GSM, UMTS, etc...) et plus précisément dans les stations de base (BTS, Base Transceiver Stations). Ses avantages sont présentés comme suit :

- ✓ La bidirectionnalité d'un unique émetteur/récepteur permet d'émettre et de recevoir des signaux simultanément dans plusieurs canaux.
- ✓ Des réelles performances en réception de données comparées aux traditionnelles technologies radio.
- ✓ La mise à jours des BTS pour supporter de nouvelles modulations en logiciel (comme par exemple : l'extension de la norme GSM à une norme avancé UMTS).

III – Radio cognitive

III – 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 en 1999 [16].

Connu comme l'inventeur et auteur le plus cité dans le domaine de la radio logicielle, 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.

III – 2 / Définition

La Radio cognitive est un moyen de communication sans fil dans lequel 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 dans les canaux inutilisés. Ceci permet d'optimiser l'utilisation des fréquences radio (RF) disponibles du spectre tout en minimisant les interférences avec d'autres utilisateurs [20].

Le terme de radio cognitive a été fréquemment utilisé pour parler d'un système capable de prendre conscience de son environnement et de tirer profit de cette information. Parfois, il est considéré de façon plus restrictive comme un système disposant d'une grande agilité en fréquence pour explorer les opportunités qui peuvent exister dans le spectre fréquentiel.

Pour ce faire, la radio cognitive doit disposer de trois principales capacités :

« Aware » : c'est la capacité à prendre conscience de son environnement. Un terminal radio cognitif associera donc environnement spatial, spectral et comportement des usagers ; pour une meilleure prise en conscience du provisionnement en ressources et un meilleur service.

« Adaptation » : c'est la capacité à s'adapter soit à l'environnement (spectral ou technologique), soit à l'utilisateur (besoins et sécurité).

- ✓ L'adaptation à l'environnement spectrale est la capacité à choisir les meilleures bandes de fréquences et ainsi optimiser l'utilisation du spectre. Cela revient à :
 - Connaître l'occupation des bandes de fréquences en temps réel.
 - Adapter les puissances émises / marges en réception / Formes d'ondes.
 - Adapter le débit en temps réel en fonction de la place disponible.
 - Prendre en compte un partage temporel.

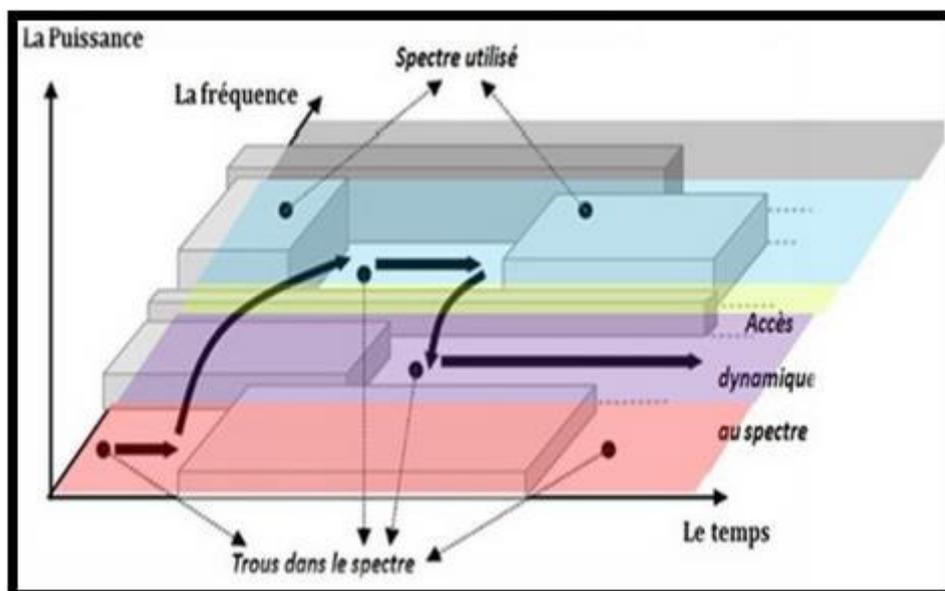


FIG 2.4 Le partage des trous du spectre [21]

Cette adaptation spectrale favorise le partage des bandes de fréquences (Notre communication n'est pas brouillée et ne brouille pas d'autres communications.), la mobilité et les compromis entre QoS (qualité de service), densité et portée. L'exploitation du spectre devra donc se faire de façon opportuniste sans gêner les autres utilisateurs et en mettant en place des techniques de gestion de priorité directement au niveau du terminal.

- ✓ L'adaptation à l'utilisateur quant à elle se définit comme la capacité à reconnaître l'utilisateur. Cela est possible grâce à des techniques telles que la reconnaissance vocale et la biométrie. En cas de perte ou de vol du terminal, les données de l'utilisateur sont donc protégées. Un terminal radio cognitif pourra aussi percevoir l'état de l'utilisateur et réagir en conséquence. Par exemple, si l'utilisateur est victime d'une crise cardiaque, son terminal peut alerter automatiquement un centre de soins. En effet il peut détecter la fréquence cardiaque de l'utilisateur grâce à un PAN (Personal Area Network) ultra-large bande. Le PAN se renseigne en premier lieu de l'imminence de l'attaque, puis alerte le centre le plus proche.

« Cognition » : 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...). Cette définition dépasse le seul cadre de la cognition humaine ou animale. La radio cognitive est donc un système qui peut percevoir son environnement, l'analyser, le mémoriser et agir en conséquence. On peut par exemple imaginer un téléphone qui puisse apprendre la localisation des fréquences radios sans être programmé. Il

pourrait créer une base de données de vecteurs de localisation (latitude, la longitude, l'heure, fréquences radios) [22].

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 [20].

On entreprend actuellement de modifier la norme IEEE 802.16 (WiMAX) par le biais de la norme IEEE 802.16h afin de prendre en charge la coexistence et la collaboration dans le même canal. La norme IEEE 802.22, qui vise la coexistence avec les microphones et les systèmes de télévision, présente des caractéristiques semblables. Les deux normes mettent en application les techniques de la radio cognitive [20].

III – 3 / Relation entre RC et SDR

La radio cognitive permet de gérer le spectre radio de façon à pouvoir simplifié aux utilisateurs l'adaptation et la compatibilité de ses paramètres (fréquence porteuse, puissance, modulation, bande passante) avec l'environnement radio. Et cela ce fait grâce à la SDR.

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.

La figure 2.5 nous permet de mieux comprendre la relation fusionnelle entre la radio cognitive et la radio logicielle restreinte.

Les éléments de la RC communiquent avec le support SDR à travers le moteur cognitif. Ce dernier représente la partie chargée de l'optimisation ou du contrôle du module SDR en se basant sur quelques paramètres d'entrée tels que les informations issues de la perception sensorielle pour le raisonnement du système ou de l'apprentissage de l'environnement radio, du contexte utilisateur, et de l'état du réseau [23].

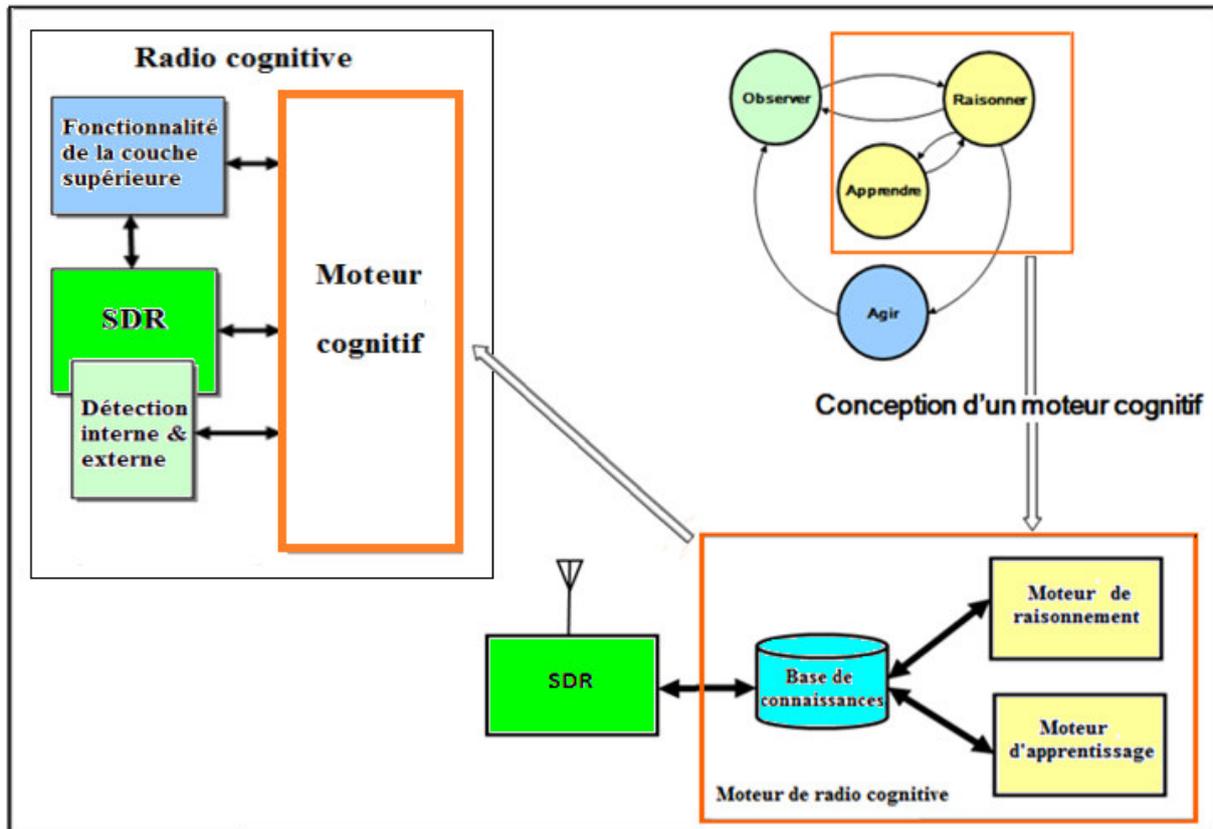


FIG 2.5 Relation entre RC et SDR [23] [24]

III – 4 / Architecture de la radio cognitive

Mitola s’est basé sur trois aspects différents : utilisateur, réseau et environnement, permettant ainsi de créer une architecture regroupent différents composants réalisant une série de fonctions de produits et de services sur des règles de conception cohérentes. La figure 2.6 nous montre les six composantes fonctionnelles de l’architecture de la radio cognitive.

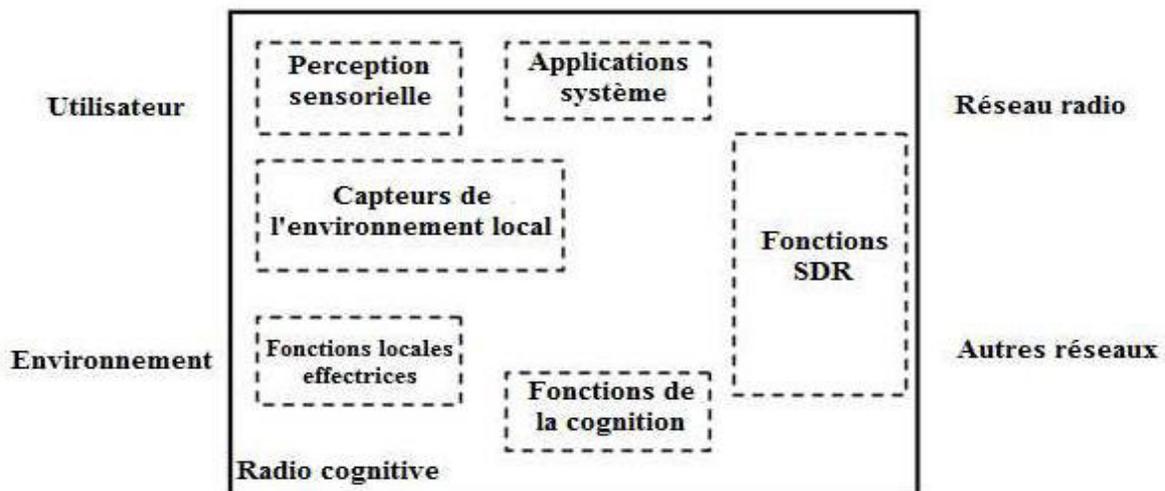


FIG 2.6 Six composantes fonctionnelles de L’architecture de la radio cognitive [17]

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

- ✓ La perception sensorielle (Sensory Perception : SP) de l'utilisateur qui inclut l'interface haptique (du toucher), l'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) [17].

Ces éléments fonctionnels sont implémentés sur une plate-forme radio cognitive ; une infrastructure matériel-logiciel supporte les six fonctions. Ces éléments vont au-delà de la SDR. Tout d'abord, la traditionnelle interface utilisateur est divisée en un grand sous-système sensoriel et un sous-ensemble distinct d'effecteurs locaux. L'interface utilisateur comprend des boutons sensoriels (l'interface haptique) et des micros (l'interface audio) pour y inclure la détection acoustique qui est directionnelle, capable de traiter simultanément de multiples intervenants et notamment avec la vidéo plein mouvement pour la perception visuelle d'une scène. De plus, le sous-système audio n'est pas simplement un encodeur audio pour la transmission, mais aussi il analyse et interprète le son provenant des haut-parleurs pour une haute performance de l'interface du langage naturel parlé. De même, le sous-système texte analyse et interprète le langage pour suivre l'état de l'information de l'utilisateur, en détectant discrètement des plans et des besoins potentiels de communication et d'information, et de façon sécurisée pour protéger les informations personnelles de l'utilisateur qui effectue des activités normales. Les effecteurs synthétisent les discours avec du texte, des graphiques et des affiches multimédias [22].

La radio cognitive utilise des protocoles du système OSI (Open Systems Interconnection) de la couche physique à la couche application, la figure 2.7 nous montre l'architecture des protocoles utilisés dans la RC. La couche physique est occupée par la radio logicielle restreinte SDR, permettant ainsi de gérer les différentes ondes radio au niveau de l'émetteur et le récepteur. Alors que dans les couches supérieures telles que la couche liaison de données (appelée aussi MAC (Media Access Control)), réseau, transport et application doivent être conscients des variations de l'environnement radio cognitive. En particulier, les protocoles d'adaptation tels que le protocole TCP (Transmission Control Protocol) et UDP (User Datagram

Protocol) dans la couche transport, le protocole IP (Internet Protocol) pour la couche réseaux le protocole MAC et les trames dans la couche liaison. Ces protocoles permettent de faire l'activité du trafic des principaux utilisateurs, les exigences de transmission d'utilisateurs secondaires et les variations de qualité du canal.

Pour relier tous les modules, un contrôle RC est utilisé pour établir des interfaces entre l'émetteur/récepteur SDR et les applications et services sans fil. Ce module radio cognitive utilise des algorithmes intelligents pour traiter le signal mesuré à partir de la couche physique, et pour recevoir des informations sur les conditions de transmission à partir des applications pour contrôler les paramètres de protocole dans les différentes couches [25].

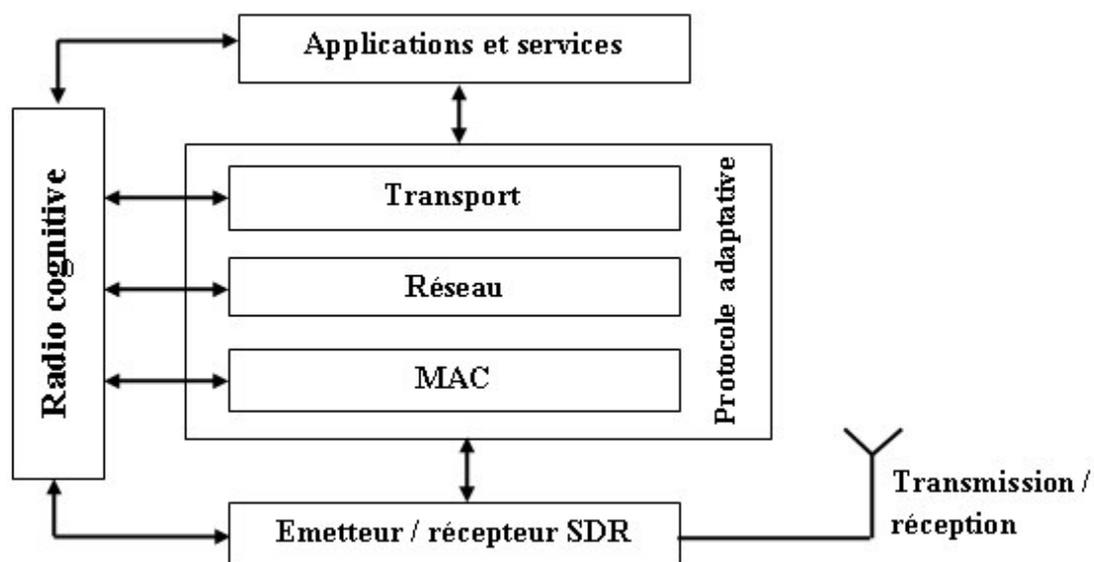


FIG 2.7 Protocoles utilisés par la radio cognitive [25]

III – 5 / Cycle de cognition

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

Le cycle de cognition mis en œuvre en Java inspiré par MITOLA est illustré dans la figure 2.8. Ce cycle synthétise la composante de cognition de la RC de manière évidente. Les stimuli entrent dans la radio cognitive comme des interruptions sensorielles envoyées sur le cycle de la cognition pour une réponse. Une telle radio cognitive observe l'environnement, s'oriente elle-même, crée des plans, décide, et puis agit [22].

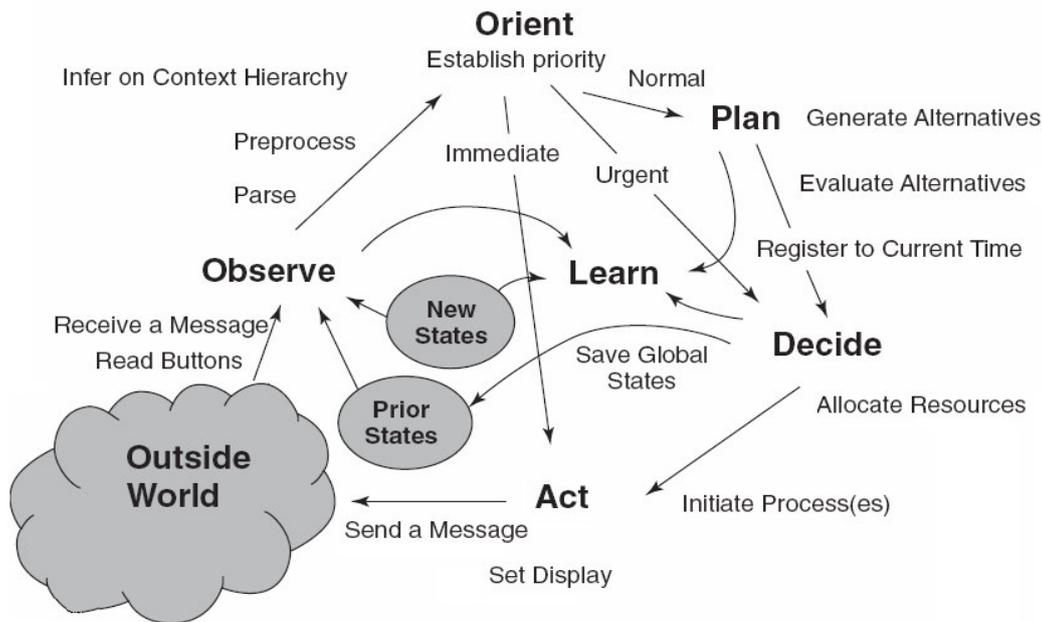


FIG 2.8 Cycle de cognition de Mitola [22]

III 5 – 1 / La phase d'observation (détecter et percevoir)

La radio cognitive observe son environnement par l'analyse du flux de stimuli entrant. Cela peut inclure la surveillance de conversion audio-texte des diffusions radios (par exemple, la chaîne météo). Dans la phase d'observation, la radio cognitive associe l'emplacement, la température, le niveau de lumière des capteurs, et ainsi de suite pour en déduire le contexte de communication. Cette phase lie ces stimuli à des expériences antérieures pour discerner les modèles au fil du temps. La radio cognitive rassemble les expériences en se souvenant de tout.

Toutes les audio, tous les e-mails, et toutes les situations radio que quelqu'un pourrait expérimenter en une année occupe quelques centaines de giga-octets d'espace, selon le détail conservé. L'architecture de calcul pour mémoriser et corrélérer rapidement les expériences actuelles avec tout ce qui est connu avant est donc une base de la capacité de la RC. La phase d'observation englobe l'utilisateur SP (Sensory Perception), l'environnement, et le traitement des capteurs radiofréquences de la SDR et de la RC.

III 5 – 2 / La phase d'orientation

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

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

Une panne d'électricité, par exemple, peut directement invoquer un acte qui sauve les données (le chemin « immédiat » de la phase Action sur la figure 2.8). 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 2.8.

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.

III 5 – 3 / La 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 comme l'OPRS (Open source planning Tools) peuvent être intégrés dans la phase de planification.

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.

III 5 – 4 / La phase de décision

La phase de décision sélectionne un plan parmi les plans candidats. La radio peut alerter l'utilisateur d'un message entrant (exemple : paging) ou reporter l'interruption à plus tard (par exemple, se comporter comme une secrétaire qui filtre les appels pendant une réunion importante) en fonction des niveaux de QoI (qualité d'information) statués dans cette phase.

III 5 – 5 / La phase d'action

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

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

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. L'acquisition de connaissances pourrait être achevée par une action qui crée les structures de données appropriées.

III 5 – 6 / La phase d'apprentissage

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

L'apprentissage peut se produire quand un nouveau modèle est créé en réponse à une action. Par exemple, les états internes antérieurs et courants peuvent être comparés avec les attentes pour en apprendre davantage sur l'efficacité d'un mode de communication [22].

III – 6 / Composantes de la radio cognitive

A partir du récepteur jusqu'à l'émetteur, la RC représente un cycle des composants liés les uns aux autres sachant que chaque un d'eux a ses propres fonctionnalités comme le montre la figure 2.9.

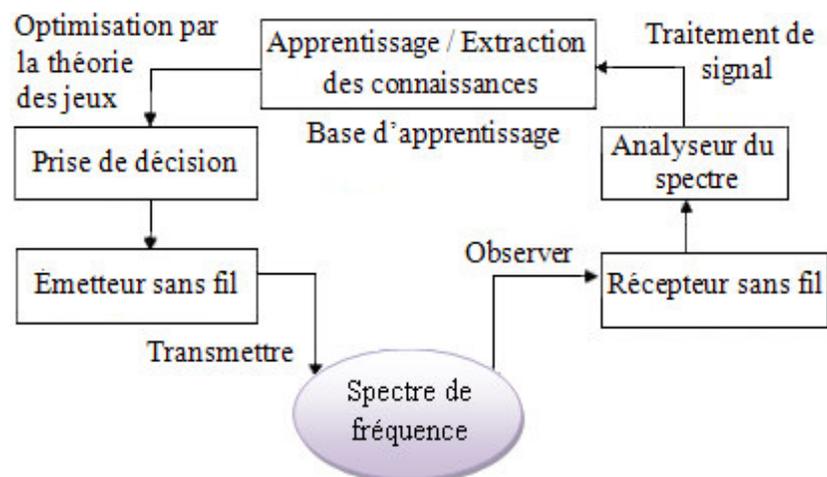


FIG 2.9 Composantes de la radio cognitive [25]

III 6 – 1 / Émetteur / Récepteur

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). Les paramètres émetteur/récepteur dans le nœud de la radio cognitive peuvent être modifiés dynamiquement comme dicté par les protocoles de couche supérieure.

III 6 – 2 / Analyseur de spectre (Spectrum analyser)

L'analyseur de spectre utilise les signaux mesurés pour analyser l'utilisation du spectre (par exemple pour détecter la signature d'un signal provenant d'un utilisateur primaire et trouver les espaces blancs du spectre pour les utilisateurs secondaires). L'analyseur de spectre 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.

III 6 – 3 / Extraction de connaissances et apprentissage (Knowledge extraction/learning)

L'apprentissage et l'extraction de connaissances 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.

III 6 – 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 [20].

III – 7 / Fonctions de la radio cognitive

Parmi ses fonctions on peut citer :

- Spectrum Sensing (La détection)
- Spectrum Decision (La prise de décision)
- Spectrum Sharing (Le partage)
- Spectrum Mobility (La mobilité)

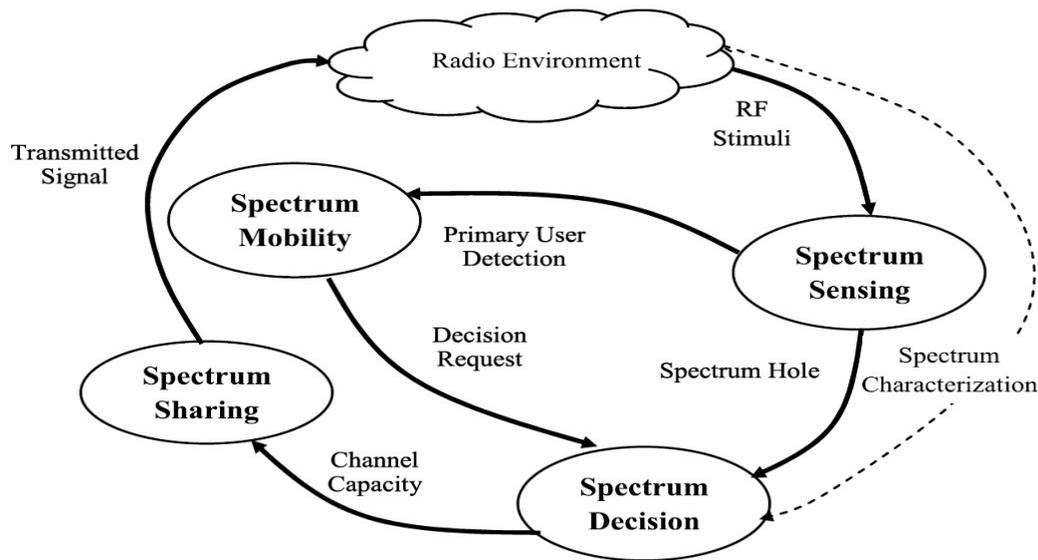


FIG 2.10 Fonction de la radio cognitive [26]

III 7 – 1 / Détection du spectre (Spectrum Sensing)

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

L'un des objectifs de la détection du spectre, en particulier pour la détection des interférences, est d'obtenir le statut du spectre (libre /occupé), de sorte que le spectre peut être consulté par un utilisateur secondaire 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 des utilisateurs secondaires [25].

Les réseaux sans fil sont attribués pour les bandes de fréquences fixes qui sont faites de manière cohérente par les organismes gouvernementaux. Une fraction de ces spectres de fréquences fixes est réparti entre les utilisateurs autorisés et d'autres services sur une base continue pour les grandes zones. Comme indiqué dans un rapport de la Commission fédérale des communications (FCC) sur l'utilisation du spectre, l'utilisation du spectre varie de 15% à 85% selon la zone géographique. Une estimation supplémentaire a été donnée par Jean Pierre Hubaux sur la concentration du spectre dans laquelle il a observé l'attribution du spectre et l'utilisation à six endroits (voir figure 2.11) (Lieux : ville de New York ; River Bend Park, Great Falls, VA ; Tyson Corner, VA ; NSF Roof, Arlington, VA ; NRAO, Greenbank, Virginie-Occidentale ; SSC Roof, Vienne, VA). Les résultats de cette étude sont montrés sur la figure 2.12. On remarque que le spectre est fortement sous-utilisé, bien que les opérateurs de réseaux aient dépensé des milliards de dollars pour acheter le spectre [27].

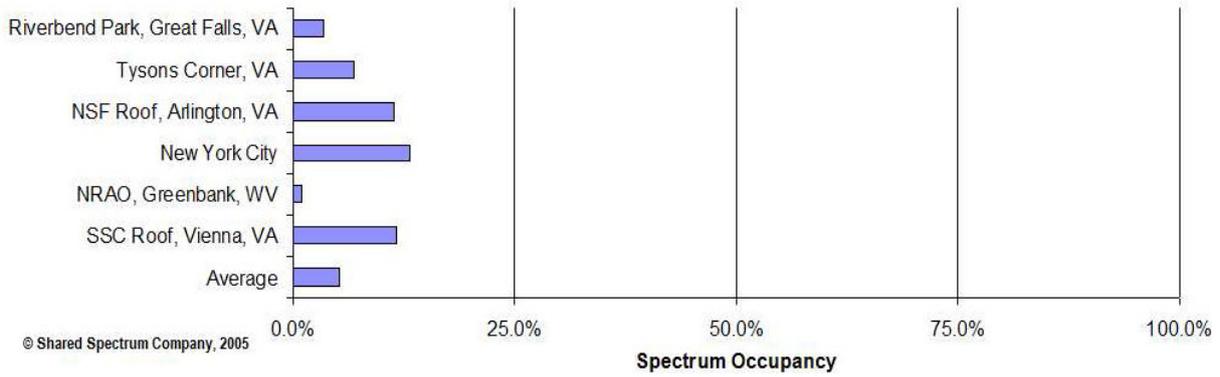


FIG 2.11 Occupation du spectre mesuré sur six emplacements [26]

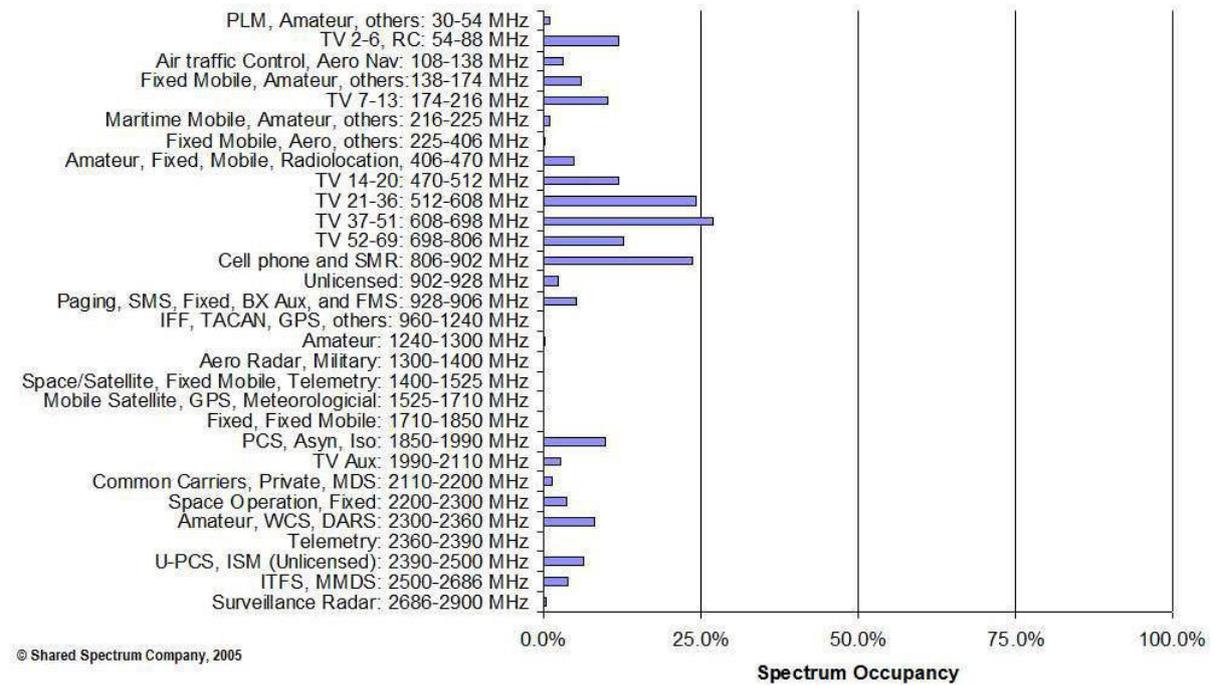


FIG 2.12 Concentration du spectre [26]

III 7 – 2 / Gestion du spectre (Spectrum management)

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

La RC devrait décider de la meilleure bande de spectre pour répondre aux exigences de QoS sur toutes les bandes de fréquences disponibles, donc les fonctions de gestion du spectre sont nécessaires pour la RC. Ces fonctions de gestion sont classées comme suit :

a. Analyse du spectre

Les résultats obtenus de la détection du spectre sont analysés pour estimer la qualité du spectre. Une des questions ici est de savoir comment mesurer la qualité du spectre qui peut être accédée par un utilisateur secondaire. Cette qualité est caractérisée par le rapport signal/bruit, la durée moyenne et la corrélation de la disponibilité des espaces blancs. Des algorithmes

d'apprentissage de l'intelligence artificielle sont des techniques qui peuvent être employées par les utilisateurs de la RC pour l'analyse du spectre.

b. Décision sur le spectre (Spectrum Decision)

✓ **Modèle de décision**

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

✓ **Compétition / Coopération dans un environnement multiutilisateur :**

Lorsque plusieurs utilisateurs (à la fois primaires et secondaires) sont dans le système, leur préférence va influencer sur l'accès au spectre. 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 (O1, O2, O3, O4 dans la figure 2.13) 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 maximiser une fonction objective commune en tenant compte des contraintes. Dans un tel scénario, un contrôleur central peut coordonner la gestion du spectre.

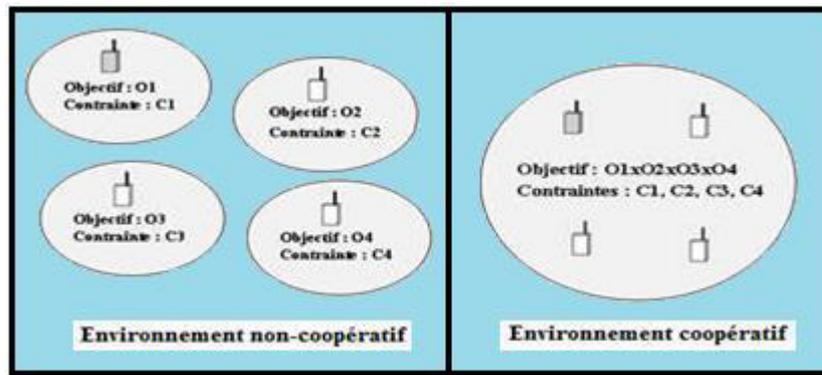


FIG 2.13 Accès au spectre coopératif et non-coopératif [28]

✓ Mise en œuvre distribuée du contrôle d'accès au spectre

Dans un environnement multiutilisateur 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.

III 7 – 3 / Partage du spectre (Spectrum Sharing)

La nature partagée des canaux sans fil exige la coordination des tentatives de transmission entre les utilisateurs secondaires. Les travaux effectués sur le partage de spectre délimitent trois principaux aspects à prendre en compte :

- L'architecture (centralisé ou distribué)
- Le comportement (coopératif ou non coopératif)
- La technologie d'accès (recouvrement vs underlay)

a) Comparaison entre l'architecture centralisé et distribué

Cette classification est basée sur l'architecture, qui peut être centralisée ou distribuée :

✓ Partage centralisé du spectre (centralized spectrum sharing)

Les procédures de l'attribution et l'accès aux fréquences sont contrôlés par une entité centrale. En outre, une procédure de sondage distribuée peut être utilisée, tels que les mesures d'allocation du spectre sont transmis à cette entité centrale, Ainsi, un schéma d'allocation des fréquences est construit.

✓ Partage distribué du spectre (distributed spectrum sharing)

L'attribution et l'accès aux fréquences sont basés sur des politiques locales effectuées par chaque nœud. Des solutions distribuées sont également utilisées entre les différents réseaux, tels qu'une station de base est en concurrence avec d'autres stations de bases selon les exigences de qualité de service de ses utilisateurs.

b) Comparaison entre le comportement coopératif et non coopératif

La seconde classification est basée sur le comportement des utilisateurs secondaire pour partager le spectre disponible, qui peut être coopératif ou non coopératif.

✓ Le partage coopératif du spectre

La coopération (ou collaboration) des solutions exploitent les mesures d'interférences de chaque nœud de telle sorte que l'effet de la communication d'un nœud sur les autres nœuds soit considéré.

✓ Le partage non-coopératif du spectre

Un seul nœud est pris en considération dans les solutions non coopérative (non collaboratif, égoïste). Parce que l'interférence n'est pas prise en considération.

c) Différence entre technique d'accès par recouvrement et par underlay

La troisième classification pour le partage du spectre dans les réseaux secondaires est basée sur la technologie d'accès :

✓ Accès par recouvrement

Les nœuds accèdent au réseau en utilisant les parties du spectre qui ne sont pas occupées par les utilisateurs ayant une licence. Cela minimise les interférences sur le réseau primaire.

✓ Accès Underlay

Les techniques d'étalement (underlay) de spectre sont exploitées de telle sorte que la transmission d'un nœud secondaire est considérée comme du bruit par les utilisateurs primaires [29].

III 7 – 4 / Mobilité du spectre (Spectrum Mobility)

C'est le processus qui permet à l'utilisateur de la RC de changer sa fréquence de fonctionnement. Les réseaux radio cognitive essaient d'utiliser le spectre de manière dynamique en permettant à des terminaux radio de fonctionner dans la meilleure bande de fréquence disponible, de maintenir les exigences de communication transparentes au cours de la transition à une meilleure fréquence.

a. Recherche des meilleures bandes de fréquence

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 fréquences.

b. Auto-coexistence et synchronisation

Quand un utilisateur secondaire effectue un transfert du spectre, deux questions doivent être prises en compte. Le canal cible ne doit pas être actuellement utilisé par un autre utilisateur secondaire et le récepteur de la liaison secondaire correspondant doit être informé de la non intervention du spectre [25].

IV - Réseaux de futures générations

L'architecture des réseaux de futures générations, dont la radio cognitive fait partie, se représente comme suit :

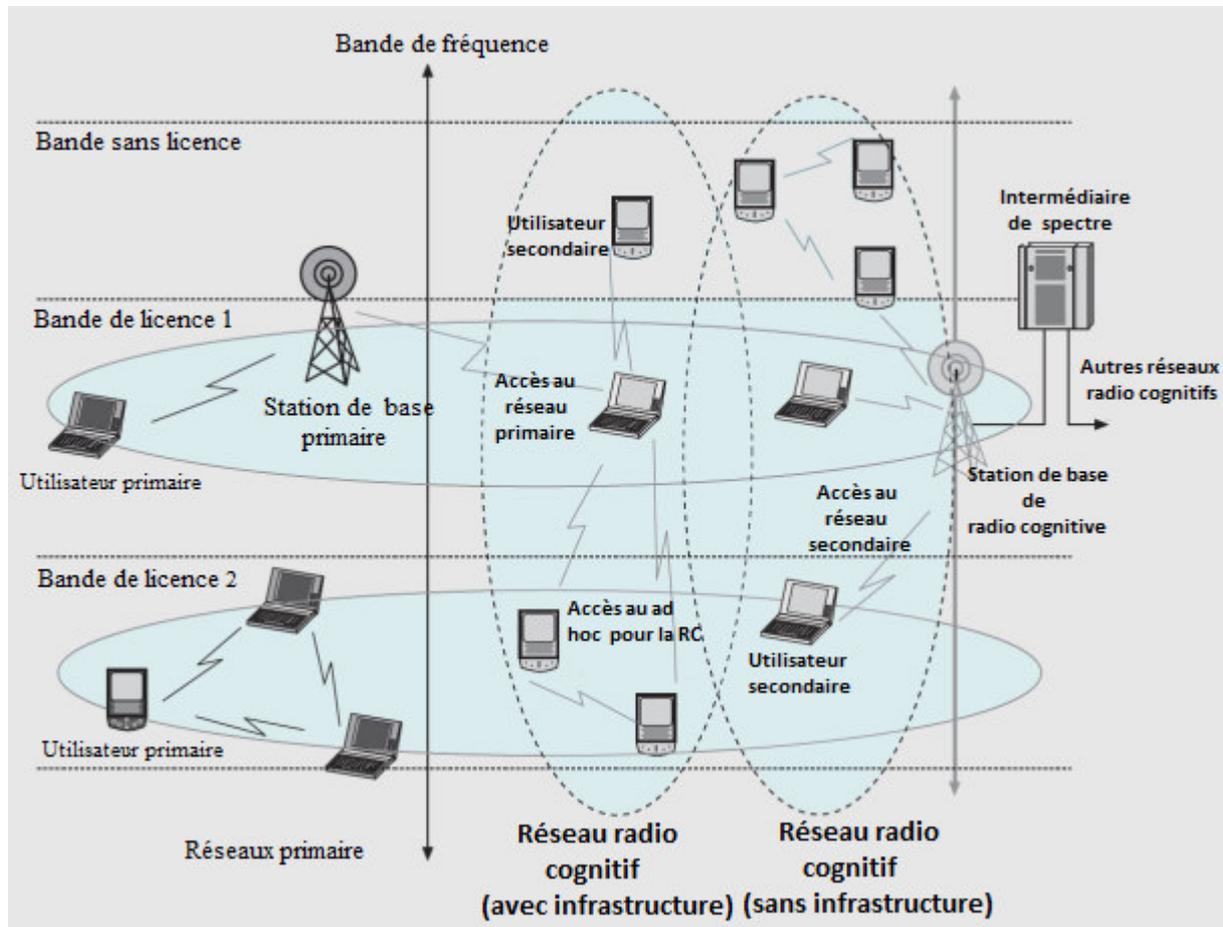


FIG 2.14 Architecture des réseaux de futures générations [30]

IV – 1 / Les composants

Les composants des réseaux de futur comme illustré dans la figure 2.14, peuvent être classés en deux groupes : réseau primaire et réseau secondaire.

IV 1 – 1 / Le réseau primaire

Le réseau primaire possède une licence pour opérer sur certaines bandes de fréquences. Les réseaux cellulaires et les réseaux de diffusion TV font un exemple de ce type de réseaux.

Un réseau primaire se compose de deux entités :

a) Utilisateur primaire

L'utilisateur primaire possède une licence qui lui permet d'opérer à tout moment sur certaines bandes de fréquences sous le contrôle des stations de base (BS). Un utilisateur primaire ne doit pas subir aucune interférence de la part des utilisateurs secondaires. En outre, Les utilisateurs

primaires ne doivent subir aucune modification pour permettre la coexistence avec les utilisateurs secondaires.

b) Station de base primaire

La station de base des utilisateurs primaires est une structure fixe du réseau primaire qui possède une licence pour opérer sur certaine bande de fréquences, comme par exemple les stations de base des systèmes cellulaires. Ces stations ne sont pas conçues pour partager le spectre avec les utilisateurs secondaire. Cependant, des stations de bases primaires, qui reconnaissent les protocoles des réseaux des radios cognitives, sont recommandées.

IV 1 – 2 / Le réseau secondaire

Le réseau secondaire (également appelé le réseau d'accès dynamique au spectre ou réseau dépourvu de licences) ne possède pas de licence pour opérer sur une bande de fréquences spécifique. Par contre, le réseau secondaire accède aux bandes des fréquences d'une manière opportuniste en profitant de l'absence de l'utilisateur primaire. Les composants des réseaux secondaires sont :

a) L'utilisateur de réseau secondaire

L'utilisateur des réseaux secondaires, appelé aussi utilisateur non-licencié ou utilisateur secondaire, n'a pas de licence pour transmettre sur une bande spécifique. Cependant, grâce aux fonctionnalités supplémentaires, dont ils disposent, il puisse détecter l'absence de l'utilisateur primaire et en profite pour transmettre.

b) La station de base de réseau secondaire

La station de base de réseau secondaire, appelée aussi station de base non licenciée ou station de base secondaire, est une infrastructure fixe avec des capacités cognitives. L'utilisateur de réseau secondaire se connecte à la station de base pour accéder à d'autre réseaux ou services.

c) Le courtier spectral

Le courtier spectral est une entité qui joue un rôle dans le partage des ressources spectrales entre différents réseaux secondaires. Le courtier est connecté à plusieurs réseaux secondaire et servi comme un gestionnaire d'information spectrale dans le but de réussir la coexistence entre ces réseaux secondaires.

IV – 2 / Hétérogénéité du spectre

Les différents standards de télécommunication actuels sont conçus pour fonctionner sur des bandes de fréquences spécifiques, par contre la radio cognitive devra permettre de couvrir toutes les bandes spectrales. Ces bandes se divisent en deux groupes : licenciée et non-licenciée. Selon la bande sur laquelle l'utilisateur secondaire opère on distingue deux types d'opération :

IV 2 – 1 / Les opérations de bandes licenciées

Les bandes avec licences sont principalement utilisées par les réseaux primaires. Ainsi, les réseaux de radios cognitifs focalisent principalement sur la détection des utilisateurs primaires. En outre, si les principaux utilisateurs apparaissent dans une bande de fréquences occupée par les utilisateurs secondaires, les utilisateurs secondaires devraient quitter cette bande de spectre et migrer immédiatement vers une autre bande disponible.

IV 2 – 2 / Les opérations de bandes non licenciées

L'accès aux bandes spectrales non-licenciées connues sous le nom de Bande industrielle, scientifique et médicale (bande ISM), est libre. Etant donné l'absence permanente d'un utilisateur primaire, les utilisateurs secondaires ont tous le même droit d'accès. D'où le besoin de développer des algorithmes sophistiqués et élaborés pour améliorer l'efficacité spectrale, garantir une meilleur Qualité de Service (QoS) aux utilisateurs secondaires et surtout garantir l'équité entre eux.

IV – 3 / Hétérogénéité du réseau

Comme le montre la figure 2.14, les utilisateurs secondaires ont la possibilité d'effectuer trois types d'accès différents :

IV 3 – 1 / Accès au réseau secondaire

Les utilisateurs secondaires peuvent accéder à leur propre station de base de réseau secondaire, successivement sur les deux bandes de fréquences licenciée ou non licenciée. Vu que toutes les interactions se produisent à l'intérieur du réseau secondaire, leur politique de partage du spectre peut être indépendante de celle du réseau primaire.

IV 3 – 2 / Accès au ad hoc

Les utilisateurs des réseaux secondaires peuvent communiquer entre eux en utilisant une connexion ad hoc sur les deux bandes de fréquences licenciées ou non-licenciées.

IV 3 – 3 / Accès au réseau primaire

Les utilisateurs secondaires peuvent également accéder à la station de base primaire à travers les bandes avec licences [29].

V - Applications de la radio cognitive

Les applications sont souvent incluses dans la définition de la radio cognitive en raison du caractère impérieux et des applications uniques offertes par la radio cognitive. En outre, il existe de nombreuses techniques de radio logicielle que la radio cognitive est censé améliorer.

Les éléments suivants sont souvent utilisés pour les applications de la radio cognitive :

- Amélioration de l'efficacité du spectre ;

- Améliorer la fiabilité de la liaison radio ;
- Créer une topologie avancée du réseau ;
- Déterminer des techniques de collaboration ;
- Automatiser dynamiquement la gestion des ressources radio.

V – 1 / Amélioration de l'efficacité spectrale

Pour améliorer l'efficacité spectrale, l'utilisation opportuniste du spectre a été proposée pour permettre aux dispositifs d'occuper le spectre qui a été laissé vacant.

L'utilisation opportuniste du spectre présente des défis importants à la réglementation technique. Les dispositifs plus autonome doivent être en mesure de régler certains problèmes, l'accès opportuniste du spectre lorsqu'elle fonctionne bien devrait être en mesure d'éviter toute interférence avec d'autres signaux. Dans une certaine mesure, les systèmes devront être capables de fonctionner sur de multiples échelles de temps, ce qui impliquerait un contrôle des processus cognitifs.

V – 2 / Amélioration de la fiabilité du lien radio

Après l'amélioration du spectre, le second aspect le plus souvent abordé dans les discussions applicatives de la radio cognitive est d'améliorer la fiabilité de lien. De nombreuses radios adaptatives actuels permettent d'améliorer la fiabilité de lien par l'adaptation des niveaux de puissance de transmission, par la modulation ou par la correction d'erreurs.

Toutefois, une radio cognitive qui est capable de se souvenir et d'apprendre à partir de ses expériences précédentes peut aller au-delà de ces simples adaptations.

V – 3 / Topologie avancée du réseau

Les points d'accès ou les stations de base d'un réseau n'ont pas à maintenir des liaisons directes à des zones plus éloignées des cellules. En effet, chaque station de base ne doit être en mesure de parvenir à des abonnés les plus proches alors que les équipements plus loin de la station de base ont un accès en communiquant par le biais d'une séquence de dispositifs intermédiaires pour atteindre la station.

V – 4 / Techniques de collaboration

La collaboration dans les réseaux radio, est une collaboration qui tire profits des services d'autres radios pour faire avancer ses objectifs ou les objectifs des réseaux. La radio de collaboration peut être considérée comme une application de la radio cognitive. Cette dernière peut être considérée comme un facteur de développement de la radio de collaboration en simplifiant les processus cognitifs à l'identification des partenaires potentiels et l'observation des processus intelligents, facilite l'insertion de capteurs distribués.

V – 5 / Automatisation de la gestion des ressources radio

Avec le nombre croissant de réseaux sans fil et le mouvement de centralisation des fournisseurs de services, la nécessité d'optimiser les réseaux sans fil devienne de plus en plus importante, mais il sera impossible à accomplir dans les maisons ou dans les réseaux déployés rapidement.

En raison de sa capacité à observer et à apprendre comment améliorer leurs performances, la radio cognitive pourrait prendre en charge la tâche de réglage post-déploiement et d'actualiser automatiquement les paramètres radio, afin de mieux répondre aux besoins de la mission. Une telle demande aurait une incidence importante sur les réseaux déployés rapidement, dans les réseaux locaux sans fil à domicile (WLAN) et fixerait les infrastructures commerciales, où la radio cognitive devrait être en mesure de réduire la demande d'ingénierie post-déploiement [22].

VI - Langages de la radio cognitive

Deux problèmes surgissent :

- ✓ D'abord, le réseau n'a aucun langage standard avec lequel il peut poser ses questions.
- ✓ En second lieu, la destination possède la réponse, mais elle ne peut pas accéder à cette information.

Elle n'a aucune description de sa propre structure.

- RKRL (Radio Knowledge Representation Language), fournit un langage standard dans lequel de tels échanges de données peuvent être définis dynamiquement. Il est conçu pour être employé par des agents logiciels ayant un haut niveau de compétence conduite en partie par un grand stock de connaissances a priori.

En plus de la langue naturelle, plusieurs langages sont utilisés pour la radio. Le tableau 2.1, nous montre les langages les plus utilisés par la RC.

Langage	Points forts	Points faibles
SDL	État des machines, diagramme de séquence, base d'utilisateur très large, connaissances bien codées	Plan de représentation, incertitude
UML	Ontologies générales, structure, relations	Matériel, propagation RF
IDL	Interfaces, encapsulation des objets	Informatique générale
KQML	Primitives (ask/tell), sémantique	Informatique générale
KIF	Traitement axiomatique des ensembles, relations, frames, ontologies	Informatique générale, matériel, propagation RF

Tableau 2.1 : Langages de la radio cognitive [31]

- L'Union Internationale des Télécommunications (ITU) a adopté les spécifications et le langage de description (SDL) dans ses recommandations. SDL exprime aisément l'état des machines radio, les diagrammes d'ordre de message, et les dictionnaires des données relatifs. L'Institut européen des normes de télécommunications a récemment adopté SDL en tant que l'expression normative des protocoles radio, ainsi on s'attend à ce que la modélisation SDL de la radio continue à avancer. Cependant, SDL manque de primitives pour la connaissance générale des ontologies.
- Le langage de modélisation unifiée (UML) exprime aisément un logiciel objet, y compris des procédures, des cas d'utilisation, etc. En pratique, il a une présence forte dans la conception et le développement des logiciels, mais il est faible dans la modélisation des dispositifs câblés. En outre, bien qu'UML puisse fournir un cadre de conception pour la propagation radioélectrique, les langages cibles sont susceptibles d'être en C ou en Fortran pour l'efficacité en traçant des dizaines de milliers de rayons d'ondes Radio
- Le Common Object Request Broker Architecture (CORBA) définit un langage de définition d'interface (IDL) comme une syntaxe d'exécution indépendante pour décrire des encapsulations d'objets. Ce langage est spécifiquement conçu pour déclarer les encapsulations, il manque de la puissance des langages comme le C ou Java.
- Le Knowledge Query and Manipulation Language (KQML), d'autre part, était explicitement conçu pour faciliter l'échange d'une telle connaissance. Basé sur des performatives comme « tell » et « ask » [31].

VII - Domaines d'application de la radio cognitive

Divers domaines d'applications font recours à la radio cognitive, nous allons citer les domaines les plus intéressants pour la RC en termes de nécessité.

VII – 1 / Service santé (eHealth services)

Différents types de technologies sans fil sont adoptés dans les services de santé pour améliorer l'efficacité de la prise en charge des patients et la gestion des soins de santé [31].

L'indépendance des patients grâce aux réseaux mobiles comme le WBAN devient une réalité mais la nécessité des personnes à risque d'être connecté à tout moment pour être diagnostiqué, peut poser problème. La RC permet dans ce cas de régler ce problème en choisissant le meilleur spectre compatible aux exigences demandées.

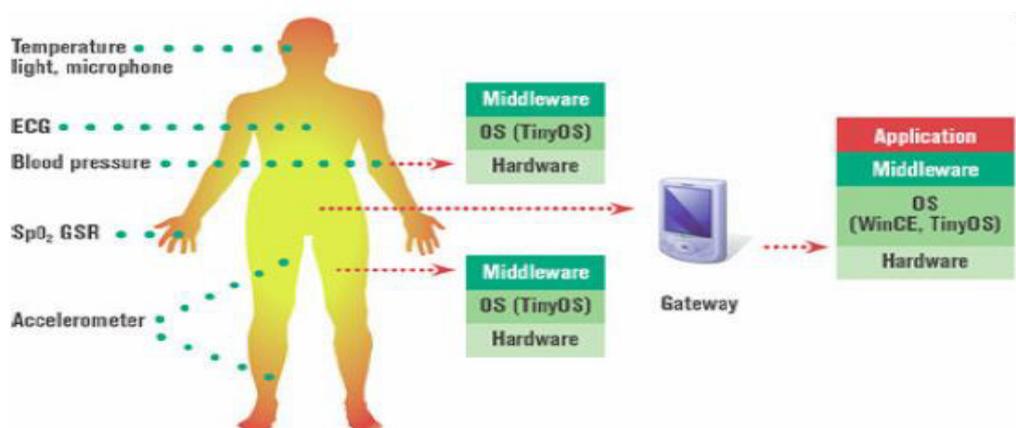


FIG 2.15 RC, WBAN et Capteur [31]

VII– 2 / Coexistence de différentes technologies sans fil

La radio cognitive est une solution qui fournit la coexistence de ces différentes technologies et services sans fil. Par exemple, IEEE 802.22, basée sur les utilisateurs WRAN peut utiliser efficacement la bande TV quand il n'y a pas d'utilisation du téléviseur à proximité ou quand une station de télévision ne diffuse pas [31].

VII– 3 / Réseaux militaires

Dans le domaine militaire, la radio cognitive peut jouer un rôle très important dans le déplacement et les missions secrètes des soldats, permettent à ces derniers de communiquer sur n'importe quelle bande de fréquence sans être repérés.

VII – 4 / Réseaux d'urgences

Dans un scénario où il y a une catastrophe, l'infrastructure de communication standard peut ne pas être disponible, et par conséquent, un système de communication sans fil adaptatif (soit un réseau d'urgence) peut être nécessaire d'être créé pour soutenir la reprise après sinistre.

Ce genre de réseau peut utiliser le concept de la radio cognitive pour permettre la transmission sans fil et la réception sur une large gamme du spectre radio [31].

VII – 5 / Réseaux mobiles

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. La plupart des travaux de recherche sur la radio cognitive se sont habituellement réalisés sur la base d'un état spatio-temporel fixe sans tenir compte de l'effet de la mobilité de l'utilisateur [32].

L'utilisation de la RC n'est pas que dans le changement du spectre mais aussi dans le changement de cellules, est c'est la raison pour laquelle la radio cognitive mobile et à l'aide du handover peuvent élargir le concept de la cognition et améliorer ses services.

VIII – Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé la radio cognitive et ses différents composants en passant par la radio logicielle restreinte qui est l'élément essentiel pour la gestion du spectre RF, ensuite nous avons définis son architecteur, les différentes étapes de cognition et ses domaines d'applications.

La possibilité de réagir aux besoins et aux exigences des utilisateurs RF (comme le WIFI, WIMAX, GSM, UMTS, LTE...etc.) ont permis d'élaborer le concept de la radio cognitive afin d'exploiter le maximum du spectre radio et de tirer profit du débit.

CHAPITRE III

Présentation des réseaux autonomes

Sommaire

I – Introduction.....	61
II – Système nerveux humain	61
III – Informatique autonome	63
III – 1 / Définition	63
III – 2 / le besoin d'autonomie	63
III – 3 / Principales huit caractéristiques de recherches en informatique autonome	64
IV – Hiérarchie de l'informatique Autonome	66
V – Quatre éléments de base d'autonomie.....	67
V – 1 / L'auto-configuration	67
V – 2 / L'auto-guérison.....	68
V – 3 / L'auto-optimisation.....	69
V – 4 / L'auto -protection.....	70
V – 5 / L'informatique autonome Vs l'informatique actuelle	71
VI - Architecture des réseaux autonomes	72
VII - Impacte d'autonomie dans la Radio cognitive	74
VII – 1 /Algorithme d'auto-configuration de la couche 2.....	74
VII – 2 / Auto-conscience dans le cycle de cognition.....	75
VIII - Systèmes autonomes d'aujourd'hui.....	76
VIII – 1 / Initiatives de l'informatique autonome	76
VIII – 2 / Avantages des systèmes autonomes.....	77
VIII – 3 / Applications de l'informatique autonome.....	78
IX – Projet de recherche lié aux réseaux autonomes	79
IX – 1 / Le projet : ANA	79
IX – 2 / Le projet : CASCADAS	79
IX – 3 / Le projet : BIONETS	80
IX – 4 / Le projet : CPN.....	80
X - Les différents défis des systèmes autonomes	81
X – 1 / Défis conceptuels	81
X – 2 / Défis architecturaux.....	81
X – 3 / Défis Middleware.....	82
X – 4 / Défis d'application.....	82
XI - Avenir des systèmes informatiques	82
XI – 1 / Sans la présence des systèmes autonomes	82
XI – 2 / Avec la présence des systèmes autonomes.....	83
XII – Conclusion.....	85

I – Introduction

Les réseaux autonomes sont inspirés par le système nerveux autonome de l'être humain qui a mis au point des stratégies et des algorithmes pour gérer la complexité et les incertitudes, et vise à réaliser des systèmes et des applications informatiques capables de s'autogérer avec un minimum d'intervention humaine.

Dans ce chapitre nous allons voir les différents aspects de l'informatique autonome en terme de définition et les réseaux autonomes coté réseaux, nous allons aussi voir les caractéristiques et les architectures des réseaux autonomes ainsi que des travaux et projets relatifs de futures générations, tout en se référant à l'incroyable autonomie que possède l'être humain.

II – Système nerveux humain

Dans le système nerveux de l'homme et en grande cohésion avec le système nerveux central (SNC), on trouve le système nerveux périphérique (SNP). Ce système périphérique est vaste et complexe, il est divisé en plusieurs sous catégories dont le système nerveux somatique et le système nerveux autonome.

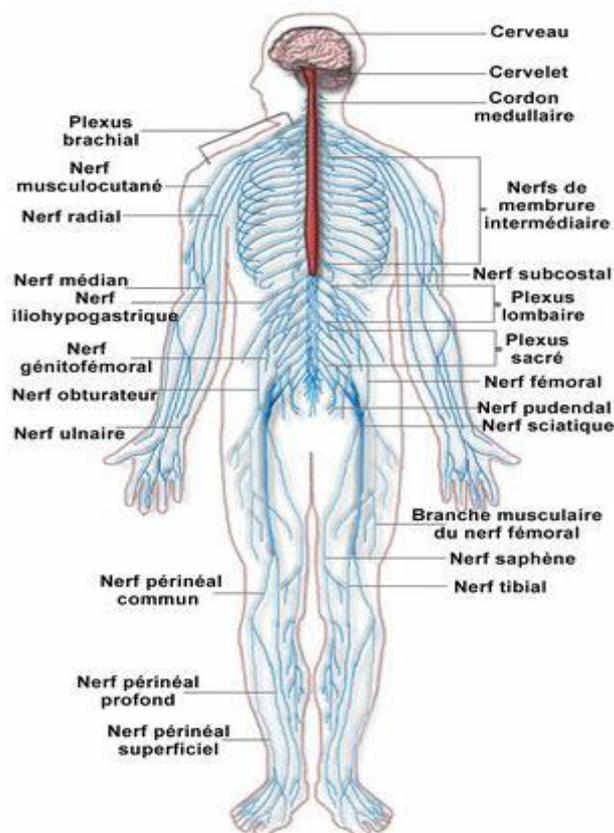


FIG 3.1 Système nerveux autonome de l'être humain [33]

Le système nerveux périphérique est décrit comme un immense réseau de nerf, permettent de faire le lien du système nerveux central au reste du corps. 43 paires de nerfs sont divisés en

deux catégories, Les nerfs crâniens au nombre de 12, qui prennent naissance dans le tronc cérébral et les nerfs rachidiens ou spinaux au nombre de 31, qui émergent de la moelle épinière. L'ensemble constitue un vaste réseau de communication.

Le SNP est divisé en deux grandes catégories, complémentaires entres eux. Il s'agit du système nerveux somatique, qui est relié à notre environnement et le système nerveux autonome, qui permet une cohésion interne dans le fonctionnement du corps humain.

- Le *système nerveux somatique* : est une adaptation à notre environnement tout au long de notre vie. Il est composé de plusieurs neurones sensitifs reliant les récepteurs des différents sens généraux (comme le toucher, la température, les douleurs et la proprioception) et des sens spéciaux (comme la vue, le goût, l'audition, l'équilibration et l'odorat) au système nerveux central. Ce système contient aussi des neurones moteurs reliant le système nerveux central aux muscles squelettiques dont nous nous servons pour bouger, parler...etc. Cette partie du SNP est responsable de nos réflexions volontaires et involontaire de mouvements ainsi de notre perception consciente.
- Le *système nerveux autonome* : permet d'avoir en permanence la connaissance des informations du milieu intérieur. Il comprend aussi des neurones sensitifs qui sont eux reliés à des récepteurs des organes profonds et des neurones moteurs qui véhiculent l'information du SNC aux muscles lisses. Dans ces muscles on trouve les muscles du cœur, la paroi des viscères, les vaisseaux sanguins, les glandes. Cette entité du système nerveux périphérique permet de réguler l'ensemble des fonctions primaires à notre survie comme la respiration, la digestion, les fonctions hormonales et cardiovasculaire [33].

Nous le remarquons à peine mais le système nerveux autonome travaille dans notre corps en une parfaite intégration. Il indique à notre cœur le rythme de battement, vérifie le taux de sucre dans notre sang, vérifie le niveau d'oxygène et contrôle nos pupilles afin que la bonne quantité de lumière atteigne nos yeux pendant que nous lisons un livre. Il permet de surveiller notre température, ajuste le débit sanguin et contrôle les fonctions de la peau pour la maintenir à 98,6 °F. Il contrôle la digestion de notre nourriture et de notre réaction au stress, il dresse même nos cheveux si nous sommes suffisamment effrayés. Mais surtout, il fait tout cela sans aucune reconnaissance consciente ou effort de notre part.

Pour cela les organisations informatiques se sont inspirées de ce système nerveux autonome à fin de résoudre les problèmes rencontrés quotidiennement, à gérer les systèmes informatiques et la difficulté de répondre aux besoins des entreprises. Pour de nombreuses

entreprises, le défi est aggravé par la complexité des architectures et des infrastructures informatiques distribuées qui ont été développés au cours des 20 dernières années. Cette situation a causé les frais de gestion du système à grimper tandis que les budgets et les dépenses de l'entreprise sont en diminution.

La solution à ce problème requiert un nouveau modèle informatique, qui permet de réaliser des économies dans l'infrastructure informatique et ses ressources. IBM (International Business Machines) a fait appel à l'informatique autonome, Il s'agit d'une nouvelle méthode de gestion des environnements informatiques d'entreprise. Appelé en anglais « Autonomic computing », l'informatique autonome est une nouvelle approche qui permet aux logiciels de fonctionner intelligemment et de façon dynamique, fondé sur de décisions et des stratégies informatiques à fin d'assurer les exigences du service.

Dans ce chapitre nous allons voir les différents aspects de l'informatique autonome en terme de définition et les réseaux autonomes coté réseaux, nous allons aussi voir les caractéristiques et les architectures des réseaux autonomes ainsi que des travaux et projets relatifs de futures générations, tout en se référant à l'incroyable autonomie que possède l'être humain.

III – Informatique autonome

III – 1 / Définition

L'informatique autonome, n'est pas considérée comme une nouvelle technologie, mais plutôt comme une nouvelle approche holistique, axée sur les buts de la conception des systèmes informatiques et prometteuse pour le développement des systèmes distribués à grande échelle [35]. L'informatique autonome est comme son nom l'indique permet de concevoir des mécanismes consistant à munir les logiciels et les matériels de garde-fous internes ou externes leur permettant de prédire des menaces ou de restaurer automatiquement leur fonction en cas d'altération non planifiée. Elle a été introduite par IBM et s'inspire fortement des recherches en agents autonomes et systèmes multi-agents.

Remarque :

On parle des réseaux autonomes (Autonomic Networking) au lieu d'informatique autonome (Autonomic Computing) lorsque le système appartient à un réseau mais c'est le même principe et les mêmes objectifs.

III– 2 / Le besoin d'autonomie

Dans l'évolution de l'homme et de la société humaine l'automatisation a toujours été la fondation pour le progrès. Si l'homme peut traiter un de ses besoins automatiquement,

puisque'il a l'esprit libre et des ressources pour se concentrer sur d'autres tâches, il peut donc se permettre de se concentrer étape par étape sur beaucoup de problèmes complexes.

Comme chacun peut le constater, les ordinateurs avec un système d'exploitation de Microsoft Windows ou GNU/Linux font intervenir des mécanismes d'une grande fragilité, les différents composants logiciels ou matériels dépendent les uns aux autres comme un château de cartes : que l'un des composants (à la suite d'un incident, d'une erreur humaine ou d'une malveillance, etc.) soit altéré, et c'est l'ensemble qui ne fonctionne plus correctement.

Mais les systèmes informatiques ont révélés que cette évolution via l'automatisation et la complexité des produits va mener vers un sous-produit inévitable. Comparer avec les précédentes machines, des incroyables progrès dans presque tous les aspects de l'informatique sont réalisés, par exemple l'alimentation du microprocesseur est multiplié par un facteur de 10 000, la capacité de stockage par un facteur de 45 000 et les vitesses de communications par un facteur de 1 000 000. Avec cette croissance, l'architecture est devenue de plus en plus sophistiquée, régie par un logiciel dont la complexité exige aujourd'hui des dizaines de millions de lignes de code. Certains environnements d'exploitation pèsent à plus de 30 millions de lignes de code créé par plus de 4 000 programmeurs.

Jusqu'à maintenant, les systèmes informatiques sont appuyés principalement sur l'intervention humaine et à l'administration pour gérer cette complexité. Lors de l'examen sur les taux actuels d'expansion, il n'y aura pas assez de qualifié pour maintenir les systèmes informatiques de la planète en cours d'exécution. Même en période de conjoncture économique incertaine, néanmoins nous avons encore une forte demande de travailleurs qualifiés à l'IT (Information Technology).

Au fur et à mesure que l'informatique évolue, le chevauchement des connexions, les dépendances, et l'interaction avec les applications appellent à la prise de décisions administratives et des réponses plus vite que n'importe quel homme peut offrir. Identifier les causes profondes des échecs devient de plus en plus difficiles et sans nouvelles approches, les choses ne feront que s'aggraver. Pour résoudre ses problèmes il faut avoir des systèmes informatiques avec un comportement autonome [34].

III – 3 / Les principales caractéristiques de recherches en informatique autonome

IBM estime que nous sommes en ce moment à un seuil très élevé et complexe des problèmes de gestion des systèmes informatiques. Des millions d'entreprises, des milliards d'êtres humains qui les composent, et des billions de périphériques qui dépendent tous des besoins des services IT de l'industrie pour les maintenir en exécution.

Il s'agit là d'un problème qui ne disparaîtra pas facilement, mais qui va accroître de manière exponentielle, tout comme notre dépendance vis-à-vis de la technologie. En bref, nous ne pouvons pas garder l'informatique comme nous l'avons depuis des années.

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

a. Pour être autonome, un système informatique a besoin de connaître son propre système : Un système autonome, a besoin de données détaillées concernant ses composants, son état actuel, sa capacité et son auto-gouvernance de toutes les connexions avec d'autres systèmes. Il est nécessaire de connaître le degré de sa "propriété" des ressources, puisque ces derniers peuvent être empruntés, prêtés, partagés ou isolés.

b. Le système informatique autonome doit être configuré et reconfiguré dans des conditions différentes et imprévisibles : La configuration du système ou "setup" doit se produire automatiquement, cela doit avoir des ajustements dynamiques de cette configuration pour mieux gérer les évolutions des environnements.

c. Le système informatique autonome cherche toujours des moyens d'optimiser son fonctionnement : 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. Le système nerveux autonome doit avoir la capacité de gérer ses ressources. En d'autres termes, obtenir de plus amples produits en utilisant moins de ressources.

d. Le système informatique autonome doit être en mesure de récupérer des événements extraordinaires, il pourrait causer un dysfonctionnement à certaines de ses pièces : 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 de 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 commencent 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. Le système informatique autonome doit être un expert en Auto-protection : Il doit détecter, identifier et se protéger contre les différents types d'attaques et de maintenir globalement la sécurité et l'intégrité d'un système. Avant l'arrivée d'internet, les ordinateurs

été exploités comme des appareils autonomes, il était donc assez facile de protéger les systèmes informatiques contre les attaques telles que "les virus".

En imitant le système immunitaire humain, le système nerveux autonome doit avoir un "System digital immunisé" qui permet de détecter le code suspect, l'envoyer automatiquement à un laboratoire central d'analyse, et distribuer un remède pour le système de l'ordinateur. L'ensemble du processus se déroule sans que l'utilisateur soit conscient que cette protection est en cours. Pour faire face à des attaques malveillantes par des pirates, le système d'intrusion doit automatiquement détecter et alerter les administrateurs du système pour les attaques.

f. Le système informatique autonome doit connaître son environnement et le contexte en entourant son activité, et en agissant 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'il est indépendant à gérer sa capacité, le système informatique autonome doit fonctionner dans un monde hétérogène et de mettre en œuvre des standards ouverts.

h. Le système informatique autonome anticipera l'optimisation des ressources nécessaires tout en gardant sa complexité masquée : 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 ses objectifs, sans impliquer l'utilisateur dans cette mise en œuvre [35].

IV – Hiérarchie de l'informatique Autonome

Comme le montre la figure 3.2, le cadre des mesures de la qualité de métrique pour l'informatique autonome contient trois couches bien distinctes. Puisque les facteurs de qualité de l'auto-configuration, l'auto-optimisation, l'auto-guérison et l'auto-protection, ont été identifiés comme un sous-ensemble fonctionnel de l'auto-gestion, ce qu'ils leurs permet de ce regroupés sous le facteur de qualité d'auto-gestion. L'auto-gestion, à son tour été identifiée comme une partie du facteur de qualité de l'anticipation, qui comprenait également les facteurs de qualité de l'auto-conscience et le contexte-conscience. Les facteurs de qualité ne restants avec aucune relation significative d'enfant à parent, à savoir la franchise et l'anticipation, qui ont été fixés directement sur le concept global de l'informatique autonome.

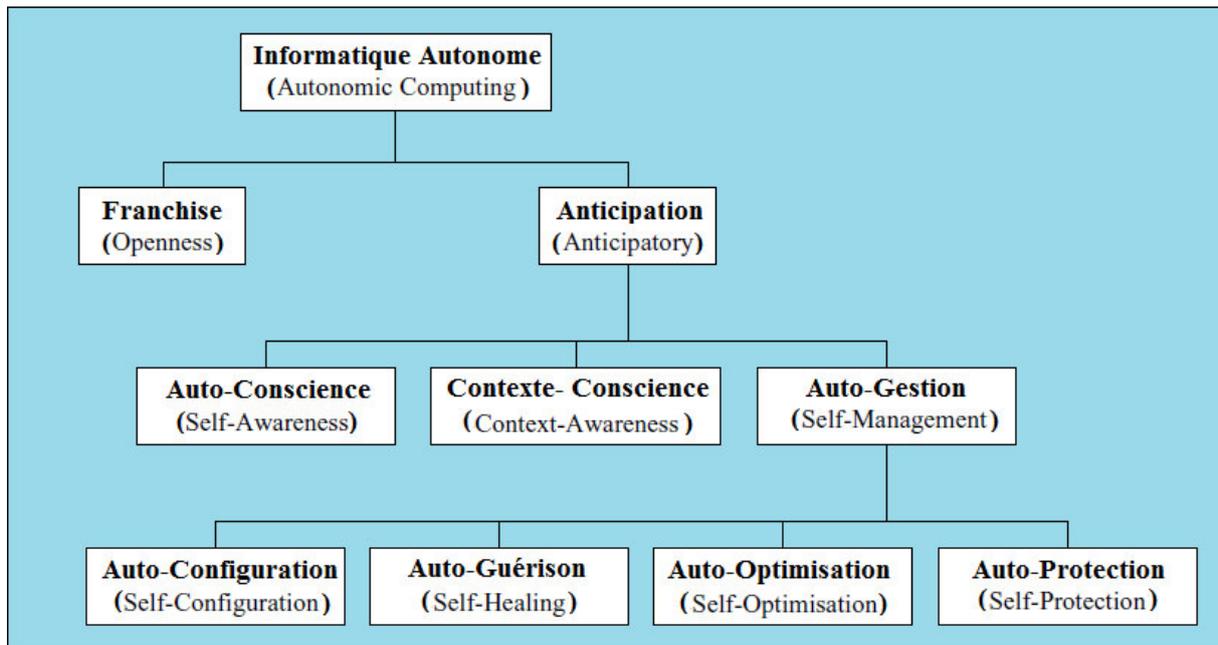


FIG 3.2 Diagramme de qualité de métrique de l'informatique autonome [35]

V – Quatre éléments de base d'autonomie

Les huit caractéristiques de recherches citées avant, et le diagramme de qualité de métrique permettent de constater que l'informatique autonome dispose de quatre éléments de base : l'Auto-Configuration, l'Auto Optimisation, l'Auto-Protection et l'Auto-Guérison. Les réseaux autonomes sont principalement représentés par l'Auto-Gestion qui vise à rendre les systèmes informatiques moins dépendants des utilisateurs. Cette dernière est caractérisée par les Self CHOP (Self Configuration, Healing, Optimization and Protection), comme indiqué dans la figure 3.3.

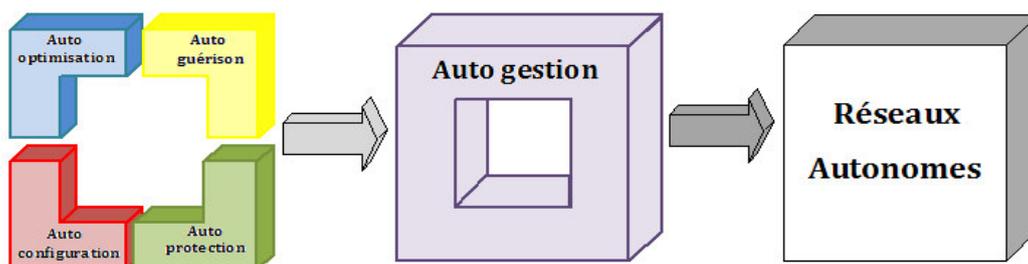


FIG 3.3 Les quatre éléments de base [23]

V – 1 / L'auto-configuration

Un système informatique autonome doit être en mesure d'installer et de configurer les logiciels automatiquement, en utilisant des techniques dynamiques de configuration de logiciel. Ce qui signifie que l'application technique, la direction administrative et la surveillance sont faites pour identifier et de documenter les techniques et les caractéristiques

physiques d'un élément configurable. Aussi, pour contrôler les changements de ces caractéristiques, ainsi d'enregistrer et de déclarer le traitement des modifications et le statut de mise en œuvre, et de vérifier la conformité avec les niveaux de service spécifié. En outre, le téléchargement de nouvelles versions de logiciel et l'installation des services packs réguliers sont nécessaires.

Lorsque vous travaillez avec d'autres composants autonomes, l'auto-configuration impliquera l'incorporation automatique de nouveaux composants et de l'ajustement des composants automatique à de nouvelles conditions [36], un tel système autonome va mettre à jour les nouvelles signatures pour la protection contre les virus et les niveaux de sécurité. L'auto-configuration utilisera des algorithmes adaptatives pour déterminer les configurations optimales.

Exemples

1. La mise à jour des pages Web, est faite de manière dynamique avec les modifications logicielles, la phase de test de ces changements, l'analyse des résultats, la libération du système en production, et la préparation d'un rapport à l'auto-gestion si la procédure a réussi.
2. L'installation, la mise à l'essai et la libération régulière du service packs des fournisseurs.
3. Les installations, les corrections et les modifications des patches du fournisseur sont assemblés avec la libération et les tests nécessaires.
4. L'installation de nouvelles versions du logiciel, automatique et de manière transparente.

V – 2 / L'auto-optimisation

Un système autonome ne sera jamais réglé que pour la situation présente. Il sera constamment suivi des objectifs du système prédéfinis ou des niveaux de performances pour s'assurer que tous les systèmes sont en cours d'exécution à un niveau optimal. Avec l'évolution constante de l'entreprise et les exigences des clients et des fournisseurs qui changent aussi rapidement, les exigences de l'auto-adaptation seront nécessaires.

L'auto-optimisation au niveau des systèmes est sur le réglage des paramètres automatique est basée sur les services [36], qui peuvent aider à déterminer à quel moment une augmentation de cycles de traitement est nécessaire, le nombre de paramètres en besoin, où les interventions sont nécessaires, et pour combien de temps. Pour être efficace, l'auto-optimisation a besoin de données de pointe et de la rétroaction. Beaucoup de nouvelles techniques et novatrices sont nécessaires pour que l'optimisation soit réussie. Par exemple, la théorie du contrôle est nécessaire dans de nouvelles infrastructures autonomes. Des algorithmes nouveaux seront nécessaires pour traiter des décisions de contrôle.

Exemples

1. Travailler avec des logiciels de fournisseur extérieur.
2. Interfaçage avec d'autres modules autonomes pour l'échange de données et de fichiers.
3. Temps de réponse optimum inférieurs à la seconde pour tous les types de dispositifs d'accès, tels que les ordinateurs personnels, les appareils mobiles et les téléphones multimédias.

V – 3 / L'auto- guérison

Les systèmes informatiques actuels sont très fragiles. Ils échouent à la plus petite quantité de problème. Si une période, une virgule ou un support n'est pas bon, le logiciel va échouer. Nous avons encore beaucoup à faire en matière de conception de systèmes tolérants aux pannes. Les systèmes informatiques autonomes auront la possibilité de découvrir et de réparer les éventuels problèmes afin de s'assurer que les systèmes fonctionnent correctement.

L'auto-guérison des bogues et des échecs peut être accompli en utilisant des composants pour la détection, le diagnostic et la réparation. Dans le modèle OSI, La couche transport est responsable de la récupération de bout en bout des erreurs et du contrôle de flux. Avec un mécanisme d'auto-guérison adaptative, la couche transport est plus fiable dans la fourniture de transfert transparent de données, et le trafic vocal entre deux utilisateurs mobiles individuels, soulageant ainsi le logiciel d'application de tous les soucis à fournir un transfert de données fiable et rentable [36].

Avec la complexité des architectures informatiques d'aujourd'hui, un problème peut prendre des heures avant qu'il soit identifié à la racine. Les membres du personnel doivent plonger dans les systèmes des listes de journaux d'erreurs et des vidages de mémoire, le traçage étape-par étape vers le point de défaillance. Le coût des temps d'arrêt pour l'entreprise est trop cher. Par exemple, pour les grands réseaux bancaires, le coût peut être pas moins de \$2 600 000 par heure. Des systèmes d'auto-guérison seront en mesure de prendre immédiatement des mesures pour résoudre les problèmes, même si une analyse approfondie est nécessaire. Des règles pour l'auto-guérison devront être définies et appliquées. Comme les systèmes autonomes deviennent de plus en plus sophistiqués, l'intelligence intégrée sera appliquée à la découverte de nouvelles règles et de ses objectifs.

Exemples

1. Auto-correcteur JCL (Job Control Language) : lorsqu'un travail d'impression échoue, les erreurs ou les problèmes sont identifiés et les travaux sont relancés sans intervention humaine.

2. Une erreur d'application force l'ensemble du système de s'arrêter. Après l'analyse de la cause racine, l'erreur est corrigée, recompilé, testé, et replacé dans la production.
3. Un indice de base de données échoue. Les fichiers sont automatiquement réindexés, testés, et chargés en production.
4. Élargir automatiquement l'espace de stockage de fichiers et les bases de données, selon les données antérieures sur la croissance et l'expansion.

V – 4 / L'auto-protection

Les systèmes autonomes doivent identifier, détecter, et protéger les précieuses ressources d'entreprise à partir de nombreuses menaces. Ils doivent maintenir l'intégrité et la précision et d'être responsable de l'ensemble du système de sécurité. Pendant des années et avant l'internet, chaque société était une île isolée où les menaces venaient habituellement de l'intérieur. Aujourd'hui, les menaces extérieures viennent quotidiennement, la sécurité et la protection sont d'une importance capitale. Les menaces doivent être identifiées rapidement et des mesures de protection doivent être prises.

L'auto-protection des systèmes permettra d'éviter les attaques à grande échelle corrélées ou défaillances en cascade et d'endommager de façon permanente des informations précieuses et des fonctions critiques du système. Il peut aussi agir de manière proactive pour atténuer les problèmes signalés [36].

Les solutions du système autonome doivent s'attaquer à tous les aspects du système de sécurité au niveau de la plate-forme, du système d'exploitation, du réseau, des applications, d'internet et de l'infrastructure. Cela implique le développement de nouveaux mécanismes cryptographiques et des algorithmes, permettant de leur assurer la mise en œuvre, la conception de protocoles de réseau sécurisés, des environnements d'exploitation et des mécanismes pour surveiller et de maintenir l'intégrité global du système. Pour ce faire il faudra des capteurs de données avec alimentation en continu pour un centre de protection. Un journal des événements sera rédigé et accessibles lorsque cela est approprié à des fins de vérification. Pour gérer les niveaux des menaces, plusieurs niveaux sont nécessaires.

Exemples

1. Confirmer la capacité de la sauvegarde et de la récupération des ressources est nécessaire.
2. Mettre en œuvre un système de sécurité à plusieurs niveaux.
3. Concentrer les ressources de surveillance du réseau et débrancher immédiatement les systèmes informatiques lorsqu'il y a un réseau de trafic suspect.

4. Vérifier que les configurations de réseau inventaires sont correctes et si ce n'est pas le cas, prendre des mesures.
5. Contactez les administrateurs système en dehors du système autonome et les autres bureaux qui peuvent être affectés par le niveau croissant des menaces.
6. Demandez au système de vérifier que tous les systèmes informatiques sont à des niveaux de version appropriés, Et de les mettre à jour automatiquement selon les besoins.
7. Résoudre tous les problèmes de sécurité.
8. Mettre en œuvre un logiciel spécial pour la protection de sécurité supplémentaire selon le niveau de menace.
9. Contactez les fournisseurs hors site afin de déterminer si des mesures préventives (patches, etc...) peuvent être appliquées en matériel et logiciel à la fois.

V – 5 / Différence entre l'informatique autonome et actuelle

Dans Le tableau 3.1, nous allons comparer les quatre éléments de base selon la manière dont l'informatique le gère aujourd'hui et d'une manière autonome.

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 d'un 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 ses défaillances.

Tableau 3.1 : Comparaison entre l'informatique actuelle et autonome

VI - Architecture des réseaux autonomes

L'architecture autonome est composée de collections d'éléments interactifs autonomes. Cet élément autonome se compose généralement d'un ou plusieurs éléments couplés gérés avec un gestionnaire unique qui contrôle et représente automatiquement ses composants. Le gestionnaire autonome est responsable du suivi et de la gestion des processus basés sur la connaissance telle que la surveillance, l'analyse, la planification et l'exécution des éléments à gérés. Il est prévu qu'un élément autonome avec des propriétés d'auto-gestion devient un composant général d'un système informatique, l'ensemble de ses éléments autonomes vont fusionner en un système intelligent super puissant, pour atteindre l'auto-gestion [36].

Dans une architecture des réseaux autonomes, l'élément de gestion de base est une boucle de régulation, illustré à la figure 3.4. Cela agit en tant que gestionnaire de la ressource grâce à la surveillance, l'analyse et les mesures prises sur un ensemble de règles du système prédéfinis. Ces boucles de contrôle, ou les gestionnaires, peuvent communiquer et finiront par négocier les uns avec les autres et avec d'autres types de ressources au sein et en dehors de l'architecture autonome.

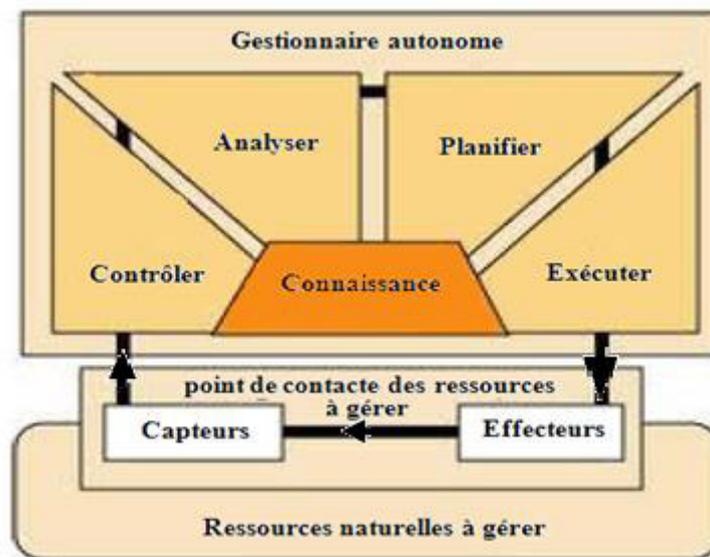


FIG 3.4 Architecture des réseaux autonomes [37]

Cette collecte des informations sur le système permet de prendre des décisions en fonction de ces données, puis émet des instructions pour effectuer les réglages sur le système.

Une boucle de commande intelligente peut fournir des fonctionnalités de calcul autonome, comme le suivant :

- Demander des cycles de traitement supplémentaires en cas de besoin.
- Installation des logiciels et les mettre à niveau.

- Redémarrer le système après une défaillance.
- Lancer les sauvegardes après le traitement quotidien.
- Arrêter les systèmes après la détection d'une intrusion.

Il y a bien des fonctions de l'auto-gestion que nous avons discutée jusqu'à présent. Ils seront disponibles dans le domaine des logiciels embarqués ou des outils de système. Une approche alternative est d'installer les boucles de contrôle en environnements d'exécution pour accélérer les réponses et les actions. Lorsqu'il sera pleinement opérationnel, des boucles de contrôle permettent de masquer la complexité des utilisateurs finaux et des professionnels IT.

Dans la Figure 3.4, nous remarquons que la boucle de contrôle est divisée en deux sous éléments :

- A. Les ressources naturelles 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 commerciale. Cela signifie que les éléments à gérer sont très évolutifs. Les capteurs et les effecteurs contrôlent l'élément (ressources naturelles) à gérer.
- B. Le gestionnaire autonome :** Celui-là permet de gérer la collecte, le filtrage et les rapports des données recueillies auprès des éléments à gérer à partir des capteurs. Les données recueillies par les capteurs permettent au gestionnaire autonome de surveiller les éléments à gérer et d'exécuter des changements à travers les effecteurs. Il analyse également, les modèles si nécessaire, et apprend à l'élément l'acquisition des connaissances. Avec cette connaissance, il pourra prévoir des situations à venir. Le gestionnaire autonome est un composant logiciel qui peut idéalement être configuré par les administrateurs humains, utilisant des objectifs de haut niveau et des données recueillies par des capteurs et des connaissances internes du système pour être planifier et exécuter. La partie de la planification fournit une structure du mécanisme de besoin pour les actions qu'il faut, pour atteindre les buts et les objectifs du système autonome, elle utilise également des politiques prédéfinies qui établissent les buts et les objectifs. Ces politiques sont décrites dans le système. La partie d'exécution du gestionnaire autonome fournit le contrôle des commandes en cours, elle permettra aussi d'établir si les commandes ont terminés leurs actions requises [37]. Le gestionnaire autonome est composé de 5 parties importantes (appelée MAPE-K) :

1. **Le contrôle (Monitor) :** 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.
2. **L'analyse (Analyze) :** 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.
3. **La planification (Plan) :** cette partie décide des actions à entreprendre pour réparer ou optimiser ou protéger les éléments à gérer.
4. **L'exécution (Execute) :** ce composant récupère l'ensemble des actions à envoyer aux éléments à gérer et les exécute.
5. **La connaissance (Knowledge) :** 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 [38].

Les capteurs fournissent des mécanismes pour recueillir des données sur l'état de l'élément à gérer. Pour déclencher les capteurs, il faudra l'instruction "get". Par exemple, « obtenir les informations de la base de données client » ou de l'élément à modifier d'une manière matérielle, comme le volume ou le temps. Un exemple du dernier déclencheur serait « d'obtenir les informations relatives à la transaction lorsque la base de données complète la mise à jour quotidienne ».

Les effecteurs sont des mécanismes qui modifient l'état d'un élément à gérer. En d'autres termes, ils agissent ou modifient la configuration de l'élément à partir de données fournies par les capteurs. Les effecteurs sont un ensemble de commandes logicielles, ou des interfaces de programmation d'application (API), qui modifient l'élément de configuration.

VII – Impacte d'autonomie dans la Radio cognitive

VII – 1 /Algorithme d'auto-configuration de la couche 2

Dans un réseau comprenant des dispositifs compatibles, l'auto-configuration de la couche 2 dans la RC implique la détermination d'un ensemble commun de canaux afin de faciliter la communication entre les nœuds participants. C'est un défi unique, car les nœuds du réseau RC ignorent peut-être leurs voisins ou les canaux sur lesquels ils peuvent communiquer avec ses voisins. Les auteurs de [39] ont proposé un algorithme distribué de temps efficace pour l'auto-configuration de la couche 2 d'un réseau RC.

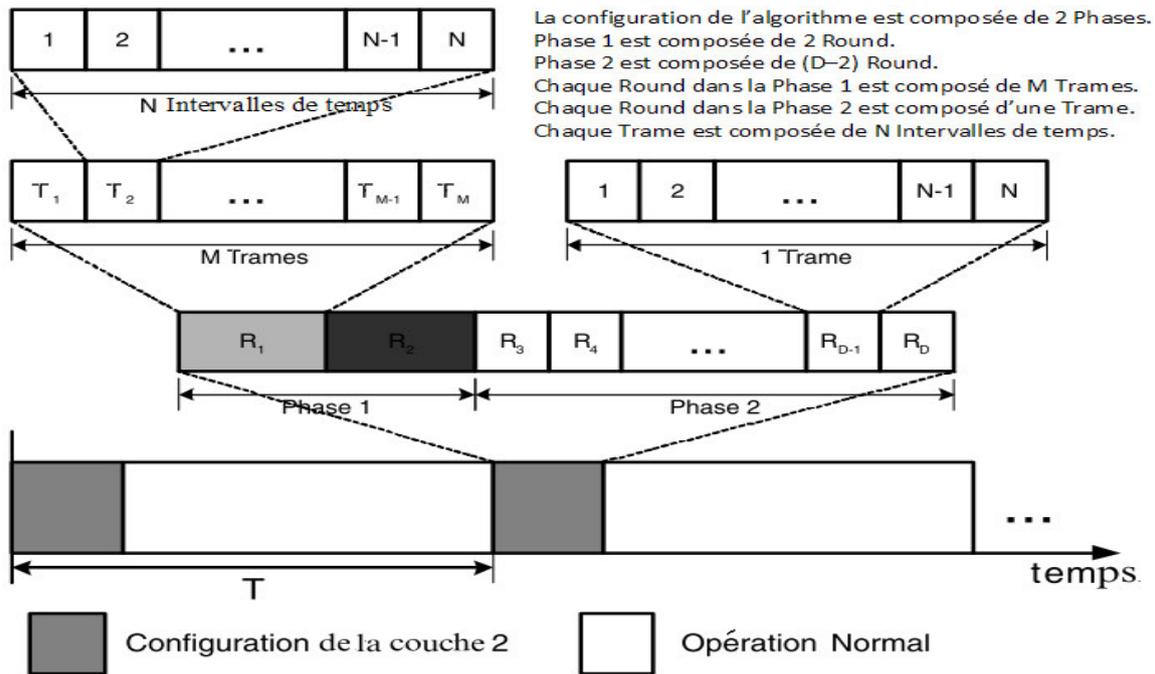


FIG 3.5 Cycle de fonctionnement d'un nœud radio cognitif [39]

Au cours du processus d'auto-configuration de la couche 2, le système à accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) est utilisé pour la communication entre les nœuds. Le temps est divisé en $O(D)$ Rounds. Un round est défini comme le temps nécessaire pour que chaque nœud communique avec ses voisins en utilisant un mécanisme de diffusion (locale). Chaque round se compose d'intervalles de tailles égales appelées Trames. Le nombre de trames dans un round peut varier, comme indiqué dans la Figure 3.5. Un round dans la phase 1 se compose de m trames, un round dans la phase 2 consiste en une seule trame. Chaque trame est divisée en N intervalles de temps, chacun de longueur égale. Nœud i transmet pendant l'ième intervalle de temps dans chaque trame (voir FIG 3.5) et tous les autres nœuds sont en mode de réception pendant l'ième intervalle de temps [39].

VII – 2 / Auto-conscience dans le cycle de cognition

L'auto-conscience démontre le développement de concepts qui constituent l'un des principaux problèmes dans la conception des réseaux cognitifs en auto-gestion pour la vision d'Internet du futur tel qu'il est actuellement développé dans le projet Self-NET [40].

La figure 3.6 unifie et formule quelques-unes des principales questions nécessaires au développement des systèmes cognitifs en auto-conscience et effectue actuellement la mise en œuvre de ces derniers avec des bancs d'essai réels qui révéleront la réalisation pratique et des problèmes de coordination dans le déploiement des cycles cognitifs pour les cas d'utilisation et l'application du cadre théorique présenté dans la figure 3.6.

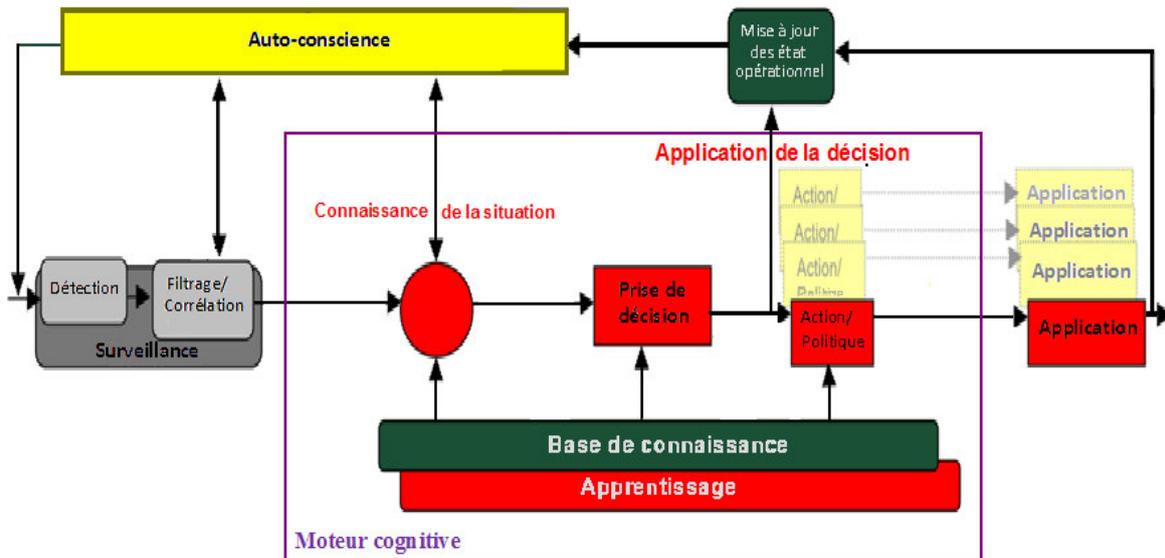


FIG 3.6 Architecture logique Self-NET d'un cycle cognitif pour l'auto-conscience [40]

VIII - Systèmes autonomes d'aujourd'hui

Il est possible de trouver certains aspects des systèmes autonomes déjà dans les produits logiciels d'aujourd'hui. Cette section décrit les initiatives, Les avantages et les applications qui utilisent la notion d'autonomie.

VIII – 1 / Initiatives de l'informatique autonome

Aujourd'hui divers fournisseurs d'ordinateurs et des institutions de recherche sont impliqués dans l'informatique autonome. La technologie n'est pas uniquement applicable aux serveurs, mais s'étend également aux bases de données, aux applications logicielles, et aux réseaux de Grid computing.

Les premiers éléments de calcul autonomes ont été " des agents logiciels" qui faisaient des vagues en 1999. Un premier exemple est Computer Associates' Neugents. Selon Computer Associates, Neugents recherche des modèles de données et peut être extrapolé à partir des modèles pour prédire les futurs événements.

"Araignées" ou agents logiciels de moteurs de recherche sont un autre exemple. Également appelé "Bots", ces agents permettront de décaper le Web recherchant de nouveaux sites web et de mettre à jour la base de données du moteur de recherche avec la nouvelle URL.

Les dernières versions de Microsoft Office incluent une fonctionnalité de réparation. Si le fichier programme clé (tels que Winword.exe) est altéré ou accidentellement supprimés, le logiciel peut le réinstaller. Ces fonctionnalités seront bientôt présentes dans d'autres logiciels de bureau.

Plug-and-play est un autre élément de l'informatique autonome représenté dans la figure 3.7. Brancher un nouveau périphérique à votre ordinateur et le système le détectera automatiquement. Le système d'exploitation décidera ensuite de configurer son assistant matériel, ce qui vous guide à travers le processus d'installation des pilotes appropriés pour le nouveau périphérique.



FIG 3.7 Périphérique Plug-and-play [41]

Une société qui travaille activement à des systèmes entièrement autonomes est IBM, qui a lancé une initiative appelée Projet eliza. IBM a incorporé certains éléments d'eliza dans ses serveurs. La société fait preuve d'un logiciel appelé Enterprise Workload Manager qui surveille des groupes de serveurs, gère des machines et faire progresser les travaux entre eux, sans l'aide des administrateurs de droit (c-à-d sans intervention humaine).

Une initiative semblable à eLiza est le projet Oceano. Il permettra à un groupe de serveurs Linux de partager des tâches, et de réaffecter des emplois lorsque de nouveaux serveurs sont ajoutés ou supprimés de la grappe.

Compaq est également à la poursuite de l'informatique autonome. Il offre une suite d'outils collectivement appelés ProLiant Essentials. L'outil avec des caractéristiques autonomes est Compaq Insight Manager. Ce logiciel offre des pré-alertes de défaillance pour les serveurs Compaq ProLiant, ce qui détecte de manière proactive les défaillances des serveurs potentiels avant qu'ils ne se traduisent par un arrêt du système non planifiée.

Un autre exemple d'un système autonome est le moteur de flux de données adaptative, une technologie utilisée pour les bases de données numériser "deep Web", permettant de recueillir des informations. Deep Web fait référence à l'information sur internet qui ne peut pas être trouvé par les moteurs de recherche en utilisant des logiciels télégraphe [41].

VIII – 2 / Avantages des systèmes autonomes

Les systèmes autonomes ont pour avantage de réduire le TCO (Total Cost of Ownership). Permettent ainsi d'avoir moins de pannes fréquentes, ce qui réduit considérablement les coûts de maintenance. Les systèmes auront moins besoin d'intervention humaine.

Selon des études d'IBM, environ 80 % du coût des grands systèmes informatiques a tourné autour de achats de logiciels et de matériel plus tôt. Aujourd'hui, le coût nécessaire du personnel spécialisé pour gérer ces systèmes est à peu près équivalent au coût de l'équipement. IBM estime que le coût du personnel sera le double que celui de l'équipement dans les cinq ou six prochaines années.

Réduire le coût de déploiement, de la maintenance et de la stabilité accrue des systèmes d'IT grâce à l'automatisation est avantageux aux systèmes autonomes. IBM indique également que les systèmes autonomes peuvent réduire le temps pour le déploiement de nouveaux systèmes.

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 [41].

VIII – 3 / Applications de l'informatique autonome

L'informatique autonome promet de simplifier la gestion des systèmes informatiques. Mais cette capacité fournira à la base beaucoup plus : la transparente de e-sourcing et le Grid Computing, la dynamique de e-business et la capacité de concrétiser les décisions que les gestionnaires prennent de la politique et des processus informatiques qui font que ces décisions soient une réalité.

E-sourcing est la capacité à délivrer des services informatiques à un utilitaire, quand vous en aurez besoin, et dans le montant que vous devez avoir pour accomplir la tâche à accomplir, l'informatique autonome va créer d'immenses possibilités pour ces types de services.

D'autres applications incluent l'équilibrage de la charge du serveur, les processus d'allocation, l'alimentation de suivi, la mise à jour automatique du logiciel et des pilotes, la pré-défaillance du système, la mémoire à correction d'erreur du système, le sauvegarde et la récupération automatiques, etc.

Un domaine où l'informatique autonome peut contribuer de manière significative est le Grid Computing. Les habilités du Grid avec les capacités d'auto-gestion autonome peuvent révolutionner l'informatique. Et les applications ne se limitent pas à l'industrie IT seulement.

Il y a plusieurs initiatives en cours de Grid Computing. L'Université de Pennsylvanie, par exemple, est en train de construire un Grid puissant qui vise à apporter des méthodes avancées de diagnostic de cancer du sein et le dépistage pour les patients, tout en réduisant les coûts. Le Grid est un service d'utilité de type diffusé sur internet, permettant à des milliers d'hôpitaux de stocker sous forme numérique des mammographies. Le Grid fournira des outils analytiques

qui aident les médecins à diagnostiquer les cas individuels et d'identifier les «clusters» du cancer dans la population.

Mais le développement informatique autonome est confronté aussi à des défis, et il peut passer un certain temps avant de voir sa mise en œuvre dans des applications comme le Grid Computing [41].

IX – Projet de recherche lié aux réseaux autonomes

Plusieurs projets de recherche ont été lancés dans le domaine d'autonomie et plus précisément dans les réseaux autonomes, nous allons citer quelques projets qui sont en cours de développement :

IX – 1 / Le projet : ANA (Autonomic Network Architecture)

Le projet ANA vise à explorer de nouvelles façons d'organiser et utiliser des réseaux au-delà de l'héritage de la technologie d'Internet. Le but ultime est de concevoir et développer une nouvelle architecture de réseau autonome qui permettra la formation flexible, dynamique et entièrement autonome des nœuds de réseau ainsi que des réseaux entiers. Les universités et les instituts de recherche en Europe et en Amérique du Nord participent à ce projet.

L'architecture de réseau autonome résultante permettra une adaptation dynamique et une réorganisation du réseau selon le fonctionnement, les besoins économiques et sociaux des usagers. Cela devrait être particulièrement difficile dans un contexte mobile, où de nouvelles ressources deviennent disponibles dynamiquement, administrativement et économiquement [42].

IX – 2 / Le projet : CASCADAS (Component-ware for Autonomic Situation-aware Communications, and Dynamically Adaptable Services)

L'objectif principal du projet CASCADAS est de développer un cadre à base de composants autonome pour permettre la composition, l'exécution et le déploiement de services innovants capables de faire la flexion et de faire face à des environnements imprévisibles par l'auto-adaptation dynamique des évolutions de la situation.

Dans ce contexte, CASCADAS a pour vision de l'Internet du futur comme une écologie de composants légers et simples (extraction des données, des informations, des composants de service, etc.) qui sont capables d'interagir les uns avec les autres et d'auto-organiser dynamiquement leur activités pour servir de manière adaptative des but-orientée vers les besoins dynamiques des pros consommateurs et fournisseurs. Dans cette vision, l'approche traditionnelle des couches ISO/ OSI pour la mise en réseau et Internet perdre toute signification : c'est à dire sans compter sur aucune couches prédéfini, l'écologie de l'auto-

organisation et de l'auto-adaptative des composants sera en mesure de composer ensemble toute suite nécessaire des services [43].

IX – 3 / Le projet : BIONETS (BIologically inspired NETwork and Services)

La motivation pour BIONETS a des tendances émergentes vers les environnements informatiques et de communication omniprésents, où des myriades d'appareils en réseau avec des caractéristiques très différentes qui vont améliorer nos cinq sens, nos capacités de communication et de manipulation de l'outil. La complexité de ces environnements ne sera pas loin de celle des organismes biologiques, les écosystèmes et les communautés socio-économiques. Les approches traditionnelles de communication sont inefficaces dans ce contexte, car ils ne parviennent pas à répondre à plusieurs nouvelles fonctionnalités : un grand nombre de nœuds, y compris les dispositifs à faible coût de détection / identification, une grande hétérogénéité dans les capacités de nœuds, une forte mobilité de nœud, la complexité de gestion, la possibilité de l'exploitation des ressources de nœud de recharge.

BIONETS vise qu'une nouvelle approche est en mesure de relever ces défis. La nature et la société présentent de nombreux exemples de systèmes dans lesquels de grandes populations sont en mesure d'atteindre des états d'équilibre efficaces et de développer des stratégies de collaboration et de survie efficaces, capable de travailler en l'absence de contrôle central et d'exploiter les interactions locales. Nous cherchons l'inspiration de ces systèmes pour fournir un environnement de réseau et de service entièrement intégré qui s'adapte à de grandes quantités de dispositifs hétérogènes, et qui est capable de s'adapter et évoluer de manière autonome [44].

IX – 4 / Le projet : CPN (The Cognitive Packet Network)

Le réseau de paquets cognitive (CPN) est un protocole de routage qui fournit une QoS axée en routage et effectue l'auto-amélioration d'une manière répartie, par l'apprentissage de l'expérience des paquets spéciaux, qui réunissent en ligne des mesures pour la QoS et découvrir de nouvelles routes. Le CPN a été introduit en 1999 et a été utilisée dans plusieurs applications depuis [45].

Le projet CPN fait usage de techniques adaptatives à chercher des itinéraires sur la base de critères définis par l'utilisateur de la QoS. Par exemple, la perte de paquets et le retard peuvent être utilisés comme critères d'acheminement pour améliorer la fiabilité globale des utilisateurs du réseau, ou le retard et sa variance peuvent être utilisée pour trouver des routes qui assurent la qualité de service demandé par des paquets vocaux. Un CPN porte trois types de paquets : les paquets intelligents, les paquets muets et les Acknowledgments (ACK).

Les Paquets intelligents ou cognitives s'autogère en itinéraire, ils apprennent à éviter les échecs des liens et nœuds et la congestion et pour éviter d'être perdu. Ils apprennent de leurs propres observations sur le réseau et l'expérience des autres paquets. Ils comptent peu sur les routeurs. Les Paquets intelligents utilisent l'apprentissage par renforcement pour découvrir les routes, et «récompense» les fonctions qui intègre les QoS demandées par un utilisateur particulier. Cette récompense est l'inverse d'un «but» de la QoS dont lequel chaque utilisateur peut fournir avant d'initier une connexion. Quand un paquet intelligent arrive à une destination, un accusé de réception (ACK paquet) est généré par la destination et l'ACK se dirige vers la source du paquet intelligent le long de la voie inverse. Quand il traverse de manière réussi, le routeur met à jour les boîtes aux lettres dans les routeurs CPN ; quand il atteint le nœud source, il fournit à la source des informations de routage pour les paquets muets. Les paquets muets d'un usage déterminé en classe de QoS, utilise des routes sauf qui ont été sélectionnés de cette dernière manière par les paquets intelligents de la même classe [46].

X – Les différents défis des systèmes autonomes

Relever les grands défis des systèmes autonomes présents des défis de recherches fondamentales et importantes qui couvrent tous les niveaux, du niveau conceptuel à l'architecture, des logiciels intermédiaires à des applications. Les questions des recherches clés et les défis sont présentés ci-dessous.

X – 1 / Défis conceptuels

Les questions des recherches et défis conceptuelles incluent de :

- ✓ Définir des abstractions appropriées et des modèles pour la spécification, la compréhension, le contrôle, et la mise en œuvre des comportements autonomes.
- ✓ Adapter des modèles et des théories classiques de l'apprentissage machine, ainsi que l'optimisation et le contrôle dynamique du système multi agent.
- ✓ Fournir des modèles efficaces pour la négociation que les éléments autonomes peuvent utiliser pour établir des relations multilatérales entre eux.
- ✓ Concevoir des modèles statistiques à des grands systèmes en réseau qui permettront aux éléments autonomes ou des systèmes de détecter ou de prévoir les problèmes globaux à partir d'un flux de données des capteurs de périphériques individuels.

X – 2 / Défis architecturaux

Les systèmes et applications autonomes seront construits à partir d'éléments autonomes pour gérer leur comportement interne et leurs relations avec les autres éléments autonomes

conformément aux politiques que les humains ou autres éléments ont créé. En conséquence, le comportement du système de l'auto-gestion découle de l'auto-gestion des comportements constituant des éléments autonomes et de leurs interactions. Le système et les architectures logicielles, dans lequel les locaux ainsi que des comportements autonomes mondiaux peuvent être spécifiées, la mise en œuvre et le contrôlé d'une manière solide et prévisible demeure un défi de recherche clé.

X – 3 / Défis des logiciels médiateurs (Middleware)

Le défi principal des logiciels médiateurs au niveau de la recherche est la fourniture des services de base nécessite la réalisation des comportements autonomes de manière solide, fiable et évolutive, en dépit du dynamisme et de l'incertitude du système et de l'application.

Il s'agit notamment de la découverte, la messagerie, la sécurité, la confidentialité, la confiance et les systèmes autonomes, etc. Il faudra des éléments autonomes de s'identifier, de découvrir et de vérifier les identités des entités d'intérêt, de façon dynamique afin d'établir des relations avec ces entités, et d'interagir de manière sécurisée. En outre le middleware lui-même devrait être sécurisé, fiable et robuste contre les nouvelles formes insidieuses des attaques qui utilisent l'auto-gestion basée sur les politiques de haut niveau pour leur propre avantage.

X – 4 / Défis d'applications

Les principaux défis au niveau de l'application sont la formulation et le développement des systèmes et les applications qui sont capables de s'autogérer. Cela comprend les modèles de programmation, les cadres et les services middleware qui prennent en charge la définition des éléments autonomes, le développement d'applications autonomes comme la composition dynamique et opportuniste de ces éléments autonomes, ainsi que la politique, le contenu et le contexte de la définition axée sur l'exécution et la gestion de ces applications [47].

XI – Avenir des systèmes informatiques

XI – 1 / Sans la présence des systèmes autonomes

Les associations de l'un ou l'autre des événements suivants se produira par niveau de gravité.

- La complexité va continuer à augmenter pour atteindre des proportions ingérables.
- De nouvelles pressions vont augmenter le personnel IT pour résoudre des problèmes irréparables.
- La fiabilité des systèmes et des performances va se détériorer. Les entreprises vont souffrir.

- Les sociétés perdront leur avantage concurrentiel ainsi que des marchés et des profits.
- Les sociétés seront tenues d'augmenter leurs budgets d'IT à des proportions astronomiques.
- La direction va rejeter ces budgets astronomiques en espèrent que les cycles de problèmes continueront.
- De plus en plus de personnel qualifiés d'IT seront nécessaire à des coûts substantiels.
- La santé de beaucoup de personnel d'IT en souffrira.

Le secteur de l'industrie d'IT s'attarde trop longtemps dans le culte de la surspécialisation dont l'intégration a été juste une autre spécialité. L'industrie d'IT fait des progrès spectaculaires dans presque tous les aspects de l'informatique. Mais elle n'a pas fait assez dans le domaine qui compte le plus aujourd'hui, face à la complexité générée par tous les systèmes que nous avons installés jusqu'ici. Dans cette ruée passionnante, il y a un risque de perdre de vue les personnes qui l'utilisent et qui comptent sur nous pour une productivité accrue et de l'amélioration de nombreux aspects de leur vie quotidienne. Nous avons difficilement et inutilement exploité pour eux le potentiel que nous avons promis. Il est temps de modifier cette situation. Cela doit changer, le Chaos n'est pas une option.

XI – 2 / Avec la présence des systèmes autonomes

De façon réaliste, 100 % des systèmes autonomes seront très difficile à construire et exigeront une importante exploration pour les nouvelles technologies et les innovations. C'est pourquoi les recherches sont aperçues comme un grand défi pour l'ensemble de l'industrie d'IT. Les gens ont besoin de progresser dans deux voies :

Première voie, la fabrication des divers composants du système nerveux autonome et la réalisation d'un comportement autonome au niveau mondial des systèmes informatiques de l'entreprise.

La deuxième voie consiste à trouver comment créer une prise de conscience "global" du système et ça gestion. Ou, en d'autres termes, essayer de trouver comment optimiser l'ensemble de la pile de couches de traitement dans son ensemble. Ce n'est pas quelque chose qui est actuellement à notre porté.

Nous savons qu'il y a aussi de nombreux défis intérimaires : comment créer le bon "algorithme adaptatif", qui définit des règles qui peuvent prendre l'expérience du système précédent et d'utiliser ces informations pour améliorer les règles ou la façon d'équilibrer ce que ces algorithmes "se rappeler" avec ce qu'ils ignorent. Nous, les êtres humains ont tendance à être très bon à ce dernier, c'est ce que nous appelons "oublier", mais parfois, ça

peut être une bonne chose : nous pouvons conserver uniquement des informations et ne pas être distrait par des données.

De nombreux champs d'étude scientifique contribueront à l'informatique autonome. Ce que nous avons appris dans le domaine de l'intelligence artificielle, la théorie du contrôle, les systèmes adaptatifs complexes et à la théorie des catastrophes, ainsi que certains des premiers travaux de la cybernétique, nous donnera une variété d'approches pour explorer. Les projets de recherche en cours dans les laboratoires et les universités comprennent l'auto-évolution des systèmes capables de surveiller eux-mêmes et de s'adapter à certains changements, les puces "cellular" capables de récupération des défaillances à long terme des applications en cours d'exécution, l'hétérogénéité des gestions de la charge que peut équilibrer et ajuster les charges d'un grand nombre d'applications sur différents serveurs, et la théorie du contrôle traditionnel appliqué au domaine de l'informatique, pour n'en citer que quelques-uns.

La liste suivante est un certain nombre de recommandations et d'observations qui ne sont en aucun spécifique ordre, ils sont plutôt une liste de pensées, des suggestions et des recommandations qui peuvent rendre l'informatique autonome plus fonctionnel.

- Développer des systèmes autonome eScience pour la communauté scientifique.
- Développer des techniques pour permettre aux utilisateurs de spécifier leurs préférences et de négocier le résultat souhaité dans des environnements complexes.
- Développer des techniques pour permettre à l'autonomie d'identifier, créer et de dissoudre des coalitions dans la négociation multi-autonome et dans l'argumentation des contextes.
- Développer des techniques de personnalisation autonome.
- Développer des mécanismes d'apprentissage distribués.
- Développer des techniques pour permettre la reconfiguration d'exécution automatique et la refonte des systèmes autonomes. Développer des techniques permettant de tester la fiabilité de l'autonomie.
- Entreprendre des recherches sur les méthodes pour assurer la sécurité et la vérifiabilité des systèmes autonomes.
- Élaborer et mettre en œuvre la confiance et la réputation des mécanismes. S'engager aux activités de normalisation des recherches liées (par exemple, UDDI, WDL, WSFL, XLANG, OMG, CORBA, et d'autres largement utilisés par la résistance industrielle des standards ouverts).
- Construction des prototypes autonomes couvrant les frontières organisationnelles (potentiellement conflictuels).

- Encourager les premiers utilisateurs de la technologie autonome, en particulier ceux qui prennent des risques à fournir des incitations.
- Mettre en place un catalogue de début d'étude des cas adoptants, à la fois réussite et d'échec.
- Fournir des analyses et publier les raisons pour les cas de réussite et d'échec.
- Identifier et publier les meilleures pratiques pour l'axe autonome sur le développement et les efforts de normalisation du déploiement.

XII – Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, les différentes facettes de l'informatique autonome, qui est inspirée par les systèmes nerveux autonomes de l'être humain, permettant ainsi le développement des systèmes informatiques d'autogestion et d'applications. Les systèmes utilisent des stratégies autonomes et des algorithmes pour gérer la complexité et les incertitudes avec un minimum d'intervention humaine.

Plusieurs efforts de recherche ont porté sur l'activation des propriétés autonomes abordant quatre domaines principaux : l'auto-guérison, l'auto-protection, l'auto-configuration et l'auto-optimisation. Nous abordons les comportements autonomes à tous les niveaux, du niveau matériel à des systèmes et des applications logicielles. Au niveau du matériel, des systèmes peuvent être dynamiquement extensible, alors qu'au niveau du système d'exploitation, le code actif du système d'exploitation peut être remplacé de manière dynamique.

Toutefois, la réalisation des objectifs globaux des comportements autonomes reste un défi ouverte et important, ce qui sera accompli par une combinaison de changements de processus, de compétences d'évolution, de nouvelles technologies, de l'architecture, et des normes ouvertes à l'industrie. Dans le prochain chapitre, nous allons présenter plusieurs contributions des mécanismes d'adaptation autonomes dans les réseaux de radio cognitive, ce prochain chapitre sera dédié à la fusion entre les réseaux autonome et la radio cognitive.

CHAPITRE IV

Contributions des mécanismes
autonomes dans les réseaux de
radio cognitive

Sommaire

I – Introduction.....	88
II – Première contribution : Auto-optimisation et auto-guérison d’un nœud radio cognitive pour la gestion des échecs.....	88
II – 1 / Approche proposée de la négociation entre SU et PU	89
II – 2 / Principe de fonctionnement de l’approche proposée.....	90
II – 3 / Principe de négociation spécifique d’un SU détectant des PUs	91
III – Deuxième contribution : L'auto-gestion de la base d'apprentissage pour Agent autonome.....	92
III – 1 / Approche proposée de LBAA.....	92
III – 2 / Mode de fonctionnement de LBAA.....	94
III – 3 / Automate fini ou FSM (Finite State Machine) d’un SU	95
III – 4 / Architecture de l’approche LBAA.....	97
III 4 – 1 / Architecture proposés de l’autonomie dans les réseaux de radio cognitive.....	97
III 4 – 2 / Impacte de l’autonomie sur l’architecture réelle de notre approche	97
III – 5 / Diagramme de fonctionnent du LBAA.....	100
III – 6 / Message Sequence Chart (MSC) d’un SU en communication	101
III 6 - 1/ Première alignement du MSC coté A	104
III 6 - 1/ Deuxième alignement du MSC coté B	106
IV – Conclusion	109

I – Introduction

Le besoin en matière d'autonomie à toucher tous les niveaux applicatifs, le domaine des réseaux a aussi bénéficié de ces fonctionnalités qui permettent de ce rapproché de plus en plus au fonctionnement d'un cerveau humain. Dans ce chapitre, nous allons proposer des approches d'autonomie en deux contributions complémentaires qui permettent de voir un nouvel aspect de la radio cognitive, tout en respectant les normes applicatives de cette dernière. Ainsi que de traiter les différents points des réseaux autonomes liés au paramétrage des systèmes de cognition par l'amélioration de la négociation entre les utilisateurs ainsi que l'apprentissage des décisions choisies.

II – Première contribution : Auto-optimisation et auto-guérison d'un nœud radio cognitive pour la gestion des échecs

Les besoins de partage du spectre sont devenus une nécessité incontournable, mais les risques d'endommager les utilisateurs primaires rendent la tâche plus difficile. Nous nous sommes intéressés à essayer de satisfaire les besoins des utilisateurs secondaires tout en respectant la qualité de service (QoS) de ces derniers ainsi que les décisions choisies par les utilisateurs primaires en cas d'échec de négociation coté interférences.

La QoS fait partie de la complexité des données de transmission, comme la bande passante, le délai d'attente, le taux d'erreur et la gigue. Quoi mieux que d'assurer la transmission de la vidéo conférence qui a une très haute priorité à garantir au réseau de radio cognitive.

Le tableau 4.1, nous montre les types de données réseaux de la QoS et leurs sensibilités pour quelques types de transmission à savoir la voix, l'email, le transfert de fichier et la vidéo conférence.

Type de transmission	Les caractéristiques			
	Bande passante	Délai d'attente	Taux d'erreur	La gigue
Voix	1	4	3	4
Email	2	2	4	2
Transfert de fichier	3	2	3	2
Vidéo conférence	4	4	3	4

Tableau 4.1 : Caractéristiques de la QoS pour les 4 types de transmission [48]

La figure 4.1 représente l'approche réalisée auparavant dans [23], elle permet de nous éclaircir sur la négociation autonome du SU pour déterminer la meilleure façon de partager le spectre avec le PU. Par ailleurs, on s'intéresse également à une application critique en termes de QoS qui est la vidéo conférence dans cet exemple. Donc notre objectif est de satisfaire ce type d'application étant donné que notre réseau autonome est basé sur la RC.

II – 2 / Principe de fonctionnement de l'approche proposée

Le principe de cette approche consiste à un utilisateur secondaire (SU) qui va détecter et surveiller les seuils de la QoS périodiquement jusqu'à ce qu'il trouve une partie libre d'un spectre sous licence gérée par un utilisateur primaire (PU).

On suppose que le PU possède que 8 canaux, trois scénarios sont possibles dans ce cas :

- a) Si le PU décide d'allouer une partie du spectre, assurant au SU les 4 canaux demandés sachant que le PU utilise maximum 3 des 8 canaux à sa disposition, donc le SU est en mode Normal. Il oriente, planifie et décide de la meilleur action à exécuter puis il utilise/partage le spectre avec le PU.
- b) Si le PU utilise 4 canaux et décide d'allouer une partie du spectre au SU. Les 4 canaux demandés par ce dernier seront en danger, dans ce cas-là on est en mode Avertissement, l'utilisation des 8 canaux disponibles coté PU peut provoquer des dégradations du signal lors de la transmission, ce qui va sérieusement déranger l'utilisateur secondaire puisqu'il est censé assurer la QoS de la vidéo conférence, alors une phase de négociation sera entamé entre le PU et le SU, c'est ce que nous appelons l'Auto-optimisation. Après négociation nous aurions deux cas possibles :
 - Le premier cas sera produit si le PU coopère avec le SU et accepte de revenir à 3 canaux et de laisser un canal libre dans le spectre, donc le SU va revenir au premier scénario (c.à.d. en mode Normal).
 - Le deuxième cas se produira si le PU refuse tout type de négociation, le SU va donc entamer une nouvelle phase qui est mentionné dans le troisième scénario.
- c) Si le PU décide d'utiliser plus de 4 canaux ou refuse la négociation dans le deuxième scénario, dans ces cas-là, le SU est dans le mode Échec, le signal sera très faible et l'échec de connexion sera garantie (pour le cas échéance de négociation), aucune phase de négociation ne sera accordé (pour le 3ème cas), donc une nouvelle phase est exigée, on parle alors de l'Auto-guérison. Dans cette phase nous allons effectuer un changement du spectre ou autrement dit un Handover Spectrale (chercher un nouveau spectre ce qui implique un nouveau PU) [23].

II – 3 / Principe de négociation spécifique d’un SU détectant des PUs

Nous avons déjà montré dans la figure 4.1, comment un SU va négocier avec un PU. La figure 4.2 va montrer les étapes plus détaillées de la négociation entre le SU et les PUs.

Nous prenons dans cet exemple que le SU1 a besoin de 4 canaux à partager avec l’un des quatre PU détectés (On suppose aussi que chaque PU a 8 canaux), SU1 va négocier en premier lieu avec PU1 qui utilise cinq canaux (affichés en bleu) sur les huit canaux disponibles, mais PU1 a seulement trois canaux libres, insuffisantes pour SU1 (affiché en rouge). Ainsi, le SU1 va changer le spectre initial pour une deuxième négociation avec un autre utilisateur primaire qui est le PU2, dans ce deuxième scénario le PU2 utilise 4 canaux, ce qui nous amène à dire que les interférences entre SU1 et PU2 sont fort probable, on suppose que le PU2 a refusé la négociation avec SU1, ce qui nous ramène à changer le spectre une deuxième fois. Le SU1 va partager le spectre avec PU3, qu’il n’utilise cette fois que trois canaux (en bleu) et peut louer ses cinq canaux restant (afficher en vert) et qui sont convenable à SU1, donc SU1 partage le spectre avec PU3. Puisque le SU1 à négocier consécutivement qu’avec les trois premiers utilisateurs primaire et qu’il partage le spectre avec PU3, par conséquent le SU1 n'a aucune information sur PU4 (en jaune).

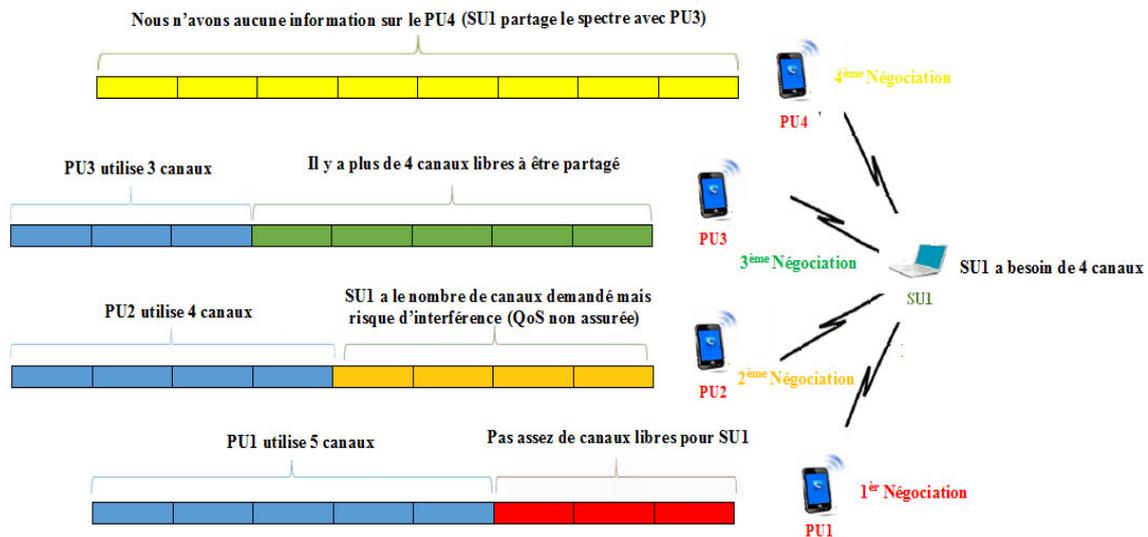


FIG 4.2 L'autonomie spécifique de la négociation et de la prise de décision entre SU1 et les différents PU

Dans la seconde approche, nous allons faire l'effet d'entonnoir inverse avec la première approche (approche de négociation), cela signifie que nous avons commencé avec une autonomie spécifique d’un seule SU et nous finirons avec une autonomie plutôt générale ou dite globale en introduisant une base d’apprentissage d’agent autonome le LBAA (Learning

Base for Autonomic Agent) qui suggèrera au utilisateurs cognitifs, des PUs compatibles à leurs demandes. Avec la négociation et la prise de décision entre les agents SUs et leurs PUs, comme le montre la Figure 4.3.

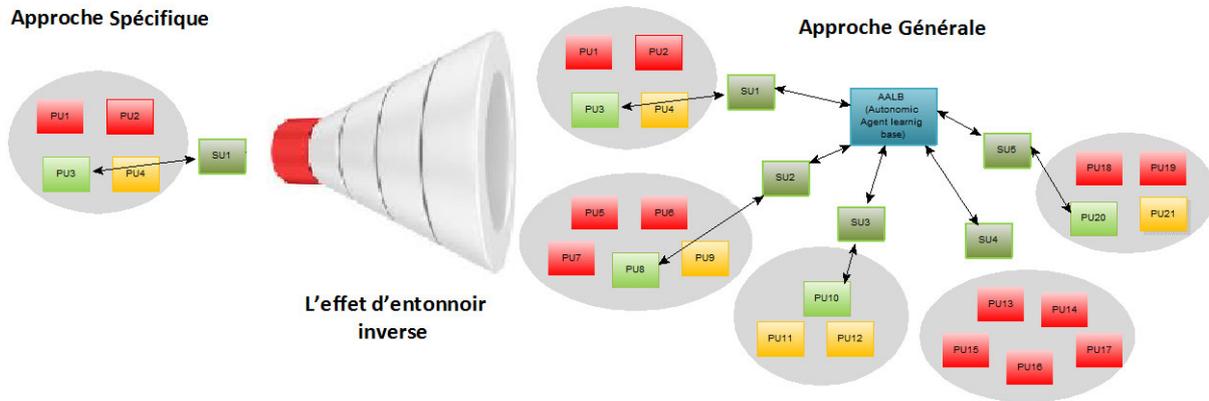


FIG 4.3 L'effet d'entonnoir inverse de l'autonomie spécifique au général approche

III – Deuxième contribution : L'auto-gestion de la base d'apprentissage pour Agent autonome.

Dans ce que nous avons vu précédemment le SU_i essaye de communiquer coûte que coûte avec un PU_j , mais la disponibilité des canaux peut être parfois difficile à assurer, le LBAA a permis de mieux allouer les canaux en introduisant des mécanismes autonomes capable de s'adapter à n'importe qu'elle environnement radio.

III – 1 / Approche proposée de LBAA

Dans la figure 4.4, nous supposons qu'on est dans un environnement en même temps compétitif et coopératif. Chaque SU détecte une partie du spectre avec un ensemble de PU, les SUs vont procéder à la négociation pour partager le spectre avec l'un des PU (cette étape est détaillée dans la première approche). Les SUs sont en compétition entre eux pour partager un nombre bien précis de canaux avec le PU correspondant. Les PUs affichés en rouge ne peuvent pas satisfaire les demandes des SUs correspondants, les PUs affichés en jaune n'ont reçus aucune demande provenant des SUs, et les PUs affichés en vert partagent le spectre avec le PU demandant comme le montre la figure 4.4. Cependant chaque SU va coopérer avec les autres SUs par le biais d'une Base d'Apprentissage pour Agent Autonome (LBAA), cette base permet de détecter tous les agents secondaire (SUs) qui sont en besoin et de récolter toutes les informations concernant ces derniers pour pouvoir les aider à choisir les meilleurs PUs compatibles avec leurs demandes.

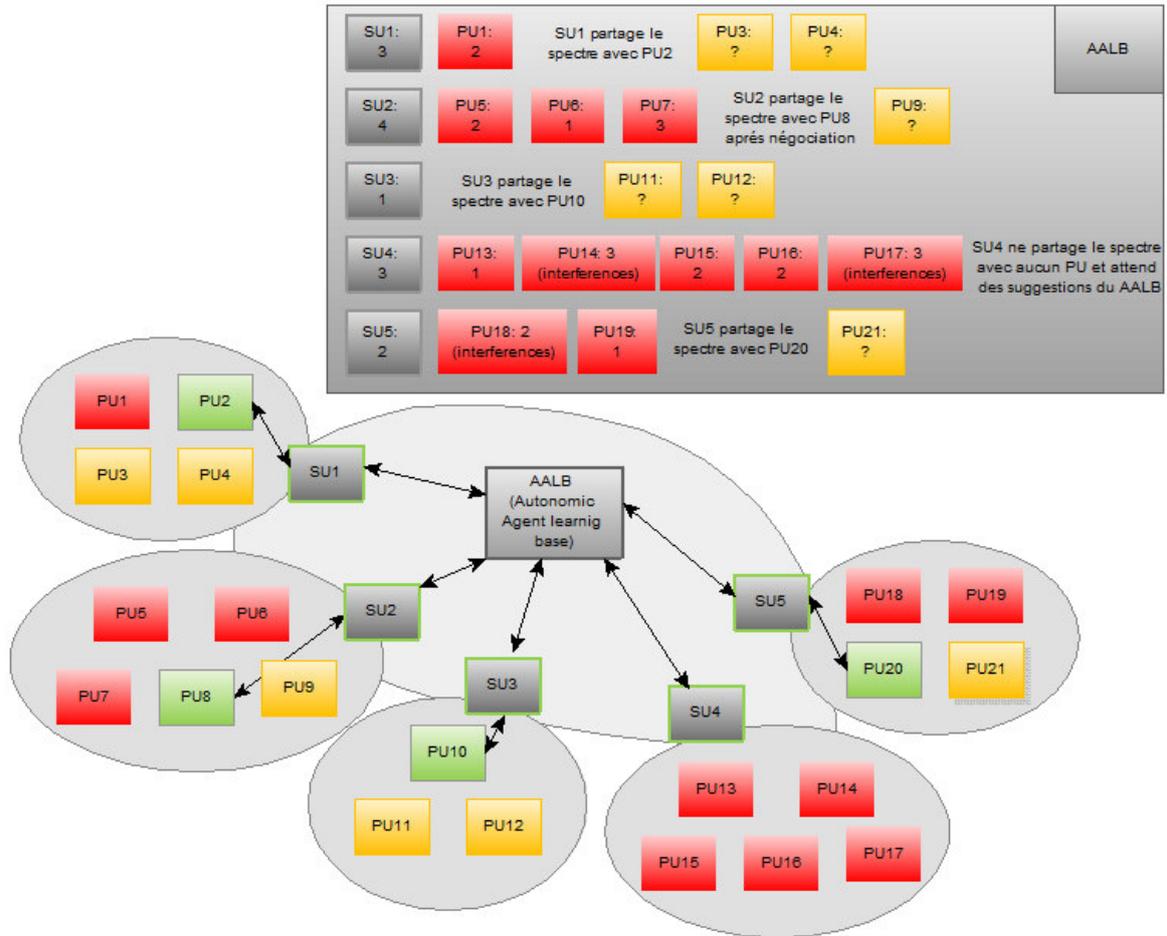


FIG 4.4 Première étape de l'approche LBAA

Dans sa table d'affichage, le LBAA va sauvegarder les informations d'une manière autonome sur tous les SUs et les PUs (le nombre de canaux demandés par les SUs, le nombre de canaux qui peut être alloué par les PUs et l'échec ou acceptation de négociation en cas de risque des interférences). Comme le montre la figure 4.5, si le SU partage un spectre avec un PU, il sera retiré de la base d'apprentissage et ses informations concernant les PUs seront enregistrées et suggérées à d'autres SUs en besoin, mais si le SU ne trouve pas de satisfaction dans sa partie détectée il va communiquer les résultats trouvés à LBAA pour d'autres SUs en besoin et il sera redirigé vers d'autres PUs suggérés par cette même base autonome.

La figure 4.5 permet de nous apporter plus de précision sur l'autonomie de cette base d'apprentissage ce qui nous amène à voir les suggestions proposées aux nouveaux SUs ainsi que les SUs qui n'ont toujours pas trouvé de PU correspondant (comme le SU4 dans cet exemple). Nous remarquons aussi que PU15 et PU16 suggérés au SU6 sont en rouge sans même avoir été consultés par ce dernier, c'est grâce aux informations fournies par le SU4 dans sa première détection.

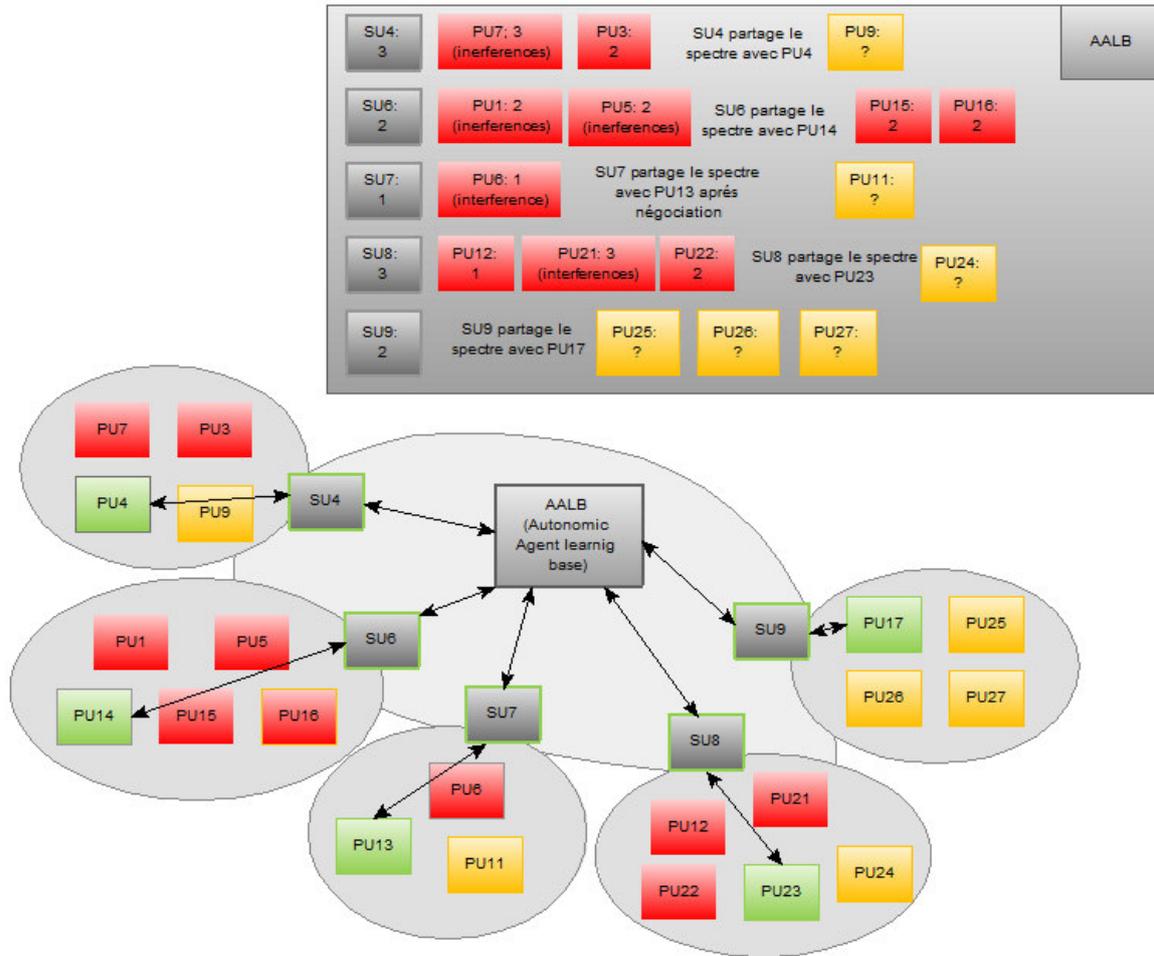


FIG 4.5 Deuxième étape de l’approche LBAA

III – 2 / Mode de fonctionnement de LBAA

Nous nous sommes inspirés de [49] pour représenter le mode de fonctionnement de LBAA. Dans un environnement d’agent cognitif les stimuli sont considérés comme des états mentaux puisque l’agent est délibératif plutôt que réactif est son comportement ainsi que sa prise de décision sont effectués d’une manière autonome. Dans la figure 4.6, les états mentaux détectés par le LBAA sont représentés par les agents SUs en besoin d’un nombre de canaux bien défini ; ensuite le trafic en prévenance des SUs sera contrôlé par le LBAA, pour ensuite être acheminé à la base de connaissance pour délibérer à savoir résonner sur la meilleur décision à prendre, tout en sauvegardent les besoins de chaque SU, les informations sur chaque PU et l’apprentissage sur les actions à fournir, dans l’étape de la prise de décision. Tous les SUs en besoin seront orientés vers des PUs compatibles à leurs demandes ou vers de nouveaux PUs et les SUs déjà servis par des PUs compatibles seront supprimés de la base d’apprentissage de façon autonome et suggérer leurs expériences (informations) à d’autres SUs en besoin.

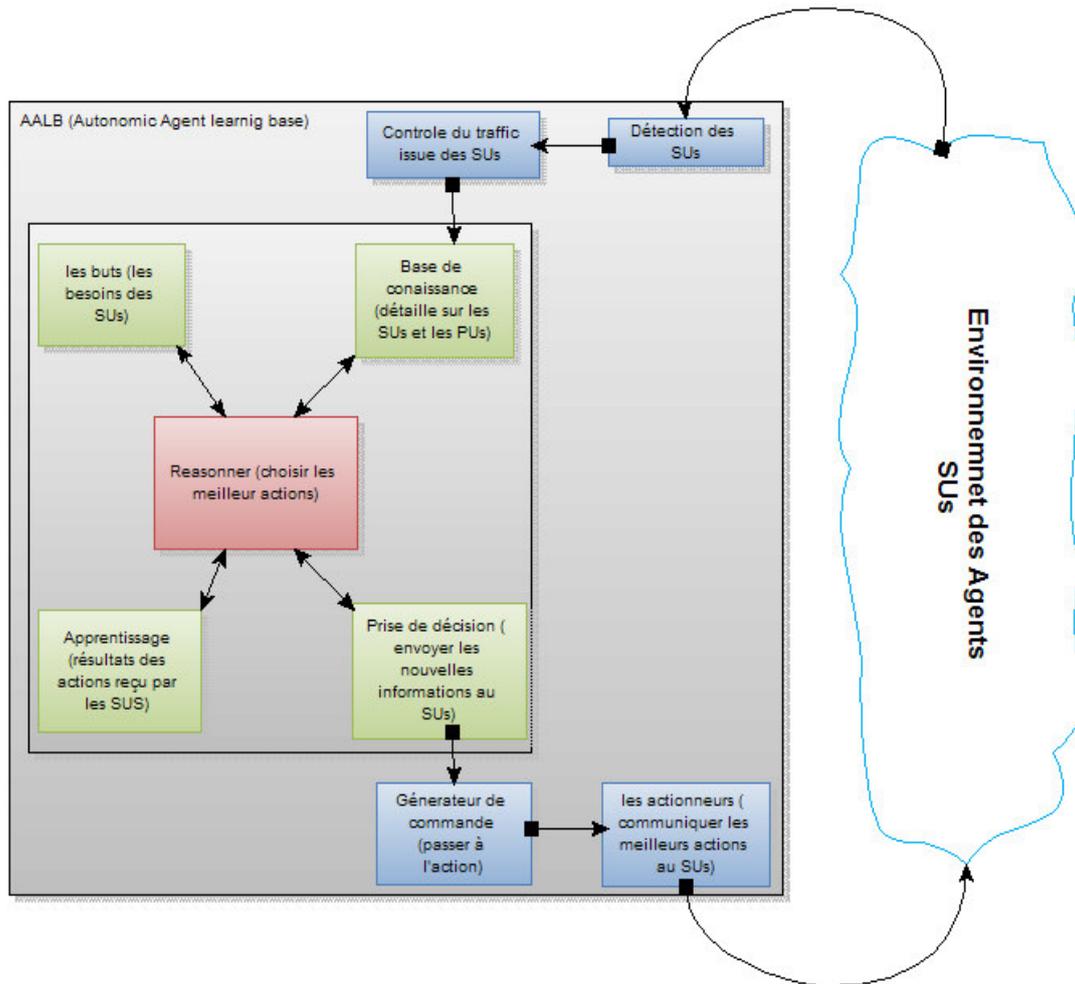


FIG 4.6 Mode de fonctionnement de l'approche LBAA

III – 3 / Automate fini ou FSM (Finite State Machine) d'un SU

Le Finite State Machine (FSM) (par traduction en anglais, machine avec un nombre fini d'états), est constitué d'un ensemble d'états et de transitions. Le comportement de ses états est généralement initié par un mot fourni en entrée : l'automate fini passe d'un état à un autre, à travers les transitions qui le caractérisent [50]. Les automates peuvent modéliser un grand nombre de problèmes, parmi lesquels on trouve : l'automatisation électronique, la conception de protocole de communication, l'analyse de la langue et d'autres applications d'ingénierie. En biologie et dans la recherche de l'intelligence artificielle, les FSM ou les hiérarchies de machines d'état, ont été utilisés pour décrire les systèmes neurologiques, et c'est le cas de notre étude.

La figure 4.7, représente les différents états de l'utilisateur secondaire à savoir l'état E0 où le SU est en mode arrêt, l'état E1 est l'état où le SU communique avec le LBAA pour lui demander de lui suggérer des canaux à partager avec un PU, l'état E2 est décrit lors de la communication

entre SU et PU pour un éventuel accord de partage de spectre et le dernier état E3 est celui où le SU partage le spectre avec PU.

Remarque : la transition d'un état à un autre sera par un élément contenant deux parties séparées par un slash (/). La première partie sera dédiée aux messages reçus et la deuxième partie est consacrée aux messages envoyés ; le message peut contenir des requêtes (de type request), des informations (de type inform), des acceptations de requêtes (de type ACK) ou des refus de requêtes (de type NACK) mais tous ces messages contiennent le nombre de canaux demandé ou suggérer et le nom de celui qui va suggérer ou partager ses canaux avec le SU.

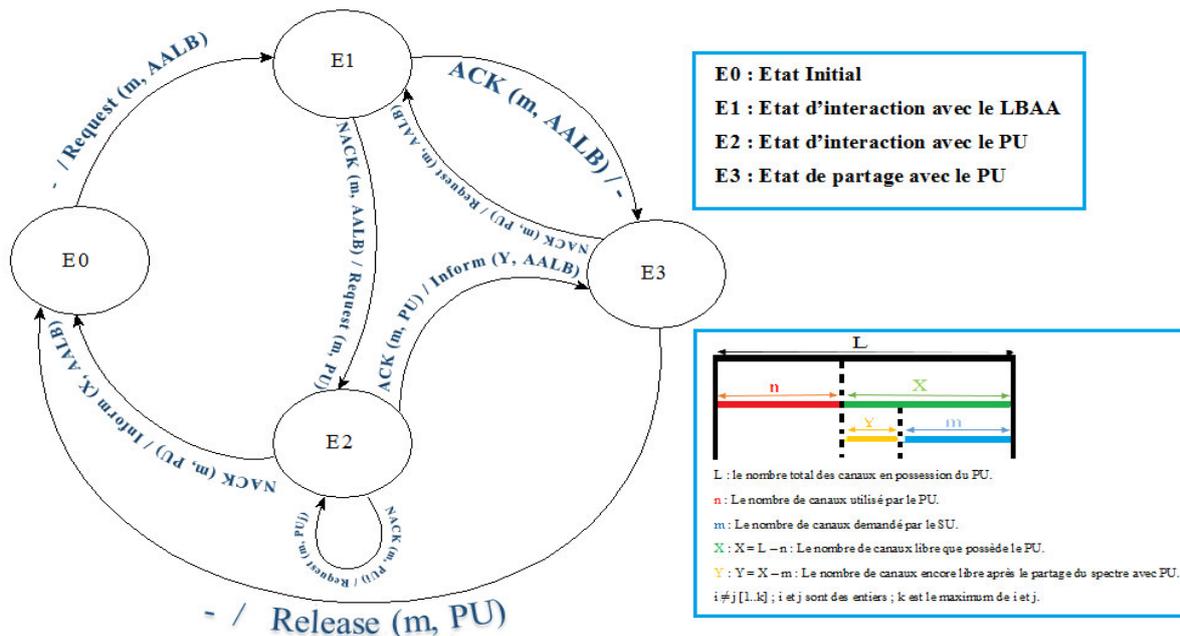


FIG 4.7 Automate fini d'un SU dans un environnement radio cognitif

La transition de l'état E0 à E1 représente la requête du SU de m canaux à suggérer par le LBAA (message Request) pour un PU en possession de ses canaux demandés, la transition de E1 à E2 représente le refus ou la non disposition d'information de LBAA du nombre de canaux demandé auprès du SU avec le message NACK, cette transition nous ramène à demander au PU directement s'il peut nous allouer m canaux. Si le PU accepte de partager le spectre avec le SU avec un message ACK, ça sera la transition de l'état E2 à E3 et le SU communique les Y canaux libres au LBAA pour être enregistré dans sa base d'apprentissage et suggérer plus tard pour d'autres SU en besoin, sinon le SU sera dirigé vers un autre PU (PU_j différent de PU_i) détecté dans son environnement radio et procède à la négociation de la même manière que dans la figure 4.1 et 4.2, cette transition se fait en boucle dans E2. La troisième transition de E2 est dans le cas où le SU n'a aucun PU qui veut partager le spectre avec lui et c'est la transition de E2 vers E0 avec un NACK des PUs, et ça sera un retour à l'état initial du SU. Par contre la

transition de E1 à E3 représente le cas où le LBAA accepte de suggérer un PU au SU répondant à ses exigences en terme de nombre de canaux par un ACK, et l'inverse de la transition de E3 à E1 représente le cas où le PU_i veut récupérer ses canaux d'où le retour du SU à l'état E1 pour demander une éventuelle suggestion du LBAA au SU par un NACK. Le dernier cas est la transition de l'état E3 à E0 qui se produit lorsque le SU veut libérer les canaux partagés de PU_i avec un message NACK au SU.

III – 4 / Architecture de l'approche LBAA

III 4 – 1 / Architecture proposés de l'autonomie dans les réseaux de radio cognitive

La figure 4.8, représente l'architecture autonome reliant le SU_i au LBAA par l'échange et le partage des informations issues du PU_j pour le SU_i et issue du SU_i pour le LBAA.

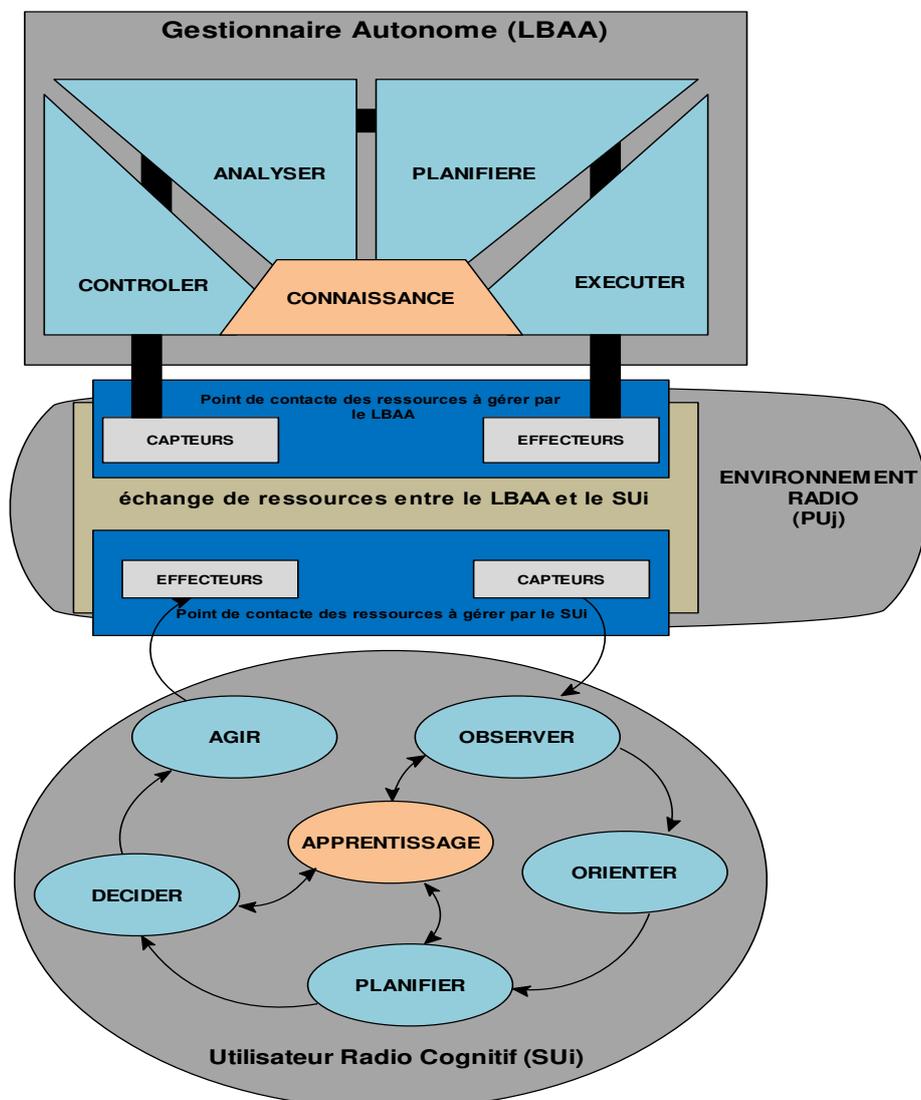


FIG 4.8 Architecture du gestionnaire autonome LBAA dans un réseau de radio cognitive

Comme nous l'avons expliqué précédemment (chapitre 2 et 3) sur le fonctionnement d'un utilisateur cognitif, le SUi va collecter les informations par l'analyse du flux de stimuli entrant à travers les capteurs de l'environnement radio dans la phase d'observation, le SUi rassemble toutes les expériences en se souvenant de tout (audio, e-mail, toutes les situations radio que quelqu'un pourrait expérimenter en une année occupe quelques centaines de giga-octets d'espace). Ces expériences sont perçues sensoriellement et détectées sur des utilisateurs primaires (PUj) pour le traitement des capteurs radiofréquences de la SDR et de la RC, la phase d'orientation permet de déterminer l'importance d'une observation en classifiant les informations collectées auparavant pour les stocker dans des mémoires à court ou à long terme selon le facteur d'importance de ces données. Ensuite dans la phase de planification le SUi va planifier avec le raisonnement de son apprentissage plusieurs plans de communications entre les utilisateurs et choisir le meilleur plan parmi les plans proposés pour partager le spectre avec un PU dans la phase de décision, enfin dans la phase d'action, le SUi va exécuter le plan choisi de partage de spectre en utilisant les effecteurs sélectionnés qui accèdent au monde extérieur ou aux états internes de la radio cognitive. La phase d'apprentissage regroupe toutes les étapes parcourus de l'utilisateur secondaire au profit d'une meilleure communication entre SUi et PUj.

Dans le gestionnaire autonome, le LBAA gère la collecte des informations, le filtrage et les rapports des données recueillies auprès de l'élément à gérer à partir de capteurs de l'environnement radio issues des ressources échangée entre le SUi et le LBAA. Il contrôle et analyse également, les modèles si nécessaire, et apprend à l'élément l'acquisition des connaissances. Cette connaissance pourra prévoir des demandes de suggestions pour des situations à venir pour d'autres SU en besoin. La partie de la planification va fournir une structure de mécanisme en besoin pour les actions qu'il faut atteindre dans le but et les objectifs seront à servir les utilisateurs cognitifs. L'exécution d'une partie du gestionnaire autonome fournit à l'architecture un contrôle harmonieux des commandes en cours. Il permettra d'établir si les commandes ont terminés leurs actions requises et de mettre à jours sa base de connaissance.

III 4 – 2 / Impacte de l'autonomie sur l'architecture réelle de notre approche

Pour mieux comprendre notre approche, nous avons essayé d'introduire une architecture basée sur des paramètres réels, nous avons vu précédemment que l'utilisateur secondaire cherche à partager le spectre avec l'utilisateur primaire soit par négociation directe avec le PU (1^{ère} approche) soit par inclusion d'une base d'apprentissage d'agent autonome (2^{ème} approche), Nous nous sommes inspirés de [40], pour représenter réellement une architecture capable de

s'auto gère dans un environnement radio. La figure 4.9 représente trois niveaux supérieurs des éléments autonomes tels que le gestionnaire des réseaux (résidant dans les domaines du réseau ou présent dans les couches de services comme un opérateur ou un serveur), le niveau de cognition ou les différents utilisateurs secondaires communiquent avec le LBAA qui leurs suggèrent des PUs approprié à leurs critères, dans le même contexte ces SUs communiquent à leurs tours avec les PUs à travers les fournisseurs primaires présentés dans le niveau réseau. Ces niveaux hiérarchisés ou plutôt structurés nous amène à comprendre le fonctionnement de notre approche malgré l'autonomie de ses individus.

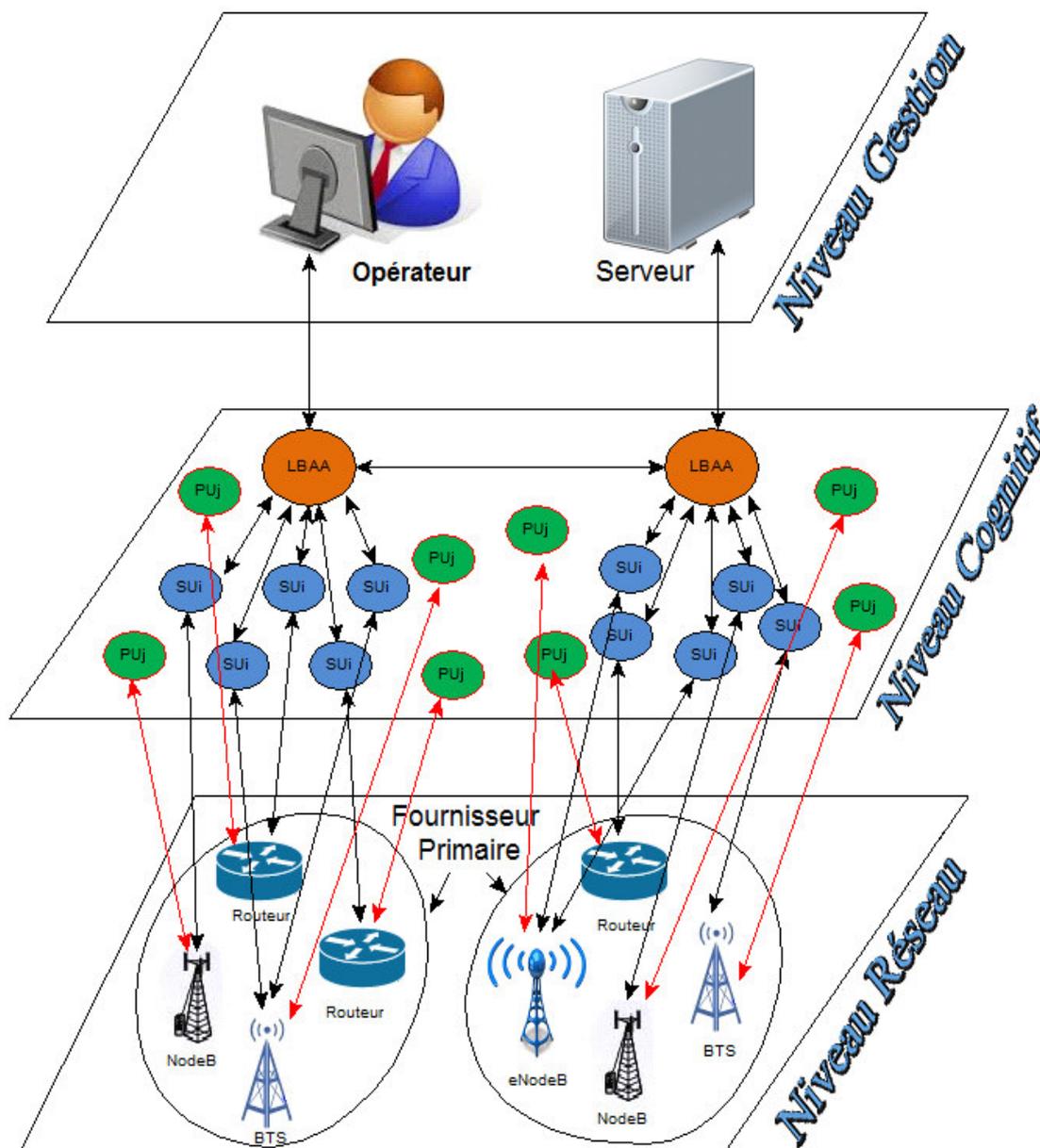


FIG 4.9 Architecture réelle d'un gestionnaire autonome réagissant avec un environnement cognitif

III – 5 / Diagramme de fonctionnement du LBAA

Dans notre approche, nous nous sommes intéressés au comportement autonome des utilisateurs secondaires vis-à-vis les utilisateurs primaires. La figure 4.10, permet au LBAA de mieux gérer l'autonomie de ses SUI en automatisant leurs connaissances et en mettant à jours leurs apprentissages à partir des évènements qui se sont produits à des instants donnés primitifs.

Contrairement à notre première approche, dans un environnement radio et à l'état initial, le SUI va commencer par consulter la base d'apprentissage autonome (LBAA) en lui demandant les m canaux requis à ses critères, tout en se livrant à son tour à ce dernier en lui communiquant les informations récoltées à partir des évènements précédents. Si le LBAA trouve les m canaux demandés dans sa base de données, le SUI sera dirigé vers le PUj compatible à ses exigences en termes de nombre de canaux. Dans ce cas-là le SUI se trouve en mode normal, est partagera le spectre avec PUj de la même manière que dans notre première approche, si par contre le LBAA ne trouve pas un PU compatible a notre SUI, ce dernier va procéder à détecter automatiquement les PUs voisins comme décrit dans la première approche. La différence dans cette approche c'est le désistement ou la récupération du PUj de ses canaux, ce qui induira le SUI en mode Avertissement pour négocier avec le PUj de libérer au moins un canal, la deuxième différence et dans le cas où le SUI veut libérer ses canaux (cas de mobilité par exemple), cette étape ramènera le SUI à l'état initial et métra le LBAA à jour avec les nouveaux changements.

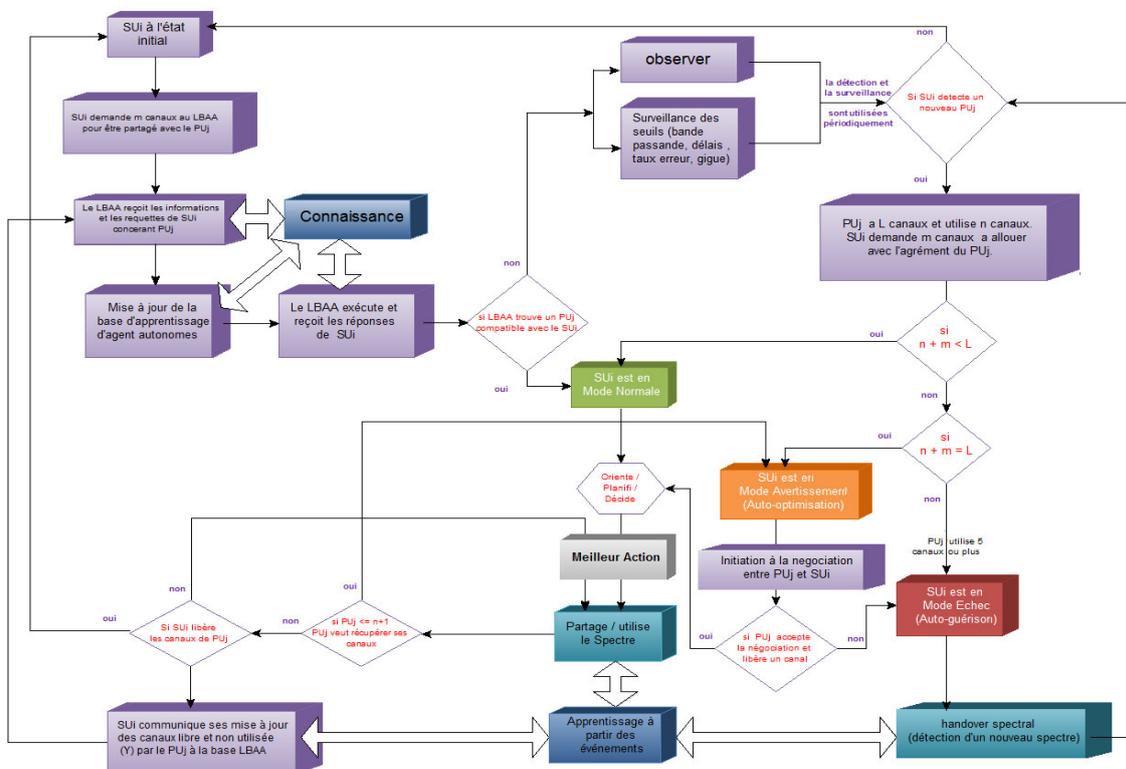


FIG 4.10 Diagramme de fonctionnement de l'approche LBAA

Remarque :

Les paramètres L, n, m, Y, i et j sont définis précédemment dans la figure 4.7.

III – 6 / Message Sequence Chart (MSC) d'un SU en communication

Un diagramme de séquence de messages (ou MSC) est un diagramme d'interaction de la famille SDL (Specification and Description Language) standardisée par l'UIT sous la référence Z.120 [51].

Le MSC (Message Sequence Chart) a pour objectif de formuler une interprétation spécifique et de bien décrire les interactions entre différents composants d'un système, entre eux ou avec leur environnement, à l'aide d'un ensemble de séquence de messages. L'utilisation de ce type de langage peut être déterminée en connexion avec d'autres langages pour supporter les méthodologies de spécification système, de documentation, de test, de conception, et de simulation.

Dans le cas de notre MSC, nous avons voulu étudier le cas d'une communication d'un SU_i avec PU_j soit directement soit en passant par la base LBAA en se basant sur notre deuxième approche, c'est trois facteurs (SU_i, PU_j et LBAA) seront les instances utilisées le long de cette étude des MSC. Le MSC globale sera nommé par SU_i_communications, il sera divisé en plusieurs MSC et chaque MSC contiendra des sous-msc dérivant du MSC d'avant, par exemple le MSC M aura Le sous-msc A comme son dérivé, et le sous-msc A2 comme son deuxième dérivé jusqu'à A21 et A22. Comme le montre la figure 4.11.

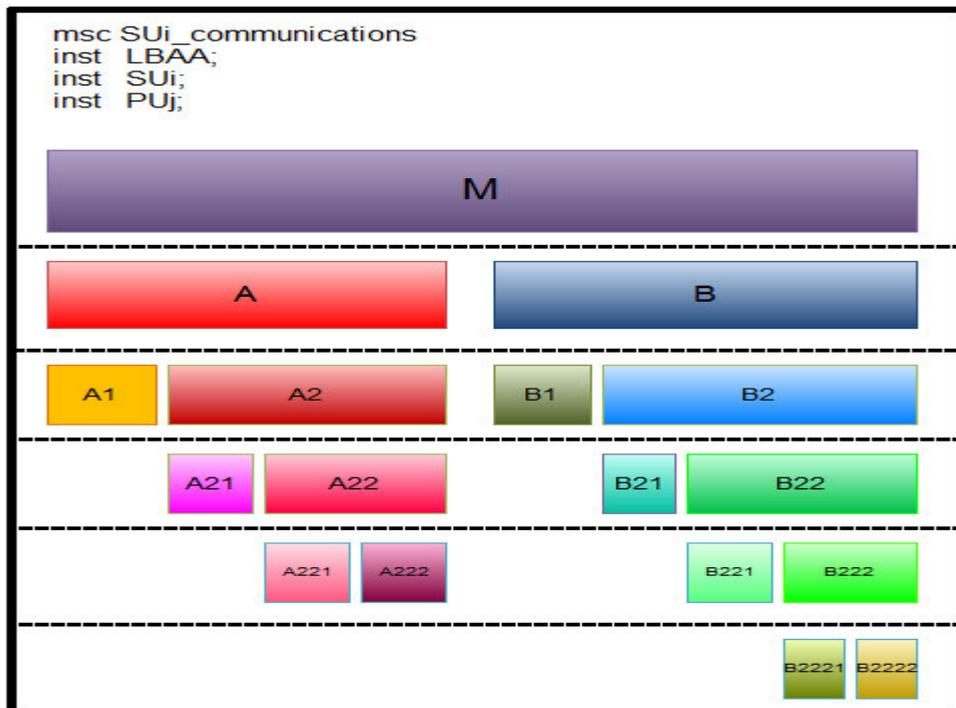


FIG 4.11 Globale MSC des communications de SUi

La figure 4.12 permettra de mieux comprendre chaque instruction et chaque composant du diagramme de séquence de messages MSC, consacré totalement à la conception de notre deuxième approche du LBAA en interaction avec le SUI pour chercher un PUj compatible.

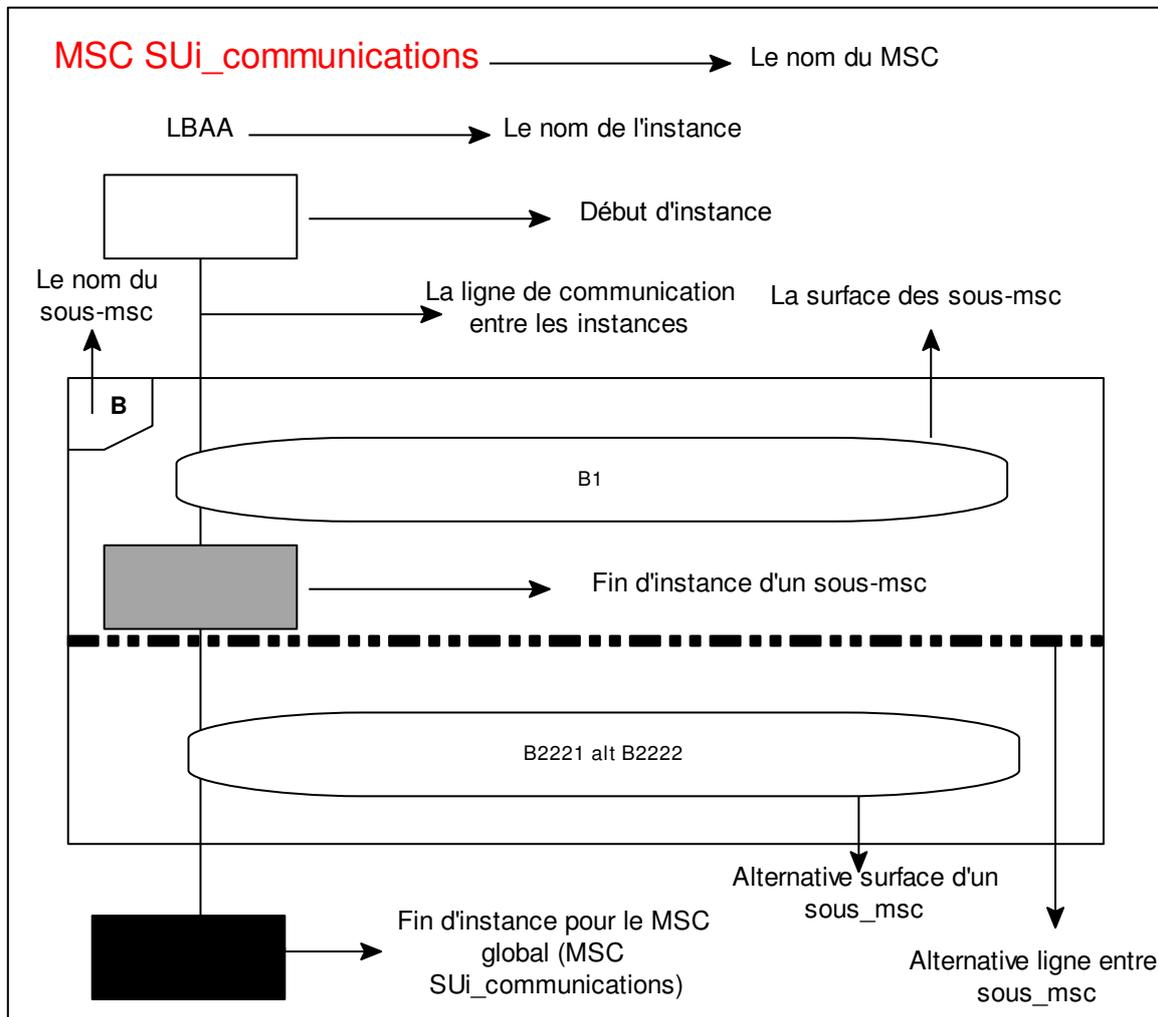


FIG 4.12 Explication des composants d'un MSC

Notre prochain diagramme de séquence sera dédié au MSC SUI_communications, dont lequel les MSC ou sous-msc seront séparés par des lignes alternatives, les surfaces des sous-msc peuvent être remplacées par des alternatives de surfaces pour décrire la dernière dérivation d'une ligne de sous-msc comme par exemple les sous-msc A22 et B222 qui seront remplacés par A221 et A222 pour A22, et B2221 et B2222 pour le sous-msc B222. La figure 4.13 englobera ses MSC et sous-msc dans un seul diagramme et chaque MSC ou sous-msc sera détaillée plus loin dans ce chapitre.

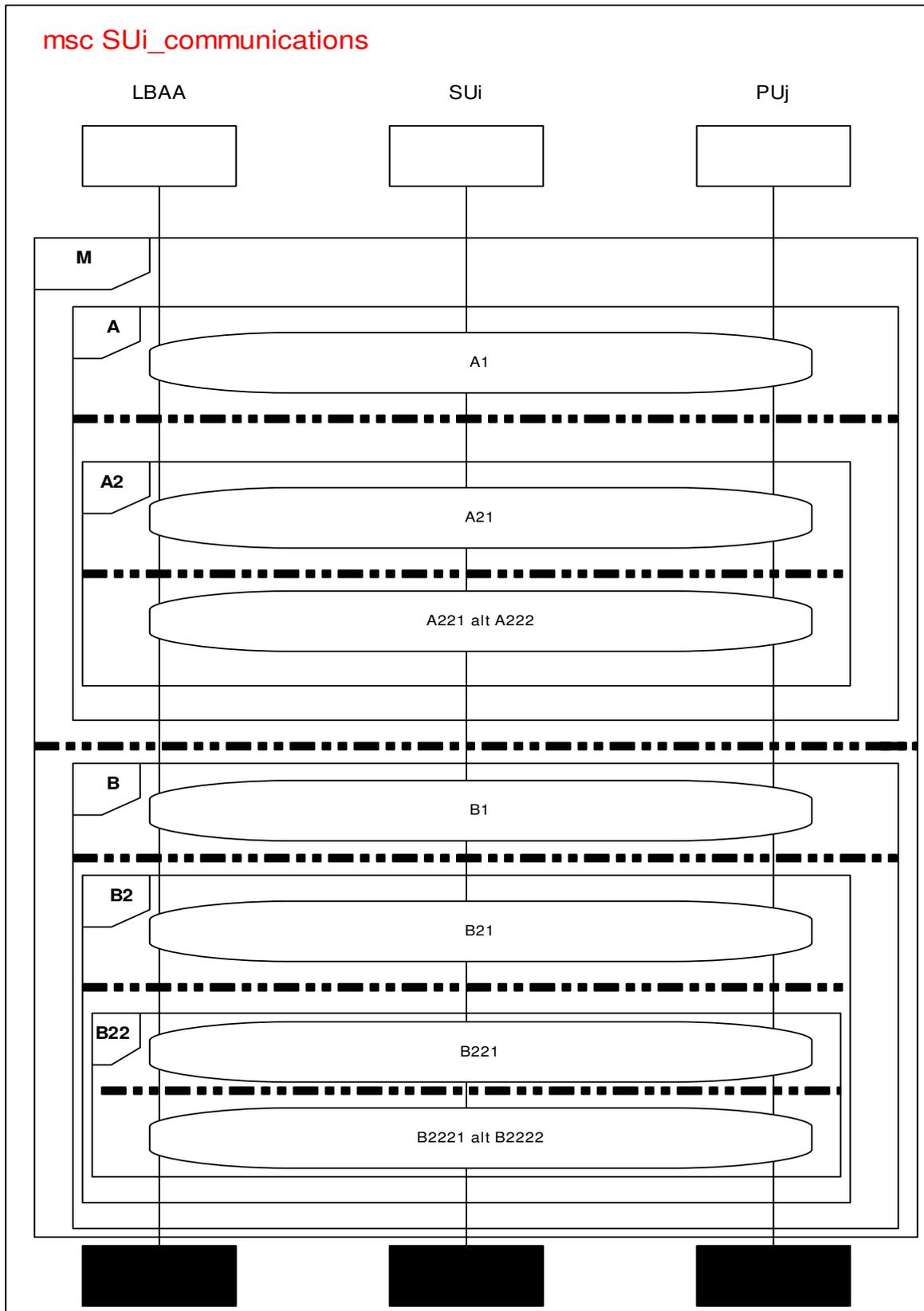


FIG 4.13 Diagramme de séquence pour le MSC globale

Dans le premier diagramme de séquence de messages (msc M) (voir figure 4.14), l'instance SUI va envoyer une requête au LBAA pour lui demander une suggestion d'un PUj en possession de m canaux libres à partager. Dans ce cas-là, deux sous-msc seront traités en alternative (A alt B) : le premier sous-msc se produit lorsque le LBAA propose un PUj compatible à SUI, ce qui amène le SUI à partager le spectre avec PUj et en même temps informer le LBAA de ses mises à jour et le nombre de canaux libres que possède le PUj. En alternance avec le premier cas, le deuxième cas se produit lorsque le LBAA cette fois n'a pas de PUj compatible à suggérer ou à proposer à SUI ce qui mènera ce dernier à chercher un PUj différent avec j entier [1...k].

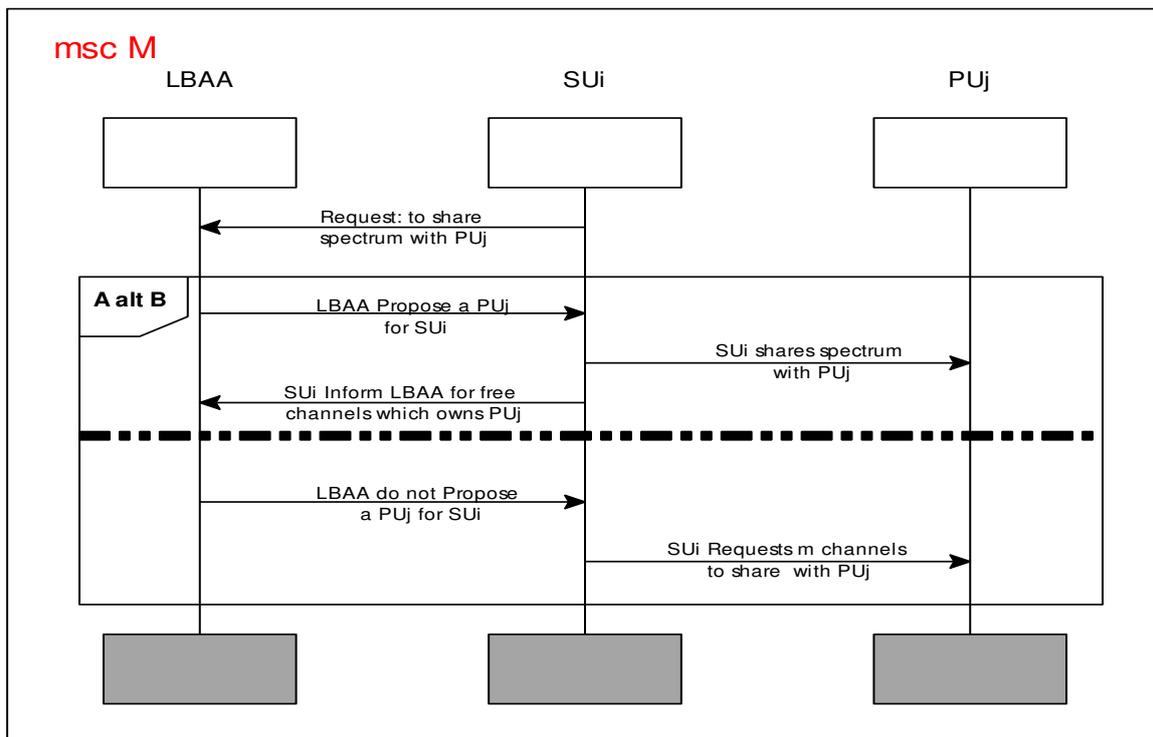


FIG 4.14 Diagramme de séquence de messages pour le MSC M

Nous allons détailler le déroulement des communications de SUI en premier lieu par l'alignement coté msc A, ensuite en va passer au msc B et ses dérivés.

III 6 - 1/ Première alignement du MSC coté A

La figure 4.15, représente la communication de SUI dont le cas où le LBAA a proposé un PUj compatible d'une manière autonome sans faire recours à la négociation directe avec les PUs. Ce msc A est à son tour alterné par deux cas possible, le premier cas (msc A1) se produit lorsque le partage entre SUI et PUj ne soit altérer ni par le PUj ni par le SUI lui-même. Le deuxième cas (msc A2) se produit si le PUj veut récupérer ses canaux forcent le SUI à se retirer et libérer les canaux allouée auparavant, ce qui induira le SUI à informer la base LBAA et à lui demander à nouveau un autre PUj compatible à ses critères de partage.

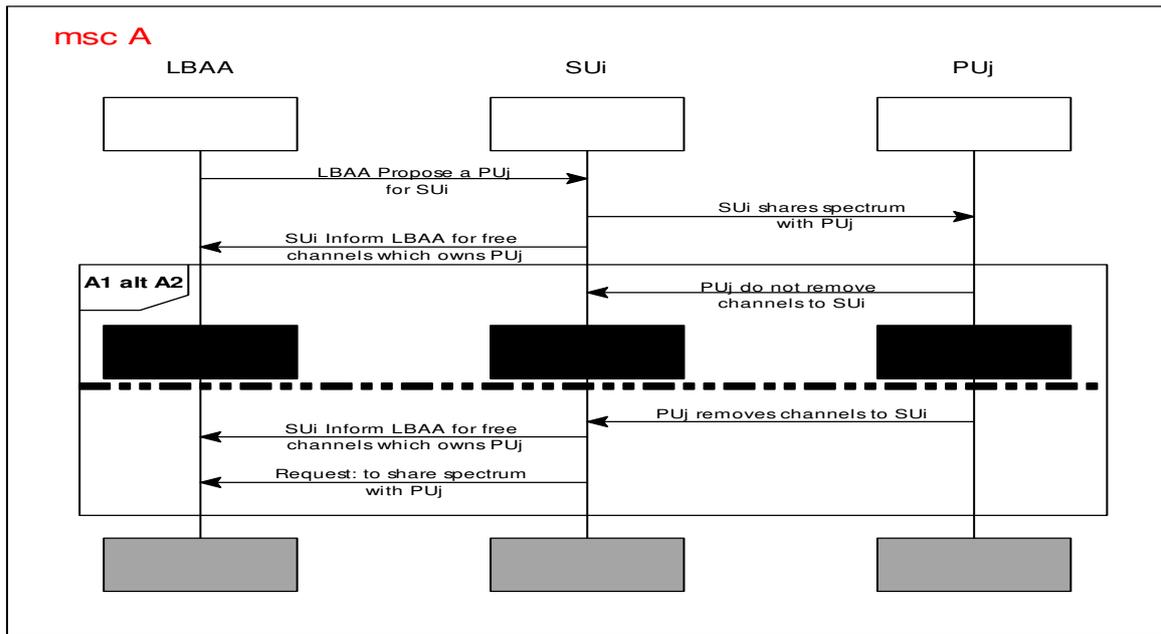


FIG 4.15 Diagramme de séquence de messages pour le MSC A

Dans le même alignement que le msc A, la figure 4.16 représente la communication de SUi du diagramme de séquence msc A2. Après avoir été forcé à libérer les canaux, le SUi demande à nouveau au LBAA de lui suggérer un autre PUj, comme on a l'habitude de voir le msc-A2 sera distinguer par deux sous-msc ; soit par le sous-msc A21, permettons au SUi de partager le spectre avec un nouveau PUj proposé par le LBAA ; soit par le sous-msc A22, qui provoquera la non disponibilité d'un nouveau PUj compatible au SUi. Ce qui lancera le SUi à chercher automatiquement d'autres PUs négociables avec le SUi.

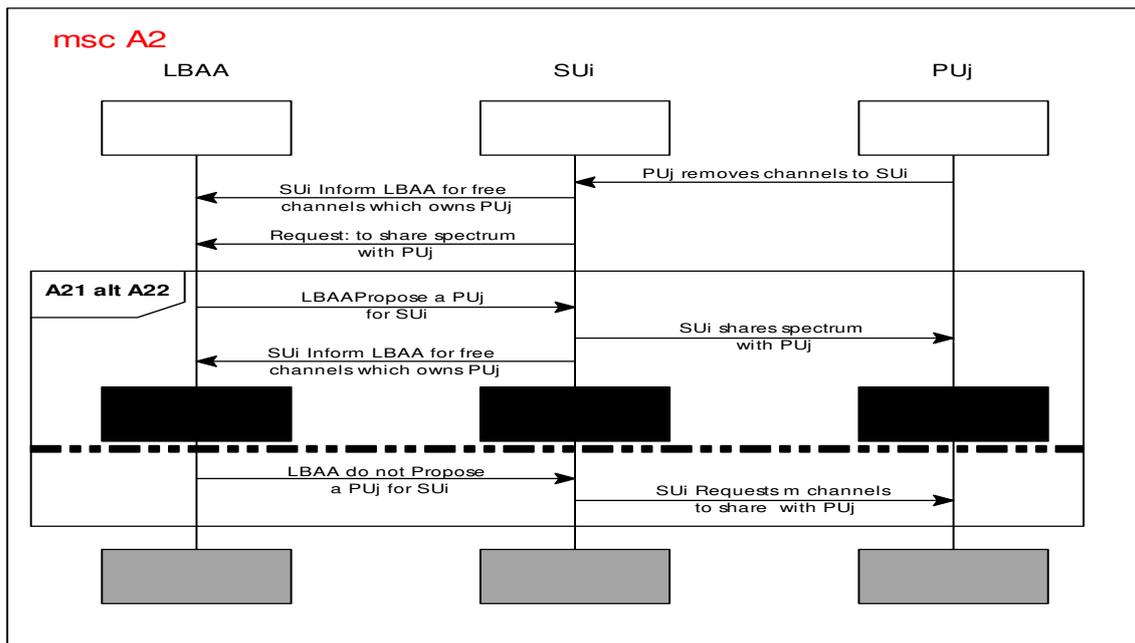


FIG 4.16 Diagramme de séquence de messages pour le MSC A2

Dans le msc A22, le SUI va envoyer une requête à un autre PUj comme nous le voyons dans la figure 4.17, cet utilisateur primaire va soit accepter la requête de SUI et partager le spectre avec lui est ça sera le cas du sous-msc A221, soit refuser la demande de SUI pour non disponibilité des canaux libres demandés par ce dernier (sous-msc A222). Dans les deux cas le SUI va informer le LBAA de ses nouveaux changements.

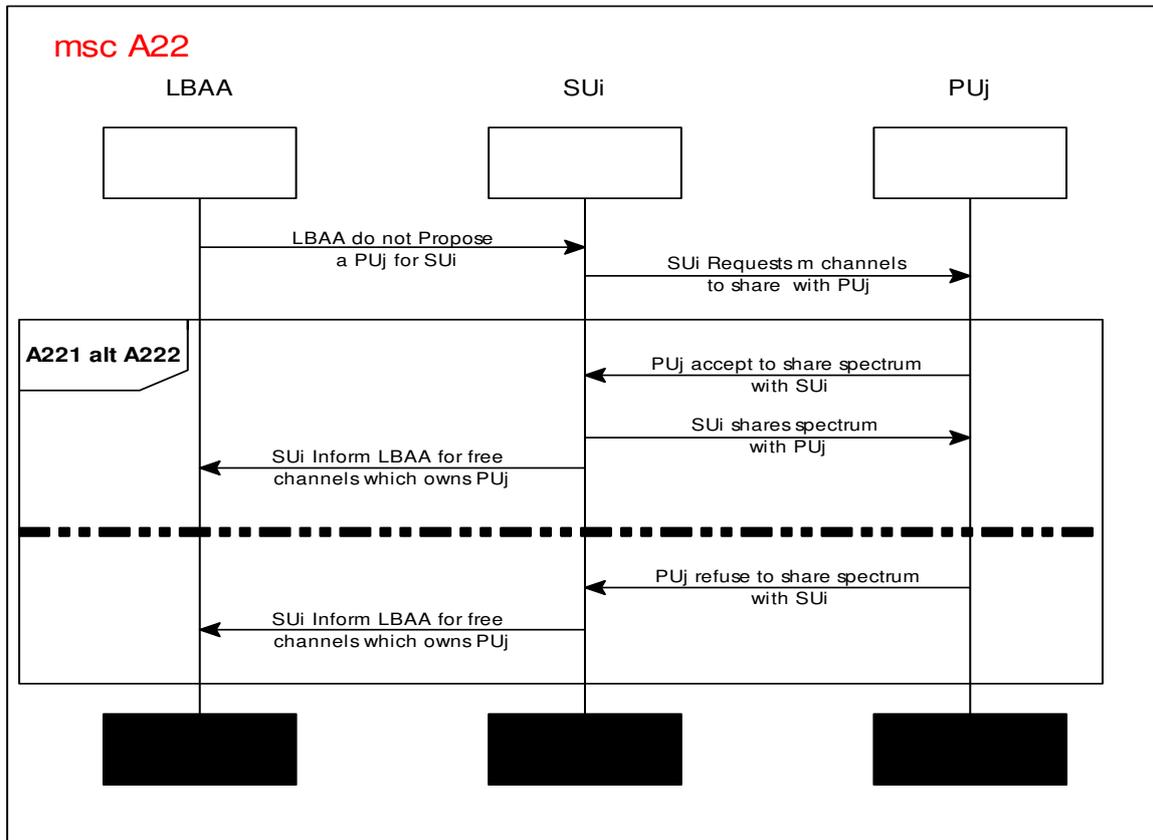


FIG 4.17 Diagramme de séquence de messages pour le MSC A22

III 6 - 2/ Deuxième alignement du MSC coté B

Le deuxième alignement des MSC est celui de B, ce dernier est produit dans le cas où le LBAA n'a pas de PUj à suggérer. La figure 4.18 nous donne plus de détail sur cette phase, puisque le SUI va détecter d'autres PUj et négocier d'allouer les canaux espérer. Comme vu auparavant le msc B sera alterné par deux sous-msc, le sous-msc B1 se produit lorsque le PUj refuse de partager le spectre avec SUI ce qui induira le SUI à informer la base des nouveaux changements, par contre le deuxième scénario se produit lorsque le PUj accepte de partager le spectre avec SUI est c'est le cas du sous-msc B2. Dans ce cas-là le SUI communique au LBAA ses informations et ceux du PUj pour être utilisé ou suggérer a d'autres SUs en besoins.

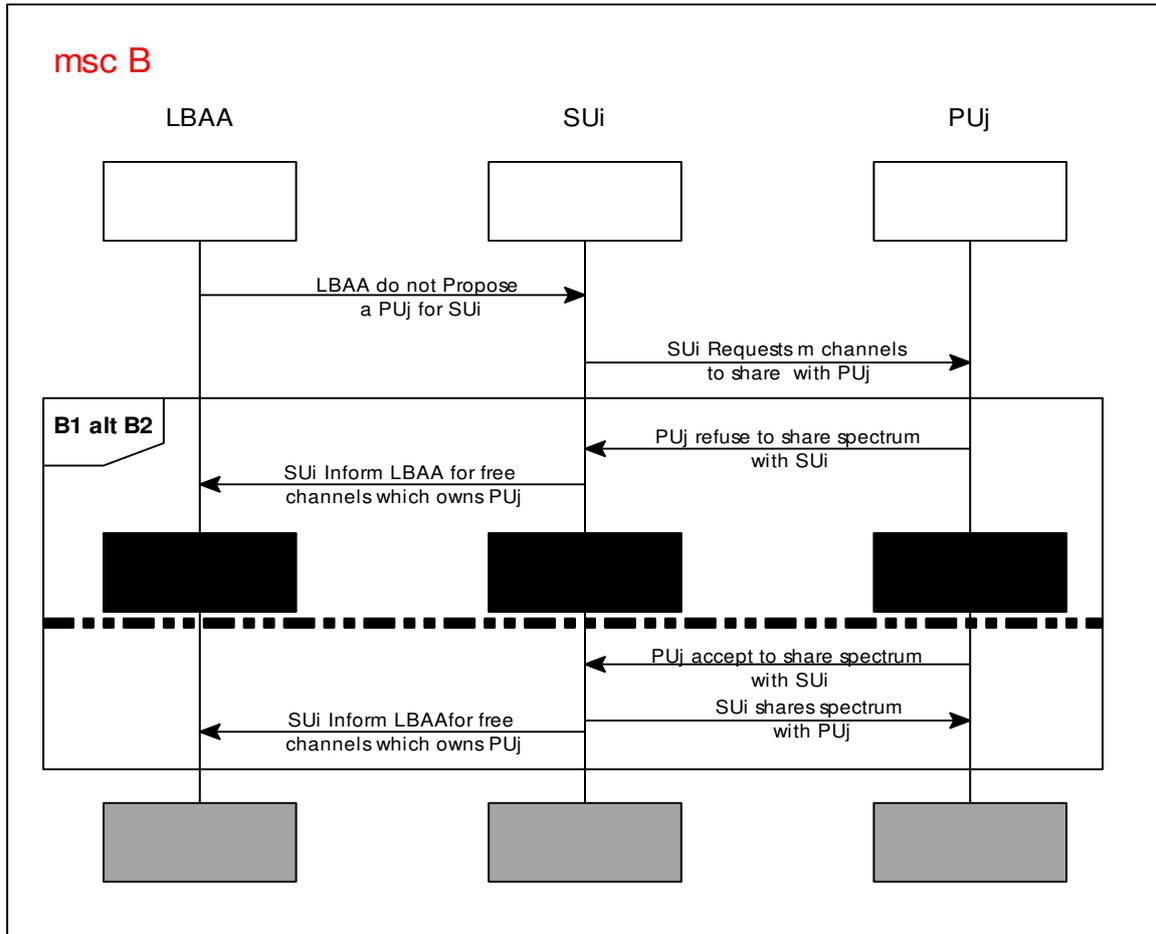


FIG 4.18 Diagramme de séquence de messages pour le MSC B

Les figures 4.19, 4.20 et 4.21 représentent les MSC de B2, B22, et B222 respectivement. Ces trois MSC ont la particularité d’être similaire que les MSC de A, A2, et A22. Après avoir accepté de partager le spectre avec SUi, le PUj à un instant donné veut récupérer ses canaux ce qui conduira le SUi après échec de négociation de soit se retirer et d’informer le LBAA (le cas du sous-msc B22) soit de continuer à partager le spectre avec lui (sous-msc B21). Le premier cas de l’échec va mener le SUi à demander une deuxième fois au LBAA de lui proposer un autre PUj compatible et ça réponse sera soit favorable (le cas sous-msc B221) soit non-favorable (le cas sous-msc B222). Et en dernier lieu, c’est le cas où le SUi détecte et demande à un nouveau PUj de lui allouer m canaux, si le PUj accepte ça sera le cas du sous-msc B2221 sinon, c’est le sous-msc B2222.

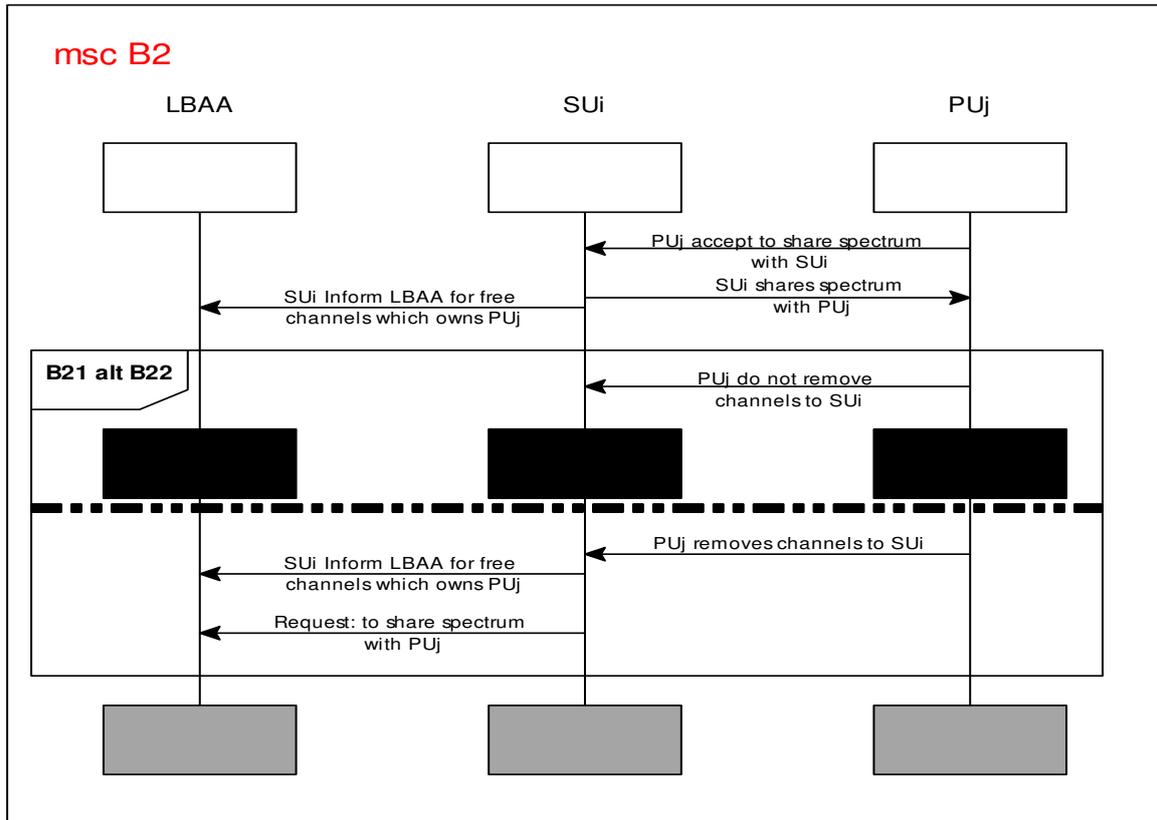


FIG 4.19 Diagramme de séquence de messages pour le MSC B2

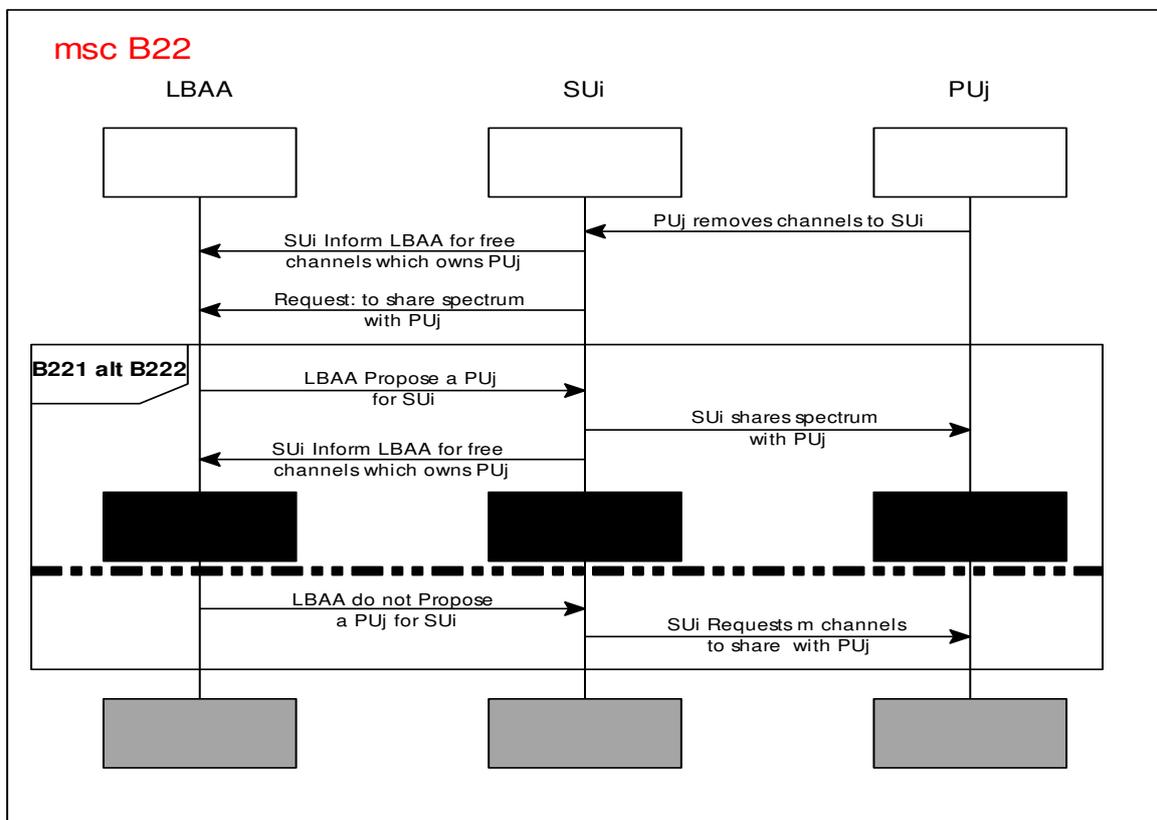


FIG 4.20 Diagramme de séquence de messages pour le MSC B22

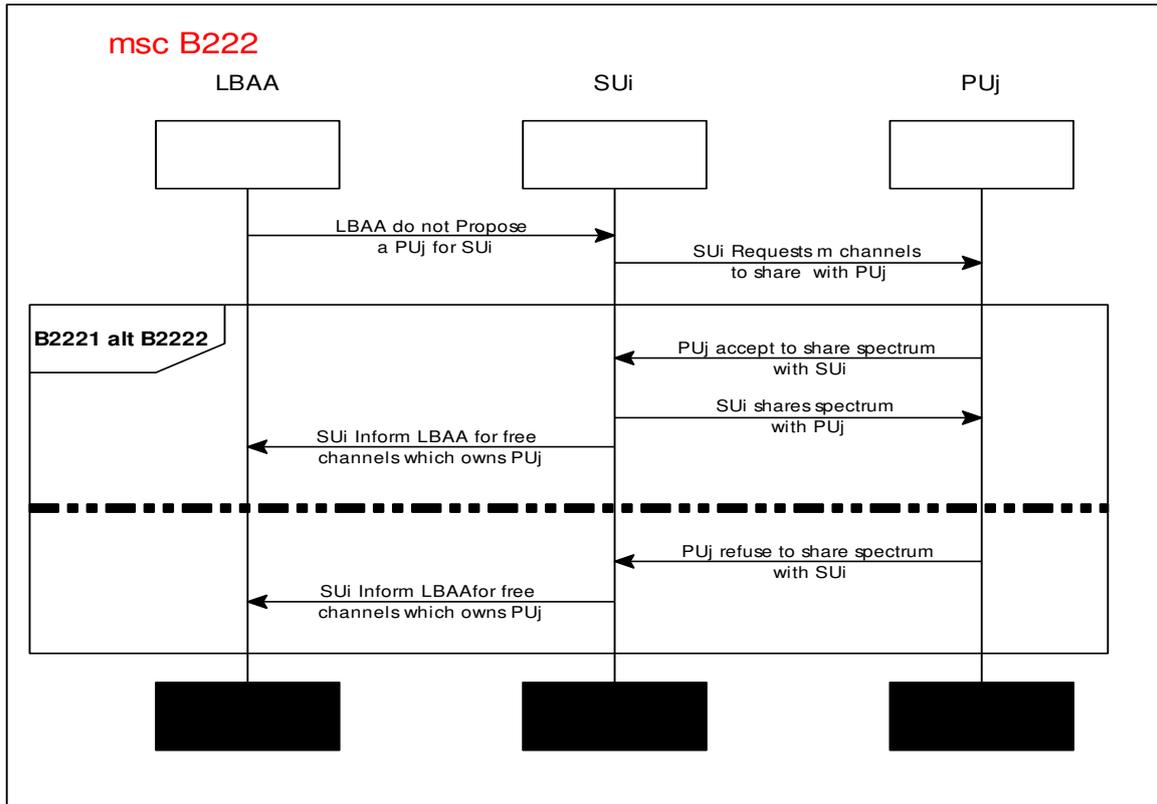


FIG 4.21 Diagramme de séquence de messages pour le MSC B222

IV – Conclusion

Dans ce chapitre nous avons évoqué deux contributions complémentaires de l'autonomie dans les réseaux de radio cognitive, l'une permet une auto-optimisation et une auto-guérison du système cognitif par la négociation entre les utilisateurs primaires (PUs) et les utilisateurs de radio cognitive (SUs), cette étape à permet à l'utilisateur secondaire d'être plus exigeant en terme de QoS et plus autonome dans ses prises de décisions. La deuxième contribution permet la généralisation de la première approche en introduisant une base d'apprentissage d'agent autonome capable de s'auto-gérer et de gérer les utilisateurs secondaires dans un environnement cognitif, cette base LBAA a pour but de suggérer au SUs un fonctionnement harmonieux et sans interférences avec les SUs voisins.

Dans le prochain et dernier chapitre, nous allons voir les résultats de simulations de ses deux approches et comparer leurs résultats entres différents types de transmissions pour les critères exigés de la qualité de service, avec et sans l'introduction de ses mécanismes.

CHAPITRE V

Evaluation des contributions
proposées pour la gestion
autonome dans le contexte
d'un réseau de radio cognitive

Sommaire

I – Introduction.....	112
II – Environnement de simulation	112
III – Simulations et résultats de la première contribution	113
III – 1 / Simulation de la première contribution	113
III – 2 / Résultats de simulations de la première contribution.....	115
III 2 - 1/ Résultats de comparaison du premier axe.....	116
III 2 – 2/ Interprétation des résultats du premier axe	121
III 2 - 3/ Résultats de comparaison du deuxième axe.....	121
III 2 – 2/ Interprétation des résultats du deuxième axe	125
III – 3 / Simulation de la deuxième contribution.....	126
III 3 - 1 / Algorithme de l'approche LBAA pour une suggestion de PUs aux SUs.....	127
III – 4 / Résultats de simulations de la deuxième contribution	129
III – 5 / Interprétation des résultats de la deuxième contribution.....	135
III – 6 / Comparaison des résultats de simulations entre les deux contributions.....	136
III – 7 / Interprétation de la comparaison entre les résultats des deux contributions...	137
IV – Conclusion	138

I – Introduction

Dans les réseaux de radio cognitive, l'adaptation autonome est devenue un principal atout à la gestion dynamique du spectre radio. Les mécanismes proposés dans le chapitre précédent, ont permis d'élargir le concept de l'apprentissage de l'environnement en fixant des contraintes et des objectifs communs, adaptables à nos visions des réseaux de futures générations. Ces mécanismes sont considérés comme des solutions qui vont révolutionner le besoin de la radio cognitive pour les exigences demandées en terme de qualité de service.

Dans ce chapitre nous allons voir les résultats de simulations (avec la plateforme JADE (Java Agent DEvelopment)) des deux approches proposées dans la partie contribution et comparer ses résultats selon plusieurs critères à savoir la qualité de service, les types de transmissions, le type de négociation ou suggestion et le nombre d'interférences pour différents mécanismes.

II – Environnement de simulation

Le système multi-agent (SMA) est comme son nom l'indique est un système représenté par un ensemble d'agents, interagissant dans un certain environnement et selon certaines relations. Un agent est défini comme une entité, engendré plus au moins par la caractéristique partielle d'autonomie. Cet agent peut représenter un processus, un robot, ou un être humain. Faisant l'objet de recherches en intelligence artificielle distribuée, ses systèmes multi-agents représentent des types intéressants de modélisations de sociétés, et une large gamme d'applications, allant jusqu'au fonctionnement d'un cerveau humaine.

Le système multi-agent est basé sur cinq critères qui consistent à ce que :

1. La planification et la prise de décisions doivent être disponibles pour chaque agent
2. Un modèle d'aspect cognitif doit être disponible pour les agents.
3. L'ensemble d'agents se contacteront par un système de communication.
4. L'adaptation, qui est considérée comme un sujet épineux sera étudié dans l'aspect de la problématique.
5. Les systèmes multi-agents doivent être dotés d'une implémentation effective.

Nous avons vu dans le chapitre 2, les différents langages de la radio cognitive, à savoir : le Knowledge Query and Manipulation Language (KQML) (voir tableau 2.1). Plusieurs langages spécialisés ont vu le jour à cette fin, et plus récemment, le standard FIPA-ACL (ACL pour Agent Communication Language) créé par la Foundation for Intelligent Physical Agents FIPA. Ce dernier standard repose en particulier sur la théorie des actes de langage.

Parmi toutes les Plateformes de développement de systèmes multi-agents disponibles, nous avons choisi de travailler avec la plateforme JADE (Java Agent DEvelopment) qui est un

framework de développement des systèmes multi-agents, open-source et basé sur le langage Java (Voir Annexe). Il offre en particulier un support avancé de la norme FIPA-ACL, ainsi que des outils de validation syntaxique des messages entre agents basés sur les ontologies. [52]

Les deux contributions décrites dans le chapitre précédent sont fortement conçues pour voir le comportement adaptatifs des systèmes de radio cognitive à l'aide d'agents autonomes capables d'interagir avec leurs environnements radio.

Remarque :

Dans la partie simulations, les agents représentés dans la plateforme JADE sont de trois types : des utilisateurs primaires, des utilisateurs secondaires ou de la base autonome LBAA.

III – Simulations et résultats de la première contribution

Nous avons simulé notre première approche sur un processeur Intel (R) Core (TM) i7-2600CPU 3,70 GHz avec 8 Go de RAM et avec le système d'exploitation Windows, version 7, Edition Intégrale 64 bits, Carte mère GIGABYTE et une carte graphique NVIDIA GeForce GTX650. La simulation a été faite sous NetBeans IDE 8.0 (Integrated Development Environment) avec la plateforme JADE incluent tous les composants qui contrôlent les SMA. Ces composants comme Sniffer Agent (SA), et l'interface RMI (Remote Method Invocation) utilisée dans la plateforme JADE seront détaillés dans la partie Annexe.

III – 1 / Simulation de la première contribution

Dans cette première partie de simulation, nous avons choisis de définir un agent cognitif pour l'utilisateur secondaire nommé SU, et huit agents d'utilisateurs primaires nommés PU1 à PU8 qui seront détectés par le SU. Cet agent SU va communiquer avec chaque PU consécutivement jusqu'à ce qu'il trouve un PU compatible à ces exigences sinon il changera de spectre (c'est-à-dire de PU) chaque fois qu'il aura un échec de négociation avec ce dernier.

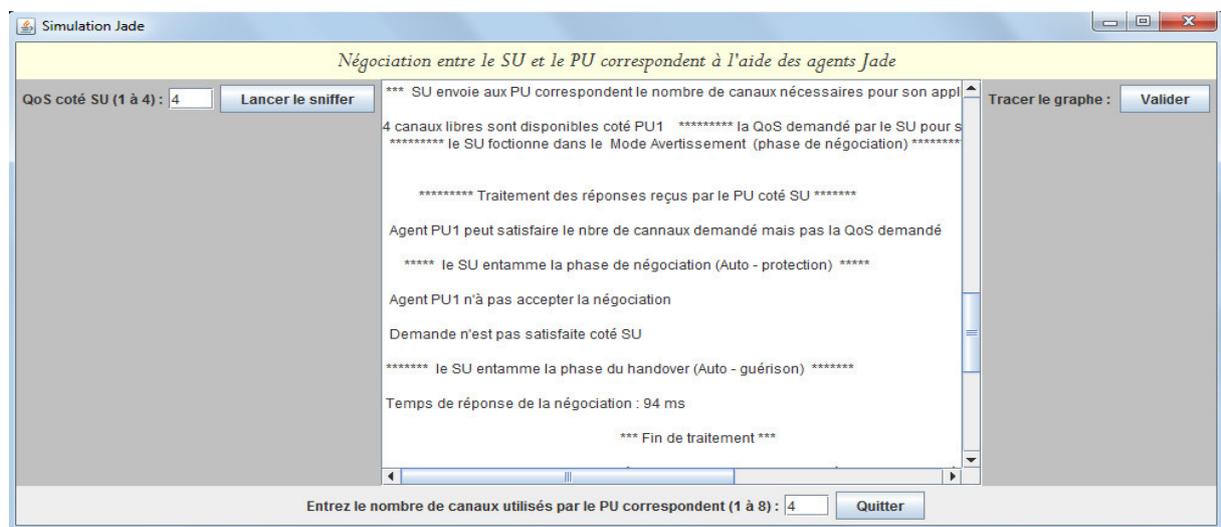


FIG 5.1 Interface de simulation JADE de notre approche

L'interface de simulation de notre approche est représentée dans la figure 5.1, décrite dans le chapitre 4 et basée sur le nombre de canaux que possède les PUs supposé à 8 et le nombre de canaux des quatre types de transmission demandés par le SU à savoir la voix par le nombre 1, l'email par le nombre 2, le nombre 3 pour le transfert des fichiers et comme l'exemple pris dans la figure 5.1, le nombre 4 pour la vidéo conférence.

Dans cette interface nous avons pris l'exemple où PU1 utilise 4 canaux parmi les 8 canaux disponibles, et le SU demande d'assurer la QoS de la vidéo conférence, l'interface de l'agent sniffer permet de voir le comportement de l'agent SU qui est en négociation avec les agents PUs. Comme le montre la figure 5.2.

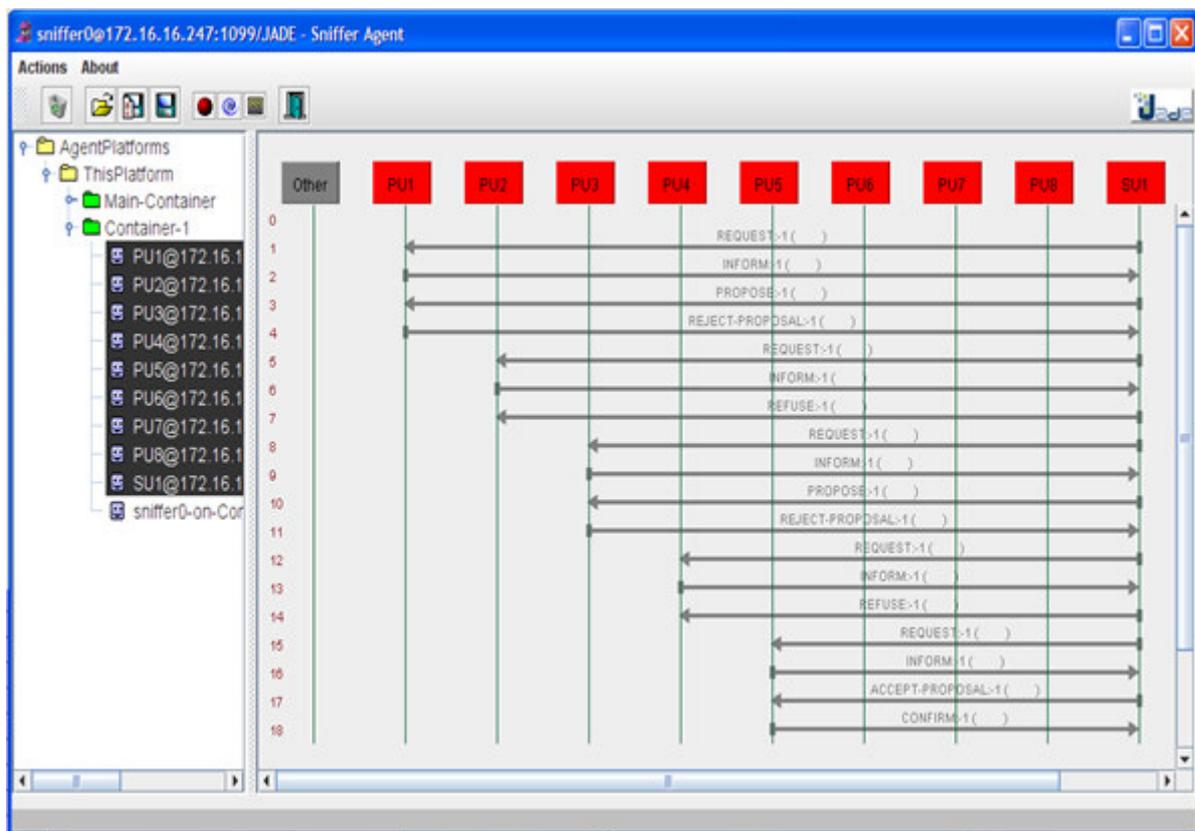


FIG 5.2 Exemple de négociation entre SU1 et les PUs avec l'Agent Sniffer

Dans la figure 5.2, l'agent SU demande à l'agent PU1 en premier lieu de lui assurer le nombre de canaux et la qualité de service demandée mais le PU1 informe avec un message ACL qu'il peut assurer le nombre de canaux demandés mais pas la qualité de service vu qu'il a que 8 canaux. Donc le SU va entamer la phase de négociation avec le PU1 pour libérer au minimum un canal (PU1 occupe initialement 4 canaux), mais le PU1 refuse la négociation donc le SU va directement faire un changement de spectre et détecter un nouvel utilisateur primaire (PU2), qui va entamer les mêmes procédures avec lui et qui va de même refuser de partager le spectre avec le SU puisqu'il n'a même pas le nombre de canaux demandés. De la même manière avec PU3

et PU4 qui vont refuser l'allocation de canaux respectivement. C'est PU5 qui va accepter le partage du spectre avec le SU puisqu'il permet d'assurer le nombre de canaux ainsi que la QoS demandée par le SU.

Remarque :

Pour mieux voir le comportement des agents autonomes nous supposons à chaque tentative que le premier PU à détecter (PU1 dans notre exemple) utilisera avec le SU les 8 canaux pour voir la réponse de PU1 après négociation, les autres PUs (de 2 à 8) choisiront seuls et d'une façon autonome, le nombre de canaux à utiliser (de 0 à 8) et même la prise de décision de négociation se fait de manière totalement autonome.

III – 2 / Résultats de simulations de la première contribution

A travers le tableau 4.1 (voir chapitre 4), nous avons choisi que le SU exige un canal pour la voix, deux canaux pour l'e-mail, trois canaux pour le transfert des fichiers et quatre canaux pour la vidéo conférence et au moins un canal libre entre le PU et le SU pour assurer la QoS et éviter les interférences entre les données.

Nous avons choisi de comparer les résultats trouvés par plusieurs tentatives de communication entre le SU et les 8 PUs détectés par rapport à deux axes :

- Le premier axe est dédié à la comparaison de la QoS entre les quatre types de transmission cités en haut pour la négociation entre le SU et les différents PU.
- Le deuxième axe permet de comparer le partage du spectre entre le SU et les PUs correspondants avec et sans négociation pour le cas de la vidéo conférence.

Remarque :

Les exigences de la QoS de la vidéo-conférence sont décrites dans les réseaux Cisco, un réseau créé initialement pour la ville de San Francisco aux Etats Unis d'Amérique.

Il existe deux principaux types de trafic vidéo : vidéo-interactive (vidéoconférence) et le streaming vidéo (à la fois unicast et multicast). Nous nous sommes intéressés à étudier la vidéo interactive avec les trois autres types de transmission cités auparavant.

Lors du provisionnement de la vidéo-interactive (vidéoconférence), les lignes directrices suivantes sont recommandées :

- Le taux de perte ne devrait pas être supérieur à 1 %.
- Aller simple de la latence (le délai d'attente pour une transmission) ne devrait pas être supérieur à 150 ms.
- La gigue ne devrait pas être aussi supérieure à 30 ms [53].

III 2 - 1/ Résultats de comparaison du premier axe

La figure 5.3, nous montre la comparaison du temps de réponse (en ms) de la négociation des quatre types de transmission pour le partage du spectre, avec les utilisateurs primaires (PUs) sur 10 tentatives de communication. Sachant que chaque tentative, se déroulera de la même manière comme indiqué dans la figure 5.2. Les résultats trouvés, nous amène à dire que l'utilisateur de radio cognitive en bleu et en rouge pour la voix et l'email respectivement, sont meilleur en temps de réponse pour les dix tentatives par rapport aux autres. Avec un temps de réponse qui varie entre 30 et 110 ms. Alors que l'utilisateur secondaire pour le transfert des fichiers en vert et la vidéo conférence en violé sont assez irrégulier au niveau du temps de réponse (varient de 31 à au-dessus de 228 ms, surtout pour l'utilisateur de la vidéo conférence). Ce qui leurs permet d'avoir un écart assez important par rapport au deux premiers types de transmission.

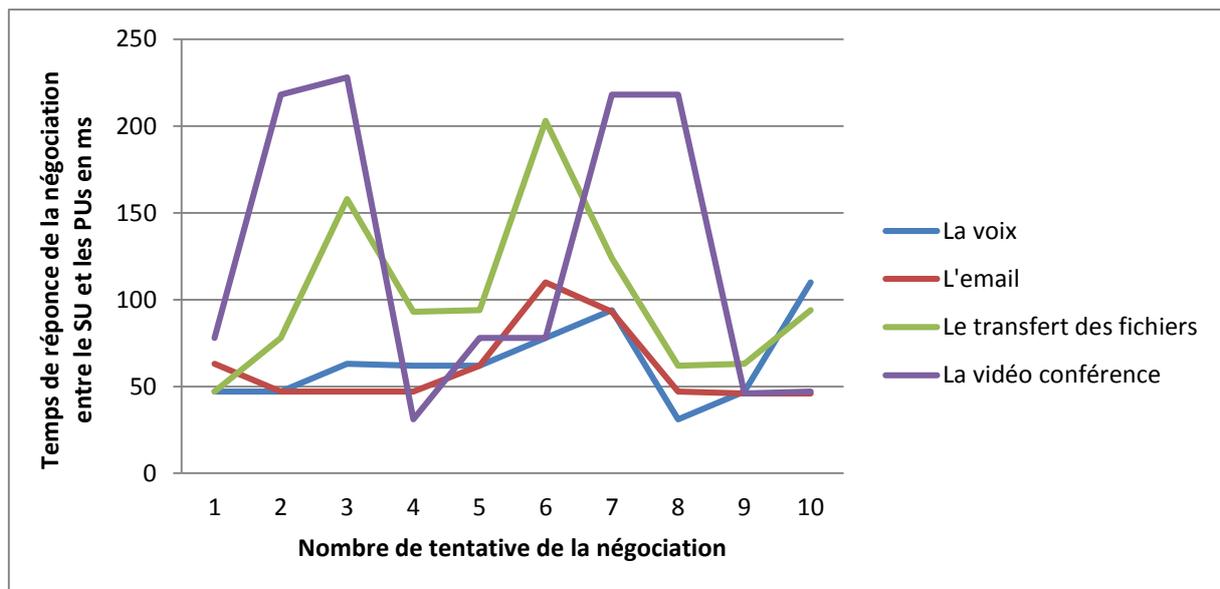


FIG 5.3 Résultats de la simulation pour le temps de réponse de la négociation par rapport aux quatre types de transmissions

La figure 5.4, nous montre la comparaison du taux de réussite (en pourcentage) de la négociation pour le partage du spectre sur 10 tentatives de communication entre le SU et les PUs détectés. Les résultats trouvés pour cette simulation nous montrent que les utilisateurs secondaires pour les quatre types de transmission sont assez proches, et représente un excellent résultat avec un taux de réussite élevé. Avec un podium engendré par la voix en bleu en premier après l'e-mail en rouge ensuite le transfert des fichiers en vert et enfin par la vidéo conférence

en violé qui représente un résultat moins bon que les 3 autres mais globalement assez proche entre eux.

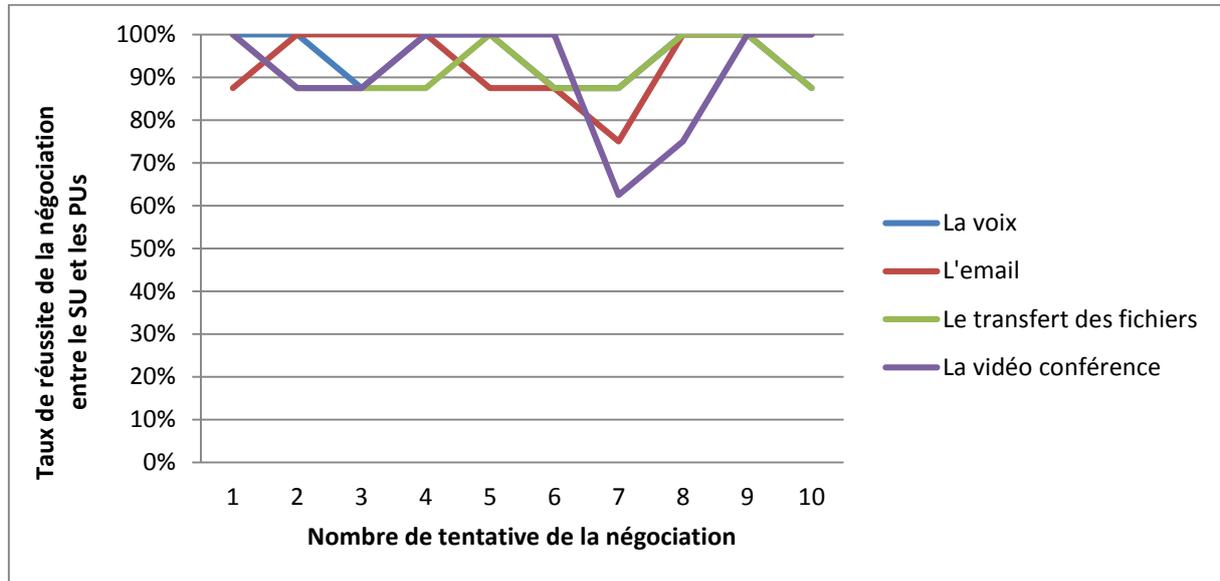


FIG 5.4 Résultats de la simulation pour le taux de réussite de la négociation par rapport aux quatre types de transmissions

La figure 5.5 nous montre la variation instantanée de la gigue du temps de communication entre les PUs et le SU pour les quatre types de transmission. Pour les neuf tentatives de négociation entre les PUs et le SU de la voix, nous notons que la variation de la gigue est entre 16 d'agglutination et -16 de la dispersion et nous avons trois tentatives pour lesquelles la variation est nulle. Pour les neuf tentatives de négociation entre les PUs et le SU de l'e-mail, nous notons que la variation de la gigue est aussi entre 16 d'agglutination et -16 de la dispersion mais par contre, nous avons cinq tentatives pour lesquelles la variation est nulle. Pour les neuf tentatives de négociation entre les PUs et le SU du transfert de fichiers, la variation de la gigue est plus élevée, entre 79 d'agglutination et -47 de la dispersion et nous avons seulement une tentative pour laquelle la variation est nulle. Pour les neuf dernières tentatives de négociation entre les PUs et le SU de la vidéoconférence, nous notons que la variation de la gigue est entre 109 d'agglutination et -62 de la dispersion, une variation assez élevée de la gigue du probablement au nombre de canaux importants à gérer. Mais par contre, nous avons quatre tentatives pour lesquelles la variation est nulle.

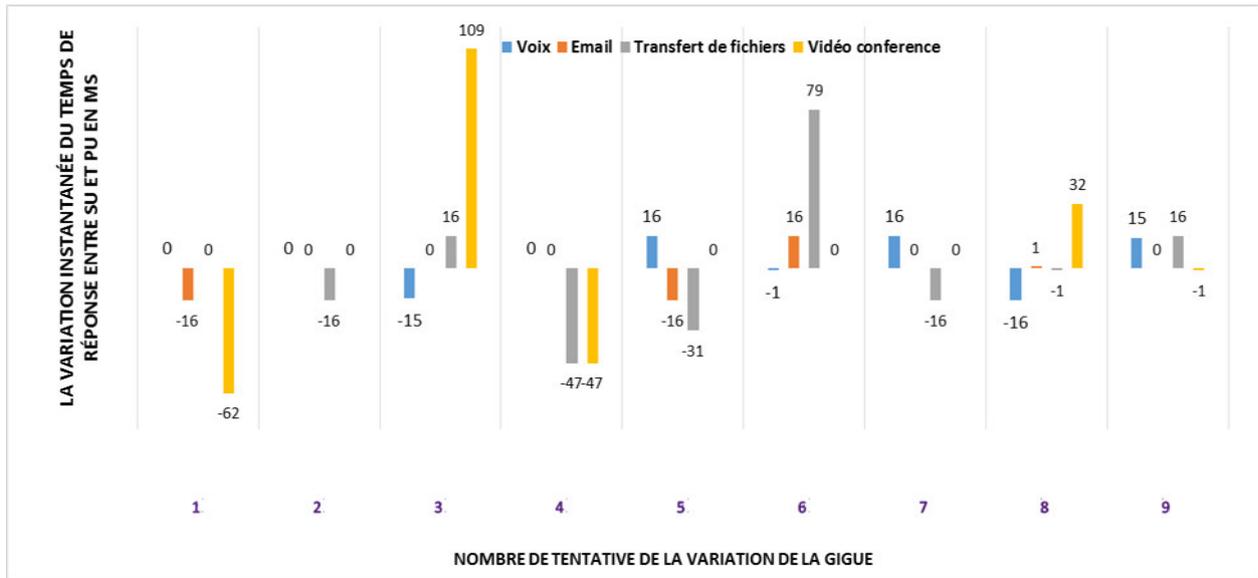


FIG 5.5 La variation instantanée de la gigue du temps de communication entre le SU et les PUs par rapport aux quatre types de transmission

La figure 5.6 représente la moyenne du temps de réponse des résultats des dix tentatives de communication, après le partage du spectre entre le SU et le PU correspondant pour quatre types de transmissions. La moyenne du temps de réponse de la négociation pour le partage du spectre entre SU de l'e-mail et le PU correspondant est plus petit (≈ 60 ms) que ceux des trois autres, ensuite viens juste après en deuxième position la voix avec une moyenne de temps de réponse de 64 ms après le transfert des fichiers à 101,6 ms et en dernier lieu la vidéo conférence avec un temps moyen de 124 ms et qui est assez bon par rapport à la QoS de la vidéo conférence.

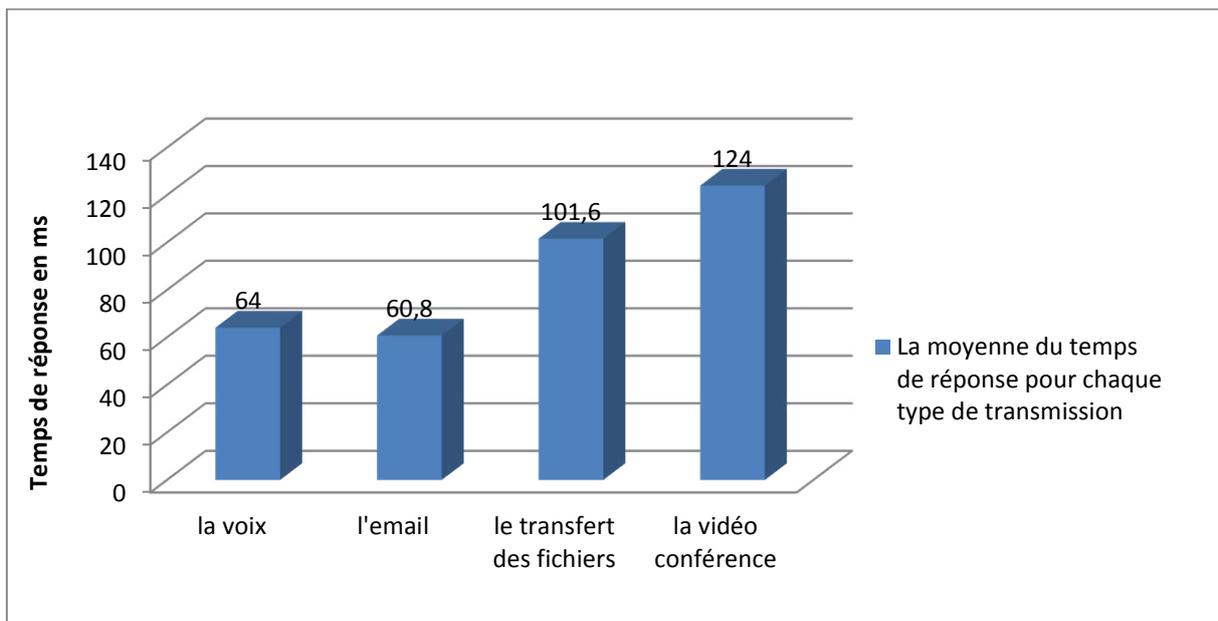


FIG 5.6 La moyenne du temps de réponse du partage du spectre entre le SU et le PU correspondant pour chaque type de transmission

Chaque tentative de communication est représentée par un taux de réussite de négociation, ce taux varie en fonction du nombre de PU consulté et favorable pour la négociation comme suit :

- ✓ Si PU1 accepte la négociation après consultation, le taux de réussite sera = 100 % (les 7 autres PUs ne seront pas consultés).
- ✓ Si 2 PUs sont consultés et PU2 accepte la négociation après l'échec avec le PU1, le taux de réussite sera = 87.5 % (les 6 autres PUs ne seront pas consultés).
- ✓ Si 3 PUs sont consultés et PU3 accepte la négociation après les échecs avec les 2 PUs précédents, le taux de réussite sera = 75 % (les 5 autres PUs ne seront pas consultés).
- ✓ Si 4 PUs sont consultés et PU4 accepte la négociation après les échecs avec les 3 PUs précédents, le taux de réussite sera = 62.5 % (les 4 autres PUs ne seront pas consultés).
- ✓ Si 5 PUs sont consultés et PU5 accepte la négociation après les échecs avec les 4 PUs précédents, le taux de réussite sera = 50 % (les 3 autres PUs ne seront pas consultés).
- ✓ Si 6 PUs sont consultés et PU6 accepte la négociation après les échecs avec les 5 PUs précédents, le taux de réussite sera = 37,5 % (les 2 autres PUs ne seront pas consultés).
- ✓ Si 7 PUs sont consultés et PU7 accepte la négociation après les échecs avec les 6 PUs précédents, le taux de réussite sera = 25 % (le PU8 ne sera pas consulté).
- ✓ Si tous les PUs sont consultés et PU8 accepte la négociation, le taux de réussite sera = 12.5 %.
- ✓ Si tous les PUs sont consultés et aucuns n'accepte la négociation, le taux de réussite sera de 0 %.

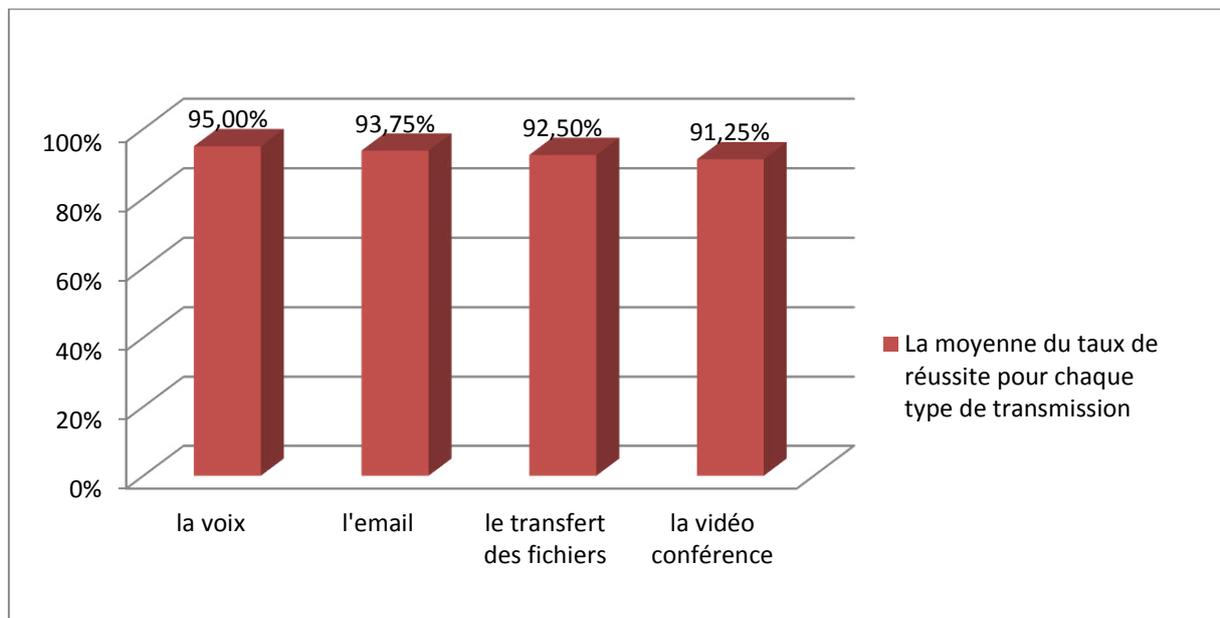


FIG 5.7 La moyenne du taux de réussite de la négociation du partage du spectre entre le SU et le PU correspondant pour chaque type de transmission

La figure 5.7 représente la moyenne du taux de réussite des résultats des dix tentatives de communications, après le partage du spectre entre le SU et le PU correspondant pour quatre types de transmissions. Les résultats trouvés pour les quatre utilisateurs secondaires représentent des moyennes des taux de réussite au-dessus de 90 %. Avec un taux de réussite décroissant de 1,25 pourcent (débutant par la voix à 95 % et terminant avec la vidéo conférence avec un taux de réussite à 91,25%).

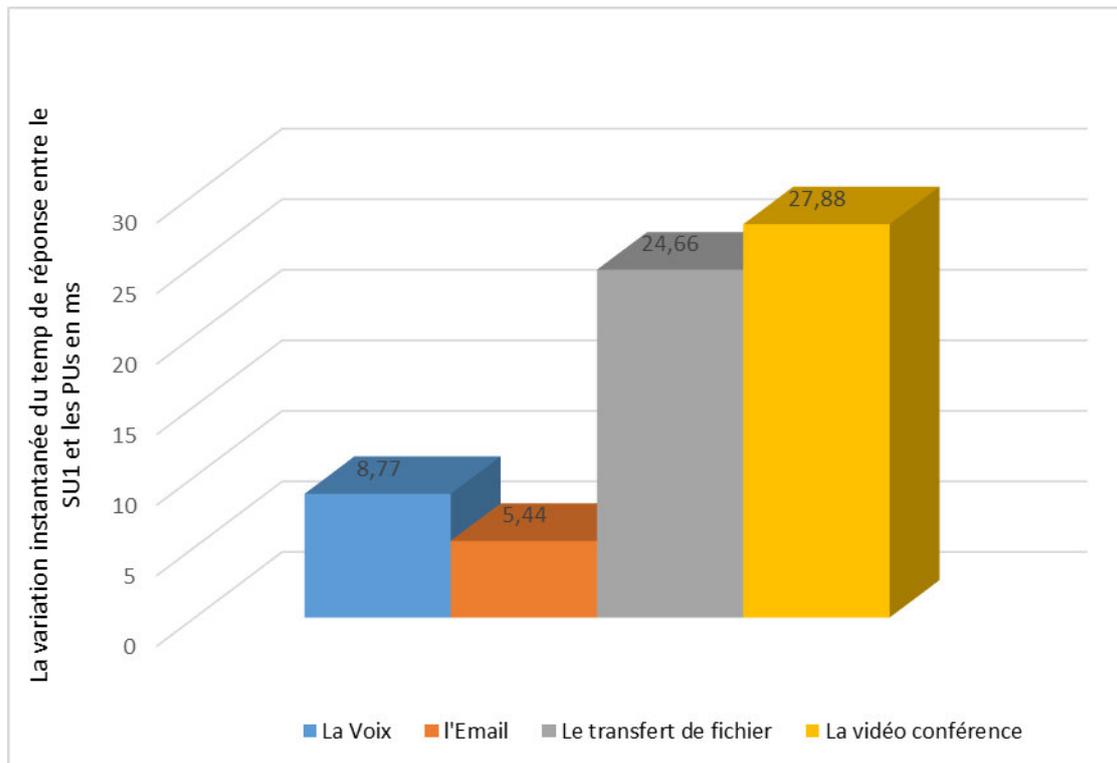


FIG 5.8 La variation moyenne de la gigue entre le SU et les huit PUs pour les quatre types de transmission en valeur absolue

La figure 5.8 nous montre la variation moyenne de la gigue en valeur absolue, du temps de communication entre le SU et les différents PUs pour quatre types de transmission différent. La variation moyenne de la gigue de la négociation entre les PU et le SU de la voix est en valeur absolue de 8,77 ms. En outre, la variation moyenne de la gigue de la négociation pour l'email est de 5,44 ms en valeur absolue. Ces deux premiers types de transmission représentent des moyennes de variation assez bonne de la gigue, tandis que pour le transfert de fichier, la valeur moyenne de la gigue est de 24,66 ms en valeur absolue. Et celles liées à la vidéoconférence est de 27,88 ms, la variation de ces deux derniers est un petit peu plus élevée que ceux de la voix et de l'email (ce dernier représente la meilleure moyenne de variation), mais la QoS de la gigue est respectée.

Remarque :

Nous avons utilisé La valeur absolue de la variation moyenne de la gigue pour éviter d'additionner les valeurs négatives de la dispersion entre deux temps de réponse avec ceux d'agglutination en valeurs positives.

III 2 – 2/ Interprétation des résultats du premier axe

Les résultats trouvés à travers la simulation nous amène à dire que le type de transmission le plus favorable au partage du spectre et l'e-mail et ces résultats sont comparable à ceux du tableau 4.1 qui nécessite une bande passante moins importante que celle du transfert de fichier ou de la vidéo conférence et qu'il à la plus petite valeur pour l'ensemble des caractéristiques de la QoS entre les 4 types de transmissions. De même pour la voix qui nécessite un temps de réponse ou un délai d'attente et une gigue assez petite par rapport à la vidéo conférence ou au transfert de fichiers comme le montre la propriété dans le tableau 4.1. Pour le transfert de fichier ces résultats sont bons pour une bande passante qui est assez importante et le taux d'erreur qui est l'élément majeur de ce type de transmission est satisfaisant pour les négociations avec les utilisateurs primaires.

Par contre les résultats trouvés pour la vidéo conférence sont plus que satisfaisants. Puisqu'elle exige une bande passante assez élevé comparée aux autres types de transmission, ainsi qu'une QoS gourmande en termes de priorité. Pour une moyenne de taux de réussite de négociation très élevés de 91,25% (le seuil de 1% exiger par la QoS de la vidéo conférence est concernant le taux erreur, mais, on travaille dans un simulateur avec le cas idéal de 0% de taux erreur), et une moyenne du temps de réponse de négociation de 124 ms inférieur à 150 ms (le seuil de la QoS), pour dix tentatives de communications entre le SU et les huit PUs. Ainsi qu'une variation de la latence avec une moyenne en valeur absolue de 27,88 ms pour neuf tentatives du partage de spectre qui est en dessous du seuil de 30 ms (QoS exigé de la vidéo conférence).

III 2 - 3/ Résultats de comparaison du deuxième axe

Après avoir trouvé des résultats aussi bons pour la vidéo conférence nous avons voulu montrés l'intérêt de la négociation entre le SU et les différents PUs pour trois critères, à savoir le temps de réponse et le taux de réussite et le nombre d'interférences dû à l'échec de négociation du partage de spectre.

La figure 5.9 nous montre la comparaison du temps de réponse (en ms) du partage de spectre sur 10 tentatives de communication entre le SU et les PUs avec et sans négociation défini dans notre première approche pour la vidéo conférence. Les résultats du temps de réponse avec la

négociation sont largement meilleurs à celles trouvées sans négociation et ça c'est dû aux changements récursifs d'utilisateurs primaires après chaque atténuation du signal du aux interférences entre le SU et le PU correspondant. Avec un temps de réponse allant jusqu'à 390 ms pour la non négociation jusqu'au partage du spectre, alors que notre approche nous permet de réduire ce pourcentage à un maximum de 228 ms.

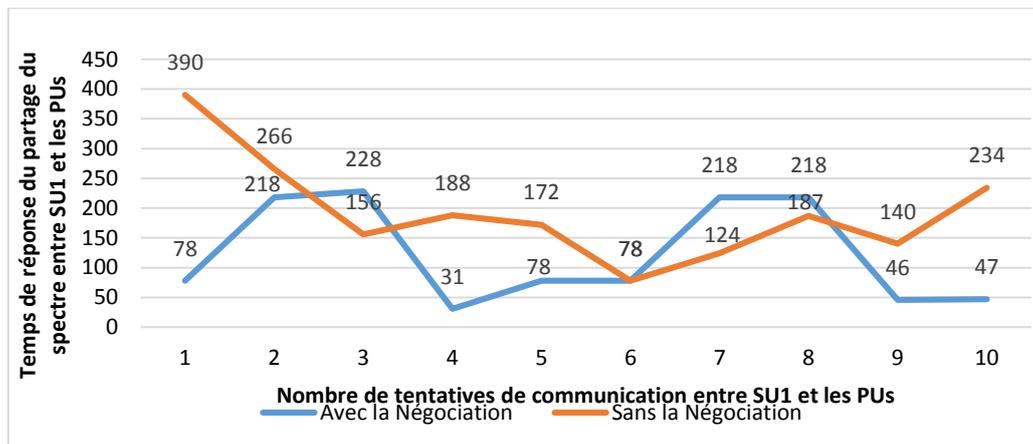


FIG 5.9 Comparaison des résultats de simulation pour le temps de réponse du partage de spectre de la vidéo de conférence entre SU et PU avec et sans négociation

La figures 5.10 nous montre la comparaison du taux de réussite (en pourcentage) du partage de spectre sur 10 tentatives de communication entre le SU et les PUs avec et sans négociation de la vidéo conférence. Ici nous remarquons que le taux de réussite du partage du spectre avec négociation entre l'utilisateur de la vidéo conférence et le PU est largement meilleur que celui trouvé sans négociation ce qui nous amène à favoriser la négociation pour ce type de transmission. Avec un taux de réussite sans négociation entre 38 et 88 %, alors que notre approche nous permet d'avoir un taux de réussite de 63% et allant jusqu'à 100% de réussite.

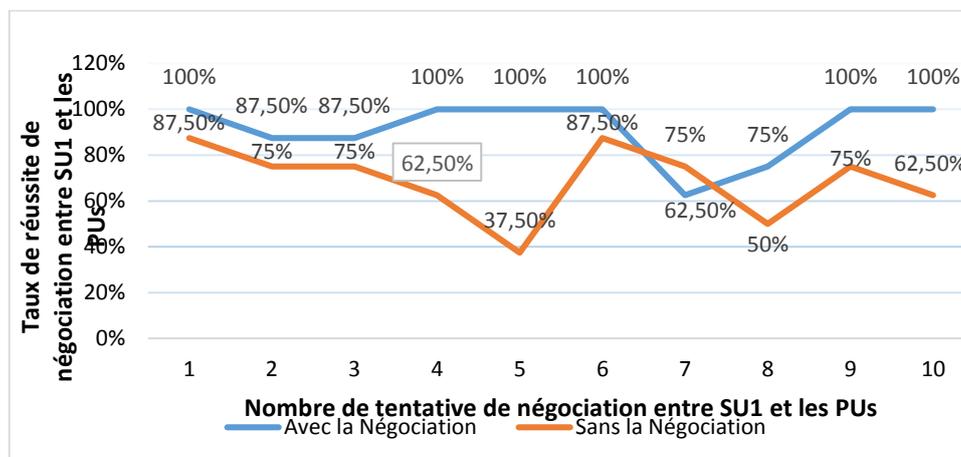


FIG 5.10 Comparaison des résultats de simulation pour le taux de réussite du partage de spectre de la vidéo conférence entre SU et PU avec et sans négociation

La figure 5.11 nous montre le nombre d'interférences pour 10 tentatives de communication entre le SU et ses PUs avec et sans négociation pour la conférence vidéo. L'utilisateur cognitif qui favorise la négociation a un maximum de trois interférences pour chaque tentative de communication entre le SU et les PUs consultés. Mais par contre le nombre de tentative ou la communication est établie avec succès de négociation est de six sur 10, ce qui est beaucoup mieux que la non utilisation de la négociation avec un certain nombres de perturbations allant jusqu'à cinq interférences de communication entre le SU et les PU, et aucune négociation ne se fait directement sans échec de communication pour chaque tentative.

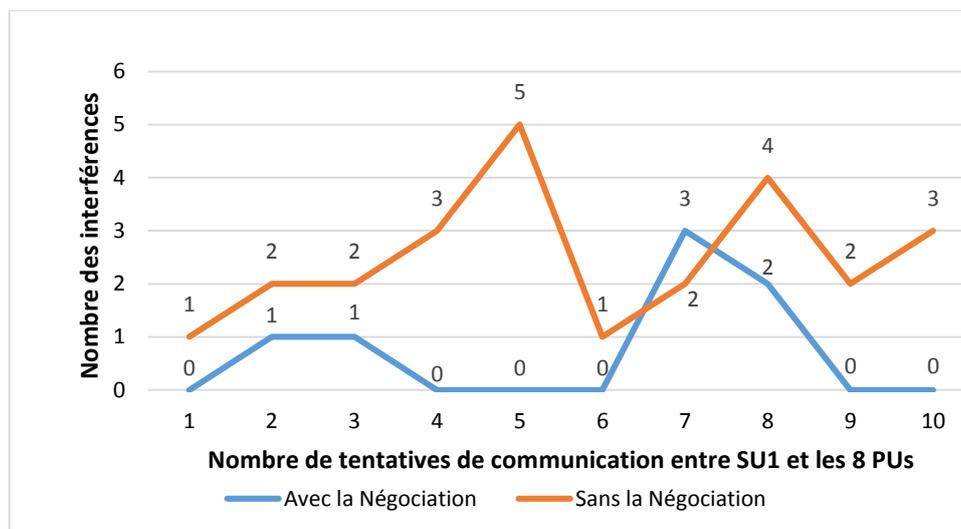


FIG 5.11 Nombre d'interférences pour 10 tentatives de communication entre le SU et les PUs consultés avec et sans négociation pour la vidéo conférence

Les figures 5.12 représentent la moyenne du temps de réponse des résultats de dix tentatives de communication, après le partage du spectre entre le SU et le PUs correspondant pour la vidéo conférence. L'utilisateur cognitif qui favorise la négociation à une moyenne de temps de réponse à 124 ms qui est nettement meilleure que celle utilisée sans négociation avec un temps de réponse de 193,5 ms, ce qui dépasse la valeurs critique (150 ms) de la QoS de la vidéo conférence.

L'exigence de la qualité de service pour la vidéo conférence est beaucoup plus importante que celle des autres types de transmissions vue précédemment, d'autant plus que le temps de réponse et parmi ses critères les plus critiques ce qui nous amène à exiger de meilleurs performances du partage du spectre en utilisant la négociation entre l'utilisateur secondaire (dite de radio cognitive pour la vidéo conférence) et l'utilisateur primaire répondant à nos exigences en termes de qualité de service.

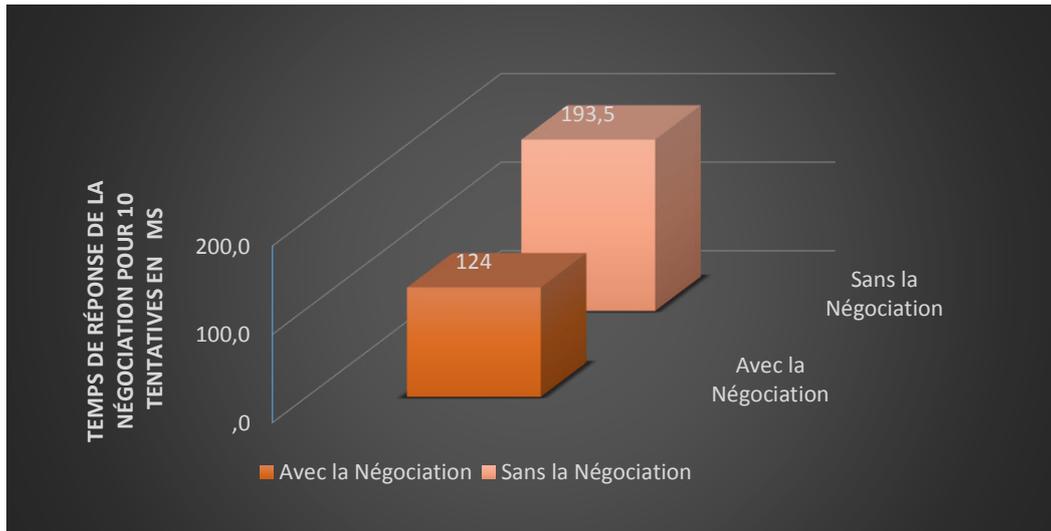


FIG 5.12 La moyenne du temps de réponse du partage du spectre entre le SU et le PUs correspondant pour la vidéo conférence

La figure 5.13 représente la moyenne du taux de réussite des résultats des dix tentatives de communication du partage du spectre entre le SU et le PU correspondant pour la vidéo conférence. La différence de la moyenne du taux de réussite est très grande entre l'utilisateur cognitif favorisant la négociation pour la vidéo conférence et celui qui n'utilise pas la négociation. L'utilisation de notre première approche de la négociation pour la vidéo conférence est favorable à plus de 22% par rapport à l'autre méthode, et avec un taux dépassant les 90% de taux de réussite, ce qui est un très bon facteur pour assurer la QoS de la vidéo conférence.

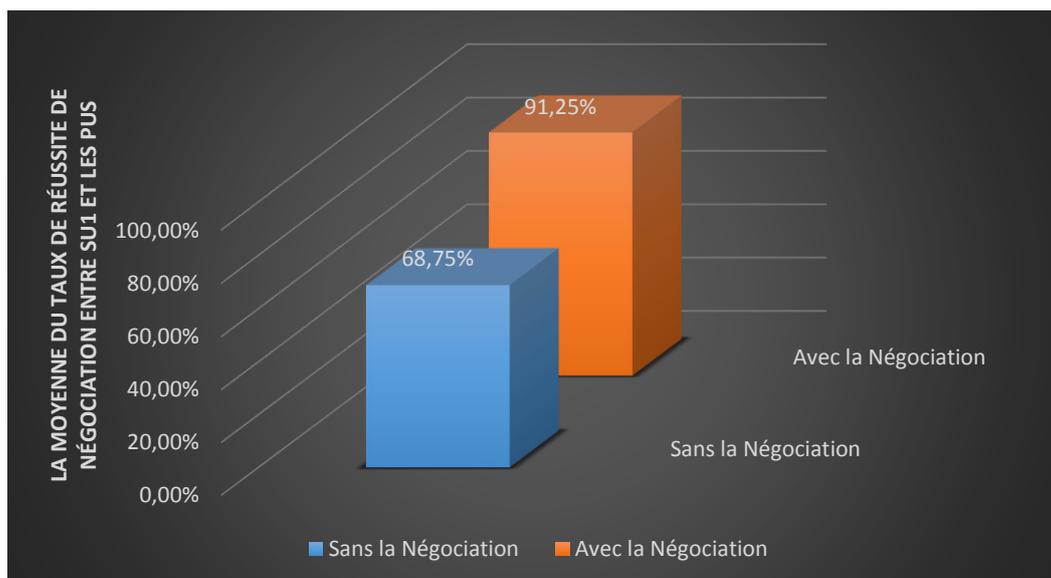


FIG 5.13 La moyenne du taux de réussite du partage du spectre entre le SU et le PUs correspondant pour la vidéo conférence

La figure 5.14, nous montre la comparaison entre le nombre d'interférences pour la communication entre le SU et les huit PUs avec et sans négociation pour la vidéo conférence. Comme nous l'avons déjà expliqué dans la figure 5.11, le nombre d'interférences regroupe toutes les interférences entre le SU et tous les PUs consultés pour chaque tentative. Alors nous avons pris les résultats de toutes les interférences pour 10, 20, 50 et 100 tentatives de communication respectivement.

La somme de nombres d'interférences pour dix tentatives est de 18 interférences de différence entre notre approche (avec négociation) et celle présentée sans négociation. Pour 20 tentatives de communication, le nombre accroit à 31 interférences de différence entre les deux méthodes, tandis que la différence pour les 50 tentatives atteint plus que le triple d'interférence avec une différence de 81 interférences entre avec et sans négociation. Et enfin la somme des interférences pour chaque tentative de communication estimé sur 100 interférences, est nettement plus meilleure avec la présence du mécanisme de négociation de notre approche qui représente moins de 159 interférences que celui de l'approche cognitive normale.

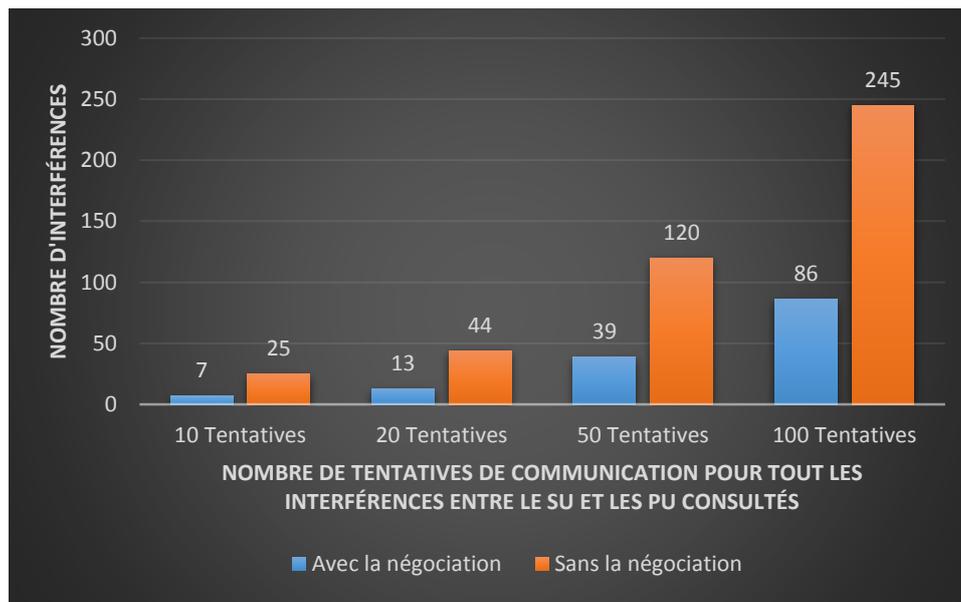


FIG 5.14 Comparaison entre le nombre d'interférences relié à la communication entre le SU et les PUs consultés avec et sans négociation pour la vidéo conférence

III 2-4/ Interprétation des résultats du deuxième axe

Dans ce deuxième axe nous remarquons que les résultats de simulation de la vidéo conférence avec ou sans la présence de la négociation entre le SU et les différents PUs consultés, et pour assurer la QoS demandée, nous amène à conclure que l'autonomie est primordiale dans cette nouvelle technologie. Puisque le temps de réponse trouvé est largement inférieur avec la présence de la négociation, aussi le taux de réussite est beaucoup plus important avec notre

approche de négociation. Concernant les interférences, le nombre a largement diminué quand on applique l'approche proposée surtout dans le cas de l'utilisation récursive de l'utilisateur secondaire après plusieurs tentatives de communications causer par des échecs consécutifs. La première approche proposée nous permet de voir un résultat qui dépasse l'utilisation classique de la radio cognitive et ça c'est du à l'autonomie positive de la prise de décision et la négociation favorable à l'utilisateur cognitif.

III – 3 / Simulation de la deuxième contribution

Dans le cadre de notre deuxième approche, nous avons simulé l'agent autonome LBAA avec plusieurs agents SUs et PUs dans JADE pour les quatre types de transmission cités précédemment. La figure 5.15 nous montre, un exemple de simulation de l'agent Sniffer pour notre deuxième approche, basée sur la suggestion de l'agent LBAA à SU7, un utilisateur primaire répondant aux exigences (qui est le PU1 dans notre cas). Pour simuler notre deuxième approche nous avons choisi de prendre un agent LBAA communiquant avec huit agents SUs (les quatre premiers communiquent d'abord avec les PUs détectés, comme la base LBAA sera vide initialement, les quatre autres SUs seront ajoutés au fur et à mesure que la base récolte des informations concernant les PUs détectés par les premiers SUs). Et en dernier lieu, nous avons choisi de prendre 24 agents PUs communiquant avec les SUs de façon autonomes (chaque SU détecte un nombre bien défini de PUs).

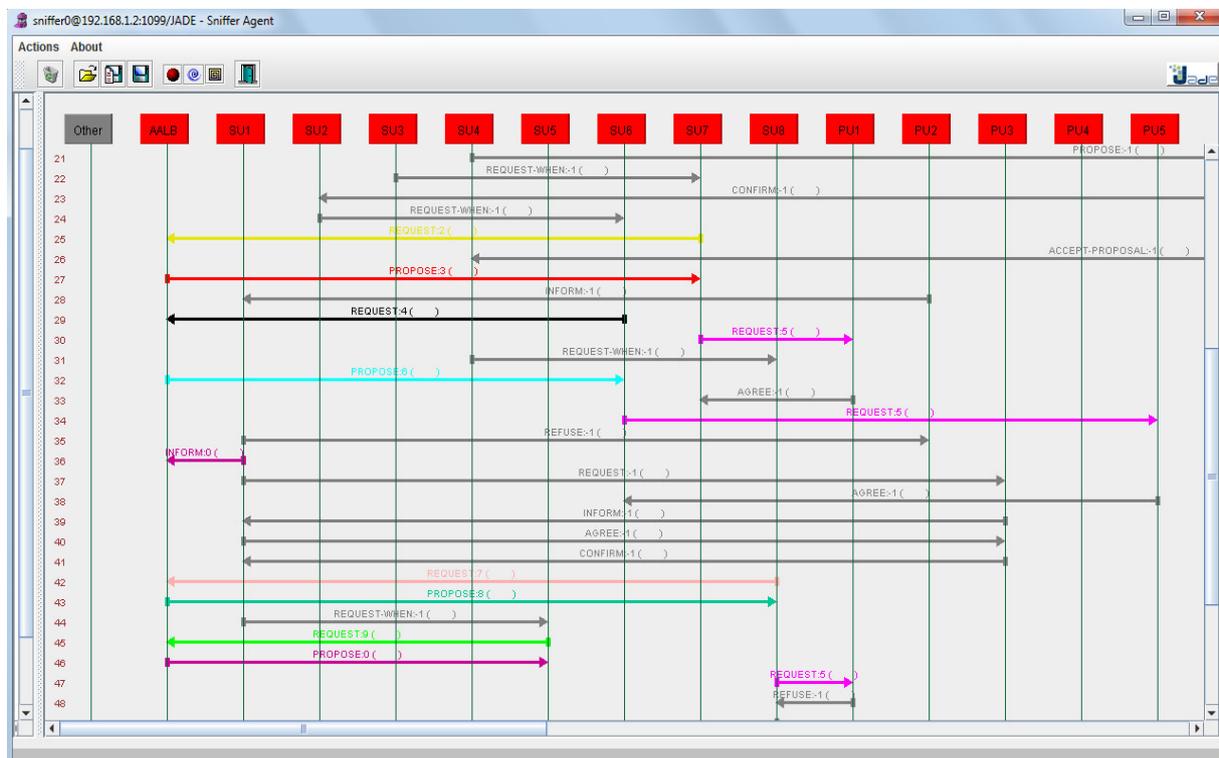


FIG 5.15 Exemple de suggestion de l'approche LBAA avec l'Agent Sniffer

Comme nous l'avons indiqué en haut, la base LBAA à suggérer dans cet exemple à l'agent SU7, un utilisateur primaire qui est l'agent PU1, cette suggestion est réalisée à l'aide des ACL Messages transmis entre agents cognitifs pour communiquer entre eux. La figure 5.16 nous montre l'exemple typique de cette suggestion du LBAA (qui est le transmetteur) à l'agent SU7 (qui est le récepteur). Le message contient la suggestion d'un utilisateur primaire (PU1) qui a le nombre de canaux demandé, nécessaire et exigé pour partager le spectre avec lui (dans cet exemple le nombre de canaux demandé est 4).

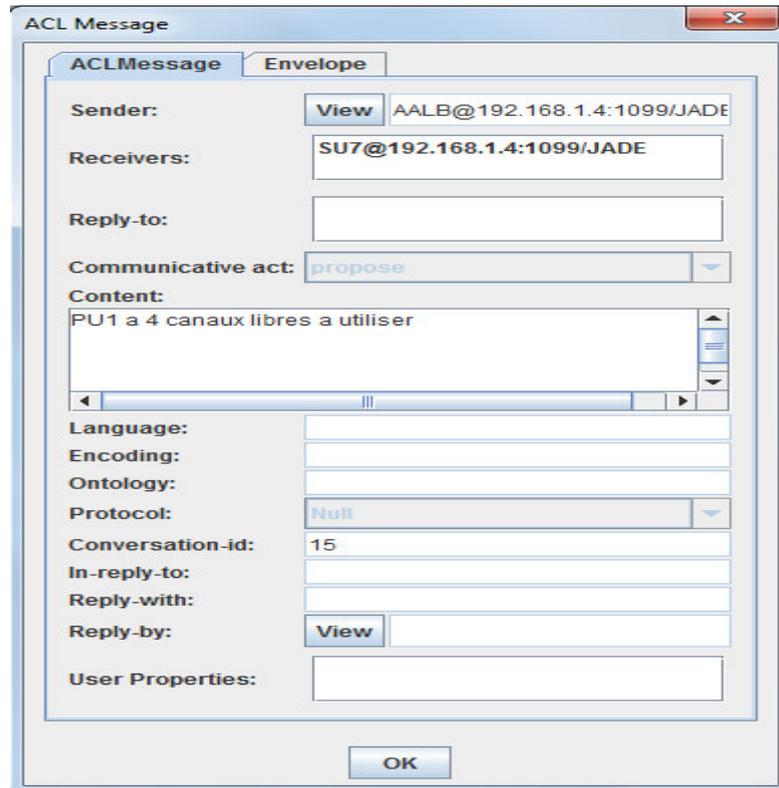


FIG 5.16 Exemple d'une suggestion du LBAA par un ACL Message au SU7

Remarque :

Dans cette deuxième contribution nous avons opté de simuler les résultats de l'approche avec 4 canaux pour avoir la qualité de service de la vidéo conférence, ceci nous aidera plus tard à comparer ses résultats avec ceux du 2^{ème} axe de la première contribution.

III 3 - 1 / Algorithme de l'approche LBAA pour une suggestion de PUs aux SUs

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 4, la deuxième approche permet de généraliser la gestion du spectre durant l'étape de négociation de l'utilisateur secondaire avec l'utilisateur primaire, à l'aide d'une base autonome qui permet de suggérer des canaux de PUs pour des SUs en besoin. Nous avons voulu représenter cette démarche sous un algorithme (algorithme 1), basé sur le diagramme de fonctionnement de l'approche LBAA représenté dans la figure 4.10.

Algorithm 1: Spectrum management for LBAA during SUI requested

```

if (AALB suggest spectrum (j) > m free channels to SUI) // Normal mode
then
  AALB found PUj compatible with SUI // PUj uses n channels
  SUI Share/Use Spectrum with PUj // Sharing phase (SUI Learning)
  if (PUj ≥ n + 1) // Interference will be produced between users
  then
    // Warning mode
    SUI negotiates with PUj to release at least one channel // Decision phase
    if (spectrum(j) > m free channels) // PUj accept negotiation (Normal mode)
    then
      SUI Share/Use Spectrum with PUj // Sharing phase
    else
      // PUj+1 refuse negotiation (Failure mode)
      SUI looking for a new spectrum (j+1) // Mobility phase
  else
    if (SUI releases PUj's channels) // Normal mode
    then
      // SUI is at rest (stop)
      SUI requests to AALB m channel from a new spectrum (j+1) // (AALB knowledge)
    else
      // SUI continuous sharing spectrum with PUj
      SUI Share/Use Spectrum with PUj // Sharing phase (SUI Learning)
else
  SUI looking for spectrum (j+1) > m free channels // Detection phase
  if (SUI found PU ∈ spectrum(j + 1)) // SUI detect a new PU
  then
    if (spectrum (j+1) > m free channels) // Normal mode
    then
      SUI Share/Use Spectrum with PUj+1 // Sharing phase (SUI Learning)
    else
      if (spectrum (j+1) = m free channels) // Warning mode
      then
        SUI negotiates with PUj+1 to release at least one channel // Decision phase
        if (spectrum (j+1) > m free channels) // PUj+1 accept negotiation
        (Normal mode)
        then
          SUI Share/Use Spectrum with PUj+1 // Sharing phase
        else
          // PUj+1 refuse negotiation (Failure mode)
          SUI looking for a new spectrum (j+2) // Mobility phase
      else
        // Failure mode
        SUI looking for a new spectrum (j+2) // Mobility phase
  else
    // SUI don't found a new PU (SUI is at stop)
    SUI requests to AALB m channel from a new spectrum (j+2) // (AALB knowledge)

```

Le principe de cet algorithme consiste à ce que l'utilisateur secondaire va demander au LBAA, m canaux à partager avec un PU correspondant à ces exigences (au moins un canal sera libre en plus des m canaux demandés). Si le LBAA suggère un PU $_j$ compatible, alors on est dans le mode Normal (*la phase de partage*), le SU $_i$ partage le spectre avec le PU $_j$ et le LBAA sera mise à jour avec sa base de connaissance par l'apprentissage du SU $_i$ lui-même.

Si par contre le PU $_j$ veut récupérer à un instant donné le canal libre entre le SU $_i$ et les autres canaux utilisés par PU $_j$, alors on est dans le mode Avertissement, les interférences entre le SU $_i$ et le PU $_j$ seront fort probable et la qualité de service assurée sera dégradée. Dans ce cas-là, notre première approche fera son apparition, la phase de négociation entre le SU $_i$ et le PU $_j$ rentre en jeu (*la phase de décision*). Si le PU $_j$ accepte de libérer au moins un canal entre lui et le SU $_i$, on reviendra en mode Normal (*la phase de partage*) et si par contre le PU $_j$ refuse la négociation, le SU $_i$ va chercher un nouveau PU ($j+1$) différent du premier ou demander au LBAA de lui suggérer un autre PU (*la phase de mobilité*).

Si par contre Le SU $_i$ veut libérer les canaux partagés avec le PU $_j$, le SU $_i$ redevient à l'état initial en informant la base de connaissances du LBAA des nouveaux changements (et pourra redemander au LBAA m canaux quand il aura besoin). Sinon il continuera de partager le spectre avec PU $_j$ (*la phase de partage*).

La deuxième partie, est dédiée au scénario où le LBAA n'a pas de PU $_j$ compatible au SU $_i$ demandeur. Dans ce cas-là, le SU $_i$ va chercher automatiquement les m canaux nécessaires détectés dans son environnement radio (*la phase de détection*). Si le SU $_i$ trouve un PU ($j+1$) en possession de m canaux, alors :

Si le PU ($j+1$) peut assurer la QoS demandée (un canal libre entre le SU $_i$ et le PU ($j+1$)), alors on est en mode normal (*la phase de partage*). Le SU $_i$ va mettre à jour sa base d'apprentissage et communique ces informations à la base de connaissance du LBAA.

Si par contre le PU ($j+1$) n'a que m canaux libres (pas de canal libre entre lui et le SU $_i$) dans ce cas-là, on est dans le mode Avertissement. Le SU $_i$ va négocier avec le PU ($j+1$) de libérer au moins un canal (*la phase de décision*). Si le PU ($j+1$) accepte le SU $_i$ va partager le spectre normalement avec l'utilisateur primaire en mode Normal (*la phase de partage*), sinon le PU ($j+1$) refuse de libérer un canal, est là on est dans le mode Echec, et c'est le même cas où le PU ($j+1$) n'a pas les m canaux demandés. Dans ce cas-là le SU $_i$ va chercher un autre PU (PU ($j+2$)) différent de celui-ci (*la phase de mobilité*).

Si par contre le SU $_i$ ne détecte aucun PUs dans *la phase de détection*, alors le SU $_i$ va redemander à nouveau au LBAA de lui suggérer un PU $_j$ compatible à ses exigences.

III – 4 / Résultats de simulations de la deuxième contribution

Nous avons simulé cette deuxième approche dans la même plateforme JADE avec 24 agents pour les utilisateurs primaires, 8 agents pour les utilisateurs secondaires et un agent pour la base LBAA. Les tableaux 5.1 et 5.2 représentent respectivement les résultats de simulation de notre approche LBAA en suggestion pour les SUs, des PUs compatible à leurs demandes.

Le tableau 5.1, représente les résultats des quatre premiers SUs en négociation avec leurs PUs respective de 1 à 16. La base d'apprentissage est vide en début ce qui permet aux agents SU1, 2, 3 et 4 de détecter et de chercher des agents PUs ayant le nombre de canaux demandé, par exemple pour la troisième tentative le SU1 partage le spectre avec PU3 avec un temps de convergence de 546 ms après deux interférences (2 échecs de communications ou de négociations avec PU1 et PU2 respectivement). De même pour SU2 qui partage le spectre avec PU6 avec un temps de convergence de 249 ms après un seul échecs de négociation produit avec PU5, les informations des PUs consultées avant seront communiquées à la base pour les suggérer à d'autres SUs en besoin (les quatre seconds SUs du tableau 5.2). Par contre SU3 et SU4 partagent le spectre avec PU10 et PU13 respectivement et ils n'ont aucun échec de communication avec d'autres PUs puisque PU10 et PU13 sont les premiers à être consultés mais par contre ils n'ont aucune information à suggérer au LBAA pour les quatre seconds SUs.

Nombre de tentatives	SU1 (PU1à4)		SU2 (PU5à9)		SU3 (PU10à12)		SU4 (PU13à16)	
	PU à partager	ms						
1	PU1/0	172	PU5/0	141	PU10/0	156	PU13/0	187
2	PU1/0	94	PU7/2	240	PU10 /0	110	PU14/1	125
3	PU3/2	546	PU6/1	249	PU10/0	250	PU13/0	296
4	PU1/0	219	PU5/0	78	PU11/1	327	PU13/0	234
5	PU1/0	125	PU6/1	405	PU10/0	312	PU15/2	375
6	PU2/1	390	PU6/1	390	PU12/2	468	PU15/2	531
7	PU1/0	93	PU5/0	156	PU10/0	78	PU13 /0	109
8	PU1/0	203	PU5/0	188	PU10/0	172	PU13/0	187
9	PU4 /3	733	PU6/1	499	PU10/0	156	PU13/0	78
10	PU1/0	156	PU5/0	202	PU10/0	249	PU13/0	187

Tableau 5.1 : Résultats de simulation des quatre premiers SUs

Dans le tableau 5.2, Les résultats de simulation des dix tentatives de communications sont les compléments des résultats du tableau 5.1, à la différence qu'ici les quatre seconds agents des SUs seront insérer au fur et à mesure que les quatre premiers agents SUs partagent le spectre avec les PUs détectés. Ses quatre seconds agents SUs en la particularité de chercher d'abord un PU compatible dans la base LBAA et si la base n'a aucune suggestion, ils chercheront à leurs tours des canaux compatibles parmi les PUs détectés dans leurs environnements radio.

Nous continuerons avec le même exemple pris dans le tableau 5.1 en expliquant le cas de la 3^{ème} tentative. Dans ce cas-là, les quatre SUs demandent au LBAA un nombre bien défini de canaux répondant à leurs critères. Pour le SU6 et le SU7, la base leur a suggéré PU5 et PU1 respectivement, ce qui a permis à ses utilisateurs secondaires de partager le spectre avec ses PUs en un temps de convergence assez petit, de 47 ms pour SU6 et de 87 ms pour SU7. Mais pour le SU5 et le SU8 la base n'a plus de suggestion à offrir, puisque PU2 (consulté par SU1 dans le tableau 5.1) n'est pas compatible à leurs exigences, donc les SUs vont communiquer avec leurs PUs détectés (PU17 pour SU5 et PU23 pour SU8) et partager le spectre avec ses derniers, mais avec un temps de convergence plus important que celui trouvé pour SU6 et SU7.

Nombre de tentatives	SU5 (PU17 et 18)		SU6 (PU19 et 20)		SU7 (PU 21 et 22)		SU8 (PU23 et 24)	
	PU à partager	ms	PU à partager	ms	PU à partager	ms	PU à partager	ms
1	PU17/LBAA	219	PU20/ lbaa+1	237	PU21/LBAA	109	PU24/lbaa+1	265
2	PU13/accepte	114	PU19/ LBAA	203	PU21/ LBAA	312	PU6/accepte	89
3	PU17/LBAA	188	PU5/ accepte	47	PU1/accepte	87	PU23/LBAA	296
4	PU10/accepte	172	PU19/LBAA	109	PU22/lbaa+1	406	PU23/LBAA	234
5	PU5/LBAA	31	PU19/ LBAA	250	PU21/LBAA	78	PU13/LBAA	93
6	PU1/accepte	98	PU5/accepte	110	PU22/lbaa+1	278	PU14/accepte	124
7	PU17/ LBAA	109	PU19/LBAA	234	PU22/ lbaa+1	265	PU24/ lbaa+1	452
8	PU17/LBAA	203	PU19/LBAA	234	PU21/LBAA	156	PU5/accepte	110
9	PU3/accepte	146	PU5/accepte	93	PU21/ LBAA	198	PU1/accepte	156
10	PU17/ LBAA	109	PU19/ LBAA	328	PU21/ LBAA	309	PU23/ LBAA	328

Tableau 5.2 : Résultats de simulation des quatre seconds SUs

La figure 5.17, représente les résultats du temps de convergence pour les dix tentatives de communications entre les quatre premiers SUs et leurs PUs. Et comme nous l'avons expliqué pour le tableau 5.1, le LBAA est vide et n'a aucune information à transmettre au premiers SUs donc le partage du spectre des SUs avec les PUs estimé dans la figure 5.17 est sans suggestion du LBAA. Le temps de convergence de SU1 varie entre 93 et 733 ms ce qui est un peu plus conséquent pour la qualité de service, pour le SU2 le temps de convergence est entre 78 et 499 ms, un temps beaucoup plus réduit que de SU1. De même pour SU3, le temps varie entre 78 et 468 ms et entre 78 et 531 ms pour le SU4, qui ont un temps de convergence assez grand mais beaucoup plus réduit que celui de SU1.

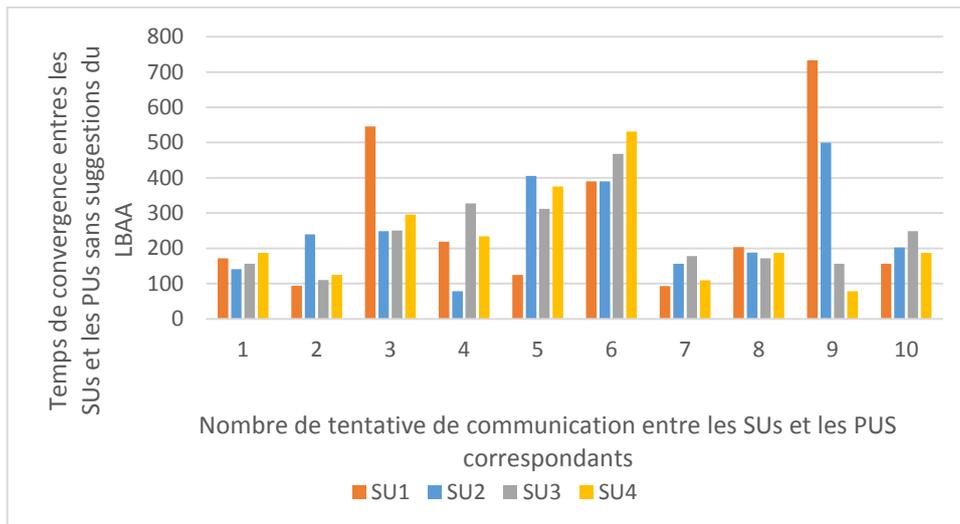


FIG 5.17 Temps de convergence entre les quatre premiers SUs et leurs PUs pour dix tentatives de communication sans la suggestion du LBAA

Dans la figure 5.18, les résultats des dix tentatives de communications entre les quatre premiers SUs du taux de réussite de partage du spectre avec les différents PUs sans faire recours à la suggestion du LBAA, qui est représentée comme suit, le SU1 et SU4 ont un taux de réussite de 100 % pour 7 tentatives de communications, c'est-à-dire que le SU1 et SU4 n'ont trouvés aucune difficulté à communiquer avec leurs premiers PU détecter. Par contre pour SU2, cinq sur dix tentatives de partage de spectre sont idéales à 100% ce qui rend les 5 autres tentatives plus difficiles à partager le spectre avec les PUs détectés. Et enfin le meilleur utilisateur secondaire et le SU3 qui à huit tentatives à 100% ce qui rend la tâche plus facile à SU3 de partager le spectre avec le PU correspondant. Mais par contre la base LBAA sera moins dotée d'informations pour les suggérer aux quatre seconds SUs.

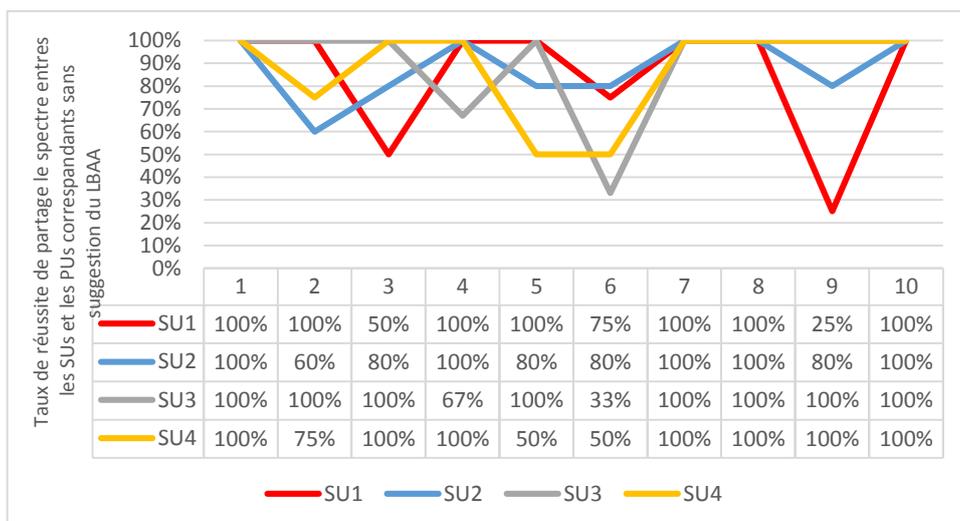


FIG 5.18 Taux de réussite de partage du spectre des quatre premiers SUs avec les PUs correspondants pour dix tentatives sans la suggestion du LBAA

Dans La figure 5.19, les résultats représentent le temps de convergence pour les dix tentatives de communications entre les quatre seconds SUs et leurs PUs. Ces résultats reflètent la suggestion du LBAA aux quatre seconds SUs mentionnées dans le tableau 5.2, le partage du spectre des SUs avec les PUs estimé dans la figure 5.19. Le temps de convergence de SU5 varie entre 31 et 219 ms, ce qui est beaucoup mieux que celui de SU1 (l'utilisateur qu'on a remplacé par SU5 après avoir partagé le spectre du PU correspondant) vise à vis le rendement de la qualité de service. Pour le SU6 le temps de convergence est entre 47 et 328 ms, un temps beaucoup plus réduit que de SU5 mais mieux que celui de SU2 et les trois autres premiers SUs, de même pour SU7 et SU8 avec un temps de convergence qui varie entre 78 et 406 et entre 89 et 452 respectivement.

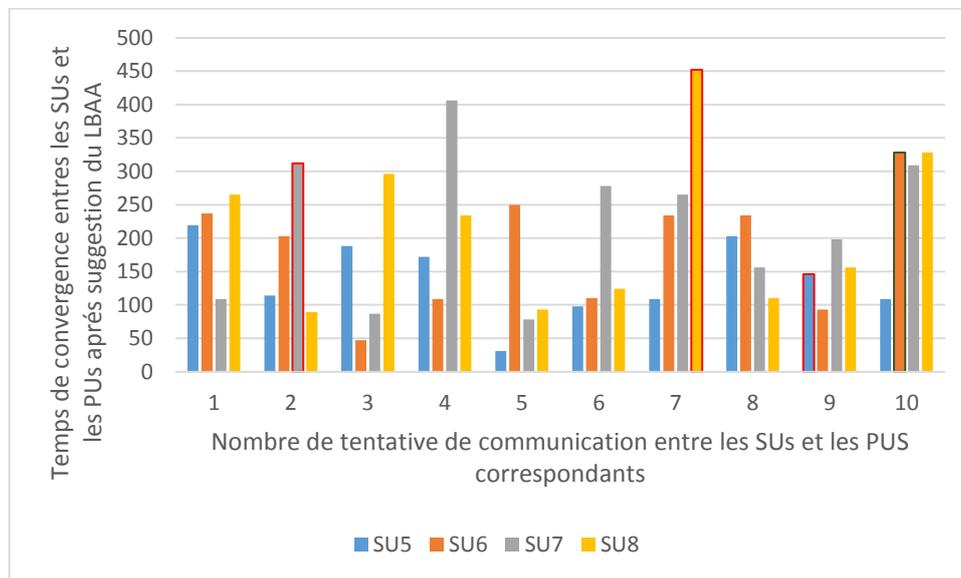


FIG 5.19 Temps de convergence entre les quatre seconds SUs et leurs PUs pour dix tentatives de communication avec la suggestion du LBAA

On faisant recours à la suggestion du LBAA, la figure 5.20 représente les résultats des dix tentatives de communications entre les quatre seconds SUs du taux de réussite de partage du spectre avec les différents PUs. Le SU5 à un taux de réussite de 100 % pour les 10 tentatives de communications, c'est-à-dire que le SU5 réussi à partager le spectre avec le PU, soit suggérer, soit détecter dès la première fois sans aucune difficulté. Par contre pour SU6, neuf sur dix tentatives de partage de spectre représente le taux de 100%, ce qui rend le SU6 presque idéal, pour le SU7 et SU8 qui ont huit et sept tentatives à 100% de taux de réussite respectivement, sont un peu moins bon que les deux premiers mais ça reste un très bon taux de réussite par rapport aux quatre premiers SUs.

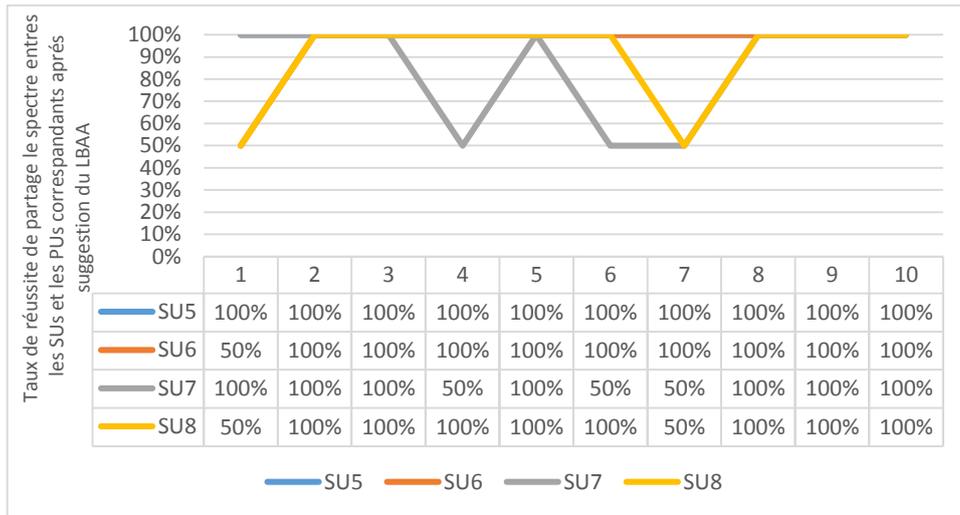


FIG 5.20 Taux de réussite de partage du spectre des quatre seconds SUs avec les PUs correspondants pour dix tentatives avec la suggestion du LBAA

La figure 5.21, nous montre la moyenne du temps de convergence des huit SUs sur les dix tentatives de communications avec les différents PUs. Avec un temps de convergence dépassant les 273 ms, le SU1 a la plus grande moyenne de temps, et qui peut dégrader et nuire à sa QoS. Pour SU2 le temps de convergence est aussi élevé à plus de 254 ms, la même chose pour SU3 et SU4 qui dépassent les 230 ms. Concernant les quatre seconds SUs le temps de convergence est beaucoup plus petit que celui des quatre premiers et ça c'est grâce à la suggestion de la base LBAA, avec un temps de convergence entre 215 et 220 ms pour SU7 et SU8 qui est nettement plus petits que ceux cités avant, SU6 avec un temps inférieur à 185 ms et pour SU5, un temps optimisé de 138,9 ms qui représente la meilleure moyenne comparée à tous les autres SUs.

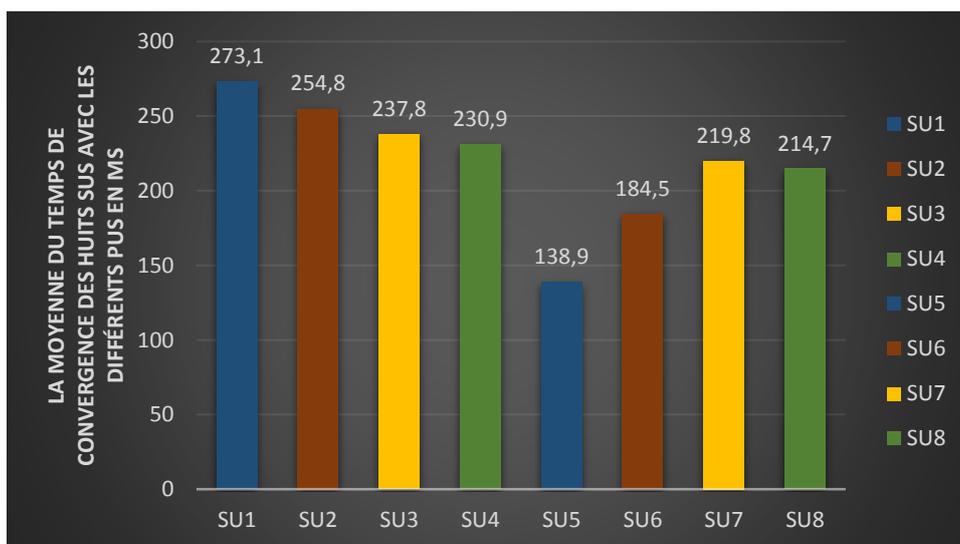


FIG 5.21 La moyenne du temps de convergence entre les huit SUs et leurs PUs sur dix tentatives de communication

Concernant le taux de réussite, la figure 5.22 représente la moyenne de ce taux de réussite de partage du spectre pour les huit SUs avec différents PUs. Pour les quatre premiers SUs la moyenne du taux de réussite est de : 85% pour SU1, qui a le taux le plus petit malgré le bon résultat, 88% pour SU2 et SU4 et 90% pour le SU3 qui présente le meilleur résultat des quatre autres. Pour les quatre seconds, SU7 représente un taux de réussite de 85%, un résultat assez mitigé dû au manque de suggestion du LBAA en premier lieu. Par contre pour SU8 le taux de réussite est le même que celui atteint pour le meilleur des quatre premier SUs à 90%. Et concernant SU6 le taux de réussite est de 95%, ce qui frôle le cas idéal de partage de spectre. Et enfin le SU5 qui a le meilleur résultat à 100%, permet de rendre l'utilisateur secondaire flexible à toutes les suggestions et à toutes les négociations.

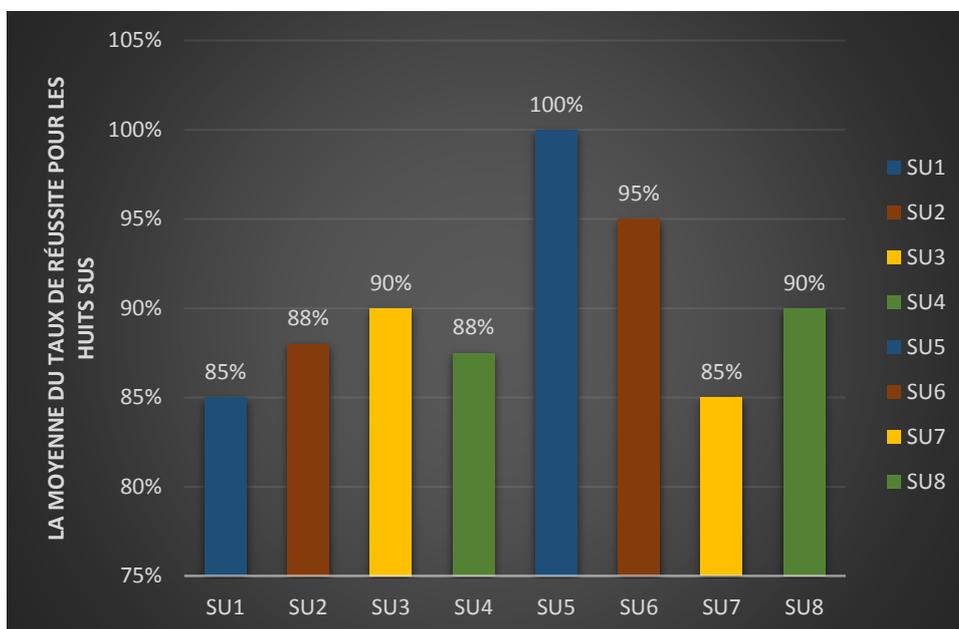


FIG 5.22 La moyenne du taux de réussite de partage du spectre des huit SUs avec leurs PUs correspondants pour les dix tentatives

III – 5 / Interprétation des résultats de simulations de la deuxième contribution

Les résultats trouvés des 10 tentatives de communications nous ont permis de voir le temps précieux que peut gagner ses utilisateurs secondaires à trouver des PUs convenables et de qualité répondant à leurs exigences d'allocation du spectre radio. Aussi le taux de réussite est quasi-total pour la plus part des SUs ayant recours à la base LBAA, l'utilité de cette base n'est pas obligatoire mais de façon suggestif, toutes les décisions prises des agents, que ce soit les SUs, les PUs ou le LBAA ont été programmés de façon autonomes pour interagir dynamiquement et d'une manière flexible avec leurs environnements.

III – 6 / Comparaison des résultats de simulations entre les deux contributions

Nous représentons dans la figure 5.23, la comparaison entre différents résultats de simulations des deux contributions pour le type de transmission de la vidéo conférence, puisque nous avons vu dans la première partie les critères exigés de la QoS de la vidéo conférence, nous avons voulu poursuivre sur la même lancée et de comparer les deux contributions sur ce même type de transmission. La moyenne du temps de convergence pour la première contribution est de 124 ms avec la présence de négociation entre le SU et le PU correspondant. Ce résultat est beaucoup plus petit que celui du cas sans négociation avec une moyenne de 193,5 ms. Comparé à notre seconde contribution la moyenne du temps de convergence pour les quatre premiers SUs sans la suggestion du LBAA est de 249,15 ms ce temps est trop élevé par rapport à la première contribution. Par contre les résultats de la moyenne du temps de convergence pour les quatre seconds SUs après la suggestion du LBAA, est beaucoup plus petit que celui des quatre premiers mais ça reste un temps moins bon que celui de la première contribution à 124 ms. Pour le SU5 qui présente le meilleur résultat de suggestion du LBAA, la moyenne du temps de convergence est de 138,9 ms, ce qui est inférieur à 150 ms exigé dans la QoS de la littérature [53], et assez proche de la première approche qui reste le meilleur résultat obtenu pour le temps de convergence.

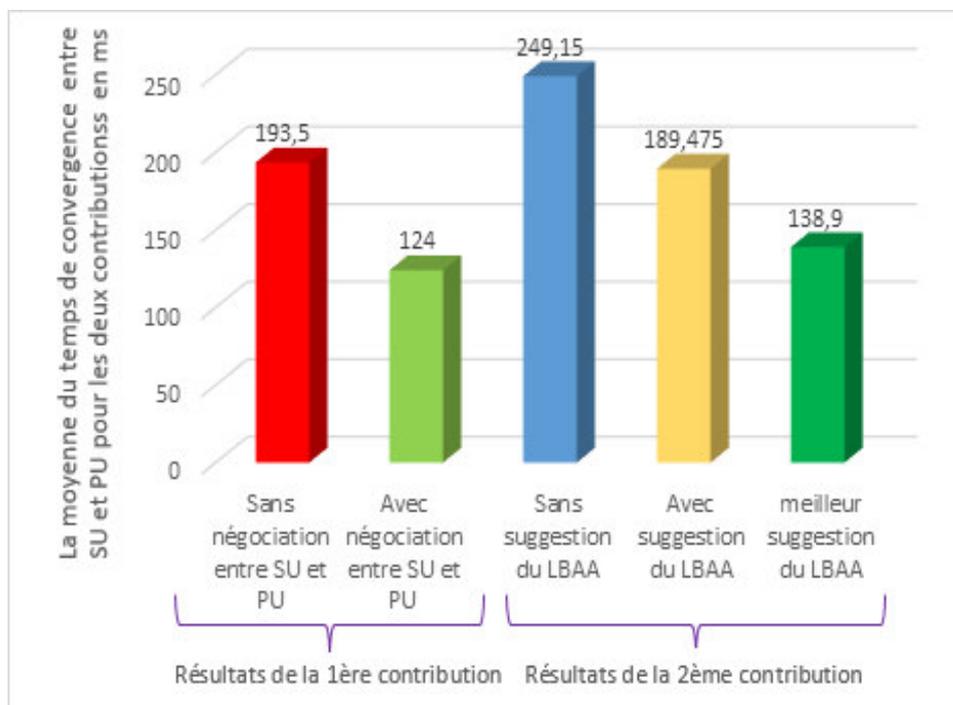


FIG 5.23 Comparaison du temps de convergence de communications de SU avec PU entre les deux contributions

La figure 5.24, représente les résultats de comparaisons de la moyenne du taux de réussite trouvé dans les deux contributions pour la QoS de la vidéo conférence, Pour la première contribution le taux de réussite de la présence de notre approche est nettement plus meilleur que celui de l'approche sans négociation entre le SU et le PU, avec une moyenne de réussite dépassant les 91% de succession. Alors que celui de l'autre (cas sans négociation) n'est que de 68,75%. Pour notre deuxième approche, les résultats sont beaucoup plus améliorés, avec un taux de réussite à 93% pour les quatre seconds SUs avec la présence de la suggestion du LBAA. Un taux supérieure à celui de la moyenne des quatre premiers (sans suggestion) et de celui de la première contribution et pour couronner le tout, le SU5, représente la meilleur moyenne du taux de réussite de partage du spectre avec 100% de réussite, un taux qui assure la QoS de la littérature [53] concernant le taux de perte qui doit être inférieure à 1%.

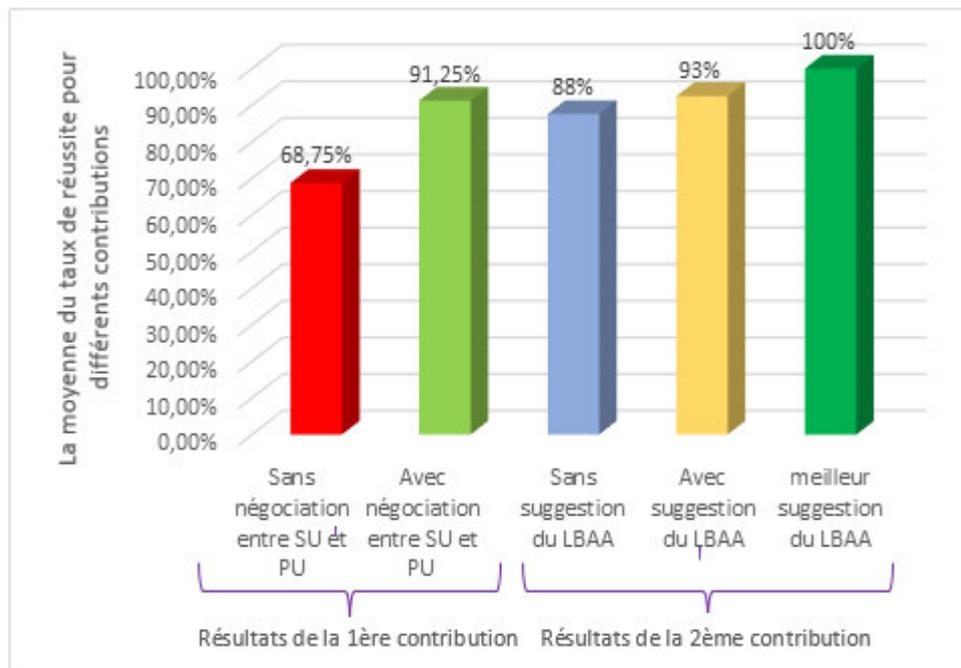


FIG 5.24 Comparaison du taux de réussite de partage du spectre du SU avec le PU correspondant entre les deux contributions

III – 7 / Interprétation de la comparaison entre les résultats des deux contributions

Nous avons vu dans les deux contributions, des résultats satisfaisant qui ont permis de régler les problèmes liés à la gestion du spectre. C'est deux contributions, représentent des résultats ayants un impact direct sur la qualité de service en assurant le temps de réponse, le taux erreur et la gigue conforme à l'exigence de la QoS de la vidéo conférence, pour les deux contributions. L'autonomie dans la prise de décision rend les systèmes cognitifs moins dépendant des administrateurs et plus auto-gérable dans la gestion du spectre radio.

IV- Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présentés les résultats de simulations des deux approches, avec des comparaisons sur plusieurs critères, dans la première approche, nous avons choisi de comparer les résultats de l'approche basée sur la négociation sur quatre types de transmissions à savoir la voix, l'email, le transfert des fichiers et la vidéo conférence. Les résultats trouvés sont très satisfaisants pour chaque type de transmission par rapport à la qualité de service et présentent de meilleurs résultats pour les types de transmissions qui nécessitent moins de canaux à allouer. Ensuite nous avons comparés celle du cas normal avec notre approche pour l'utilisateur secondaire de la vidéo conférence et ses résultats sont aussi meilleurs que ceux du cas normal. Dans la deuxième contribution, nous avons présenté un algorithme qui montre la communication des utilisateurs secondaires avec la base d'apprentissage autonome et avec les utilisateurs primaires. Par la suite nous avons donnés les résultats de la simulation de la base d'apprentissage, qui a permis de donner des résultats concluons et un gain conséquent dans la radio cognitive, tout en se basant sur une autonomie de gestion et d'apprentissage autonome dotés de capacité a manipuler le spectre de façon opportuniste et fiable. Et à la fin nous avons comparés entres les résultats des deux contributions pour voire leurs impacts dans la qualité de service de la vidéo conférence.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'autonomie dans les réseaux a suscité un réel changement dans les systèmes informatiques, et l'exploit de systèmes autonomes a révolutionné le monde. Même si les gens pouvaient d'une façon ou d'une autre trouver suffisamment de personnes qualifiées, la complexité est au-delà de l'habilité humaine pour la gérer. Au fur et à mesure que l'informatique évolue, les chevauchements des connexions, les dépendances, et l'interaction avec les applications appellent à la prise de décisions administratives et des réponses plus vite que n'importe quel homme peut offrir.

Les systèmes informatiques actuels sont dotés d'une capacité à interagir facilement avec l'environnement radio mais la gestion du spectre radio est devenue un incontournable sujet à se l'approprier. La radio cognitive est la solution à cet aspect de flexibilité de gestion de spectre permettant une adaptation totale avec l'environnement radio. Cette technologie permet de déduire et d'apprendre de son environnement et de se réinventer à chaque évènement provoqué dans son champ de détection.

Dans cette thèse nous avons présenté en premier lieu, un état de l'art sur les ondes radio et les réseaux, sur la technologie improbable de la radio cognitive et les réseaux autonomes qu'utilisent les scientifiques pour assurer un fonctionnement harmonieux de leurs équipements. Ensuite nous avons vu le comportement et l'impact d'autonomie dans le contexte de la radio cognitive, avec quelques travaux relatifs dans ce domaine un peu récents. Après nous avons proposé deux approches cognitives basées sur la négociation et la gestion dynamique du spectre radio d'une manière autonome en introduisant des mécanismes capables de s'auto-gérer avec un minimum d'intervention des administrateurs. Enfin, dans la dernière partie nous avons simulé ces deux approches dans une plateforme de développement des SMA (Système Multi Agents) qui est JADE (Java Agent DEvelopment), basé sur le langage de la radio cognitive avec le récent standard FIPA-ACL (ACL pour Agent Communication Language).

Les résultats trouvés dans cette thèse nous amènent à dire que l'autonomie est primordiale dans les systèmes de réseaux radio cognitifs. Pour les résultats de la première contribution nous remarquons que plus le nombre de canaux demandé est important plus le rendement demeure insatisfaisant. Par contre dans la comparaison avec le cas normal de la radio cognitive la QoS de la vidéo conférence est dégradé, dans le temps de réponse, le taux d'erreur et la gigue. Les résultats trouvés pour notre approche sont assez satisfaisants pour les quatre types de transmission mais le plus important ce sont les bons résultats de la transmission de la vidéo conférence par rapport à un système cognitif normal, en termes de qualité de service. La qualité de service des quatre types de transmission est assurée. Ce qui donnera de l'importance à la

négociation entre les utilisateurs secondaires et primaires pour une meilleure exploitation du spectre radio et une bonne qualité de service.

Dans la deuxième approche, les résultats de la contribution sont plus que satisfaisants puisque le temps de convergence de l'allocation du spectre de l'utilisateur secondaire est beaucoup plus réduit comparé au cas normal, et peu plus proche que celui trouvé dans la première approche avec la présence de la négociation, mais le taux de réussite est meilleur, idéal et beaucoup plus important que celui de la première approche. Cette base d'apprentissage autonome proposée, permettra aux utilisateurs secondaires de mieux partager le spectre avec les détenteurs du spectre et une gestion opportuniste des fournisseurs de service. Les résultats trouvés sont plus que satisfaisants par rapports aux temps de convergence et le taux de réussite que celui trouvé pour la première approche et celui du cas normal.

Dans la démarche suivante, nous espérons implémenter ces deux approches dans une interface GNU Radio basée sur la radio logiciel, et de réaliser une simulation sur des signaux réels capable d'interagir avec l'environnement radio, et d'étendre les approches proposés afin de traiter la mobilité des SU en tenant compte des aspects de la radio cognitive.

La réalisation de cette thèse a énormément contribué à l'enrichissement de nos connaissances dans plusieurs domaines intéressants, tant celui d'actualité tel que la radio cognitive ou ceux de la conception des réseaux autonomes. La simulation par la plateforme JADE (Java Agent Development) nous a aidées à comprendre l'aspect autonome par le comportement de ses agents cognitifs et à mieux comprendre le concept de la prise de décision ainsi que l'apprentissage des évènements produits auparavant.

Notre travail relève d'un thème difficile à aborder, nous espérons l'avoir fait de la plus correcte des manières et que nos lecteurs apprécieront cet effort.

ANNEXE

Les systèmes multi-agents et la
plateforme JADE

I – Introduction

Dans cette aire de la thèse, nous allons présenter une annexe en deux parties. La première partie correspond, est dédié à la définition des agents et des systèmes multi-agent avec des architectures et des principes qui font l'objet de l'étude de cette thèse. Ensuite nous allons définir la plateforme JADE (Java Agent DEveloppement Framework) et donner un exemple de simulation de cette plateforme sous l'IDE NetBeans dans la deuxième partie.

II – Agents et Systèmes Multi-agents

Le terme «agent» ou agent logiciel, a trouvé sa place dans un certain nombre de technologies. Il est largement utilisé dans plusieurs domaines, comme par exemple l'intelligence artificielle, les bases de données, les systèmes d'exploitation et dans la littérature des réseaux informatiques. Bien qu'il n'existe pas de définition unique d'un agent, toutes les définitions conviennent qu'un agent est essentiellement un composant logiciel spécial qui dispose d'une autonomie qui fournit une interface interopérable à un système arbitraire et/ou se comporte comme un agent humain, travaillant pour des clients à la recherche de leur propre mise à jour.

Même si un système d'agent peut être basé sur un agent solitaire dans un environnement de travail et si nécessaire en interaction avec ses utilisateurs, en général, ils sont constitués de plusieurs agents. Ces systèmes multi-agents (SMA) peuvent modéliser des systèmes complexes et d'introduire la possibilité pour les agents ayant des objectifs communs ou contradictoires. Ces agents peuvent interagir les uns avec les autres à la fois indirectement (en agissant sur l'environnement) ou directement (via la communication et de la négociation). Les agents peuvent décider de coopérer pour le bénéfice mutuel ou faire concurrence pour servir leurs propres intérêts.

- ✓ Un agent est autonome, car il fonctionne sans intervention directe de l'être humain et a le contrôle sur ses actions et son état interne.
- ✓ Un agent est social, car il coopère avec les humains ou d'autres agents afin de réaliser ses tâches.
- ✓ Un agent est réactif, car il perçoit son environnement et répond avec un temps opportun aux changements qui se produisent dans l'environnement.
- ✓ Un agent est proactif, parce qu'il n'agit pas simplement en réponse à son environnement, mais il est en mesure de présenter un comportement orienté vers un but en prenant l'initiative.
- ✓ De plus, si nécessaire, un agent peut être mobile, avec la possibilité de se déplacer entre les différents nœuds dans un réseau informatique. Il peut être véridique, offrant la

certitude qu'il ne communiquera pas délibérément de fausses informations. Il peut être bienveillante, et de toujours essayer de réaliser ce qu'on lui demande. Il peut être rationnelle, en agissant toujours dans le but d'atteindre ses objectifs et de ne jamais les empêchés à s'aboutir, et il peut apprendre, s'adapter à son environnement et aux désirs de ses utilisateurs [54].

Dans les systèmes multi-agents deux types d'agents sont fortement utilisés, on parle d'agents réactifs et d'agents cognitifs. Les agents réactifs ont un comportement qui se base sur des stimulus pour répondre à d'autres agents alors que les agents cognitifs sont des agents délibératifs avec un comportement qui se base sur la stratégie de réfléchir avant de répondre et de sélectionner un choix parmi plusieurs actions possibles.

II – 1 / Agent réactif

La figure A.1, nous montre la communication d'un agent réactif avec son environnement et l'interaction avec d'autres agents à l'aide de trois fonctions fondamentales définies en dessous.

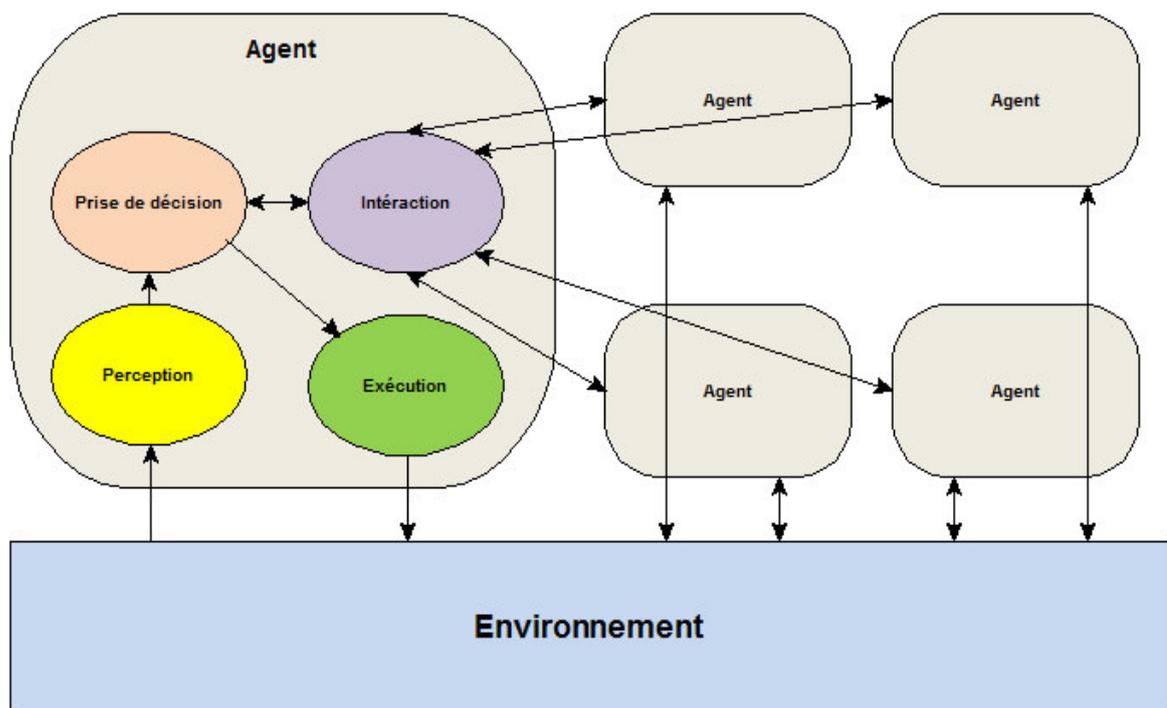


FIG A.1 Communication d'un agent réactif en interaction avec d'autres agents dans un système multi-agents

- La perception : la présence de la perception implique que l'agent est dans un environnement et qu'il communique dans ce dernier. Il peut aussi percevoir les actions des autres agents, percevoir des mouvements d'objets ou n'importe quel changement dans son environnement.

- La prise de décision : cela se traduit par le fait qu'un agent ait des connaissances qui les aient appris et un comportement autonome lui permettant d'exploiter ces informations pour qu'il puisse se décider en fonction de ses perceptions.

- L'exécution : l'agent peut agir avec son environnement tout en manipulant des objets et les déformer et en communiquant avec d'autres agents provoquant une coopération ou un conflit. Chaque action citée avant peut modifier d'une certaine façon une partie de l'environnement.

L'agent ne peut évoluer ou exister sans la présence d'un environnement, puisque l'environnement est une structure dans laquelle l'agent va agir et vise vers ça.

II – 2 / Agent cognitif

Les agents cognitifs sont représentés par un ensemble d'agents regroupent trois caractéristiques bien distinctes à savoir l'autonomie des agents dans le raisonnement et la prise de décision, la coopération avec d'autres agents et l'adaptativité de ces agents avec leurs propres environnements. Nous allons voir ces ensembles d'agents que représente l'agent cognitifs :

- ✓ *Les agents intelligents* : sont des agents dotés de la capacité d'apprentissage et de la négociation avec d'autres agents en modifiant ou bien en exploitant leurs connaissances, ils combinent les trois caractéristiques cités avant dans un niveau le plus élevé de l'ensemble d'agents (à savoir l'autonomie, la coopération et l'adaptativité).
- ✓ *Les agents collaborateurs* : sont des agents non favorables à l'apprentissage, autonomes et coopératifs mais leur adaptativité n'atteint pas l'adaptation et l'exploitation des connaissances. La coopération entre agents collaborateurs est plus élaborée que ceux des agents réactifs puisqu'ils permettent de négocier avec un utilisateur ou entre eux à travers leurs contraintes et objectifs communs.
- ✓ *Les agents interfaces* : sont des agents destinés à l'utilisation de quelques logiciels de bureautiques, permettant de capturer les actions de l'utilisateur (comme par exemple le clavier, la souris, mais aussi la voix et l'expression du visage pour une webcam d'une communication internet en caméra vidéo). Ces agents interfaces sont peu autonomes, réagissant au besoin des utilisateurs, ils ont une capacité de coopération assez limitée à l'échange d'informations pour les différentes actions des utilisateurs comme par exemple l'assistance à des interfaces au fonctionnement complexe dans certaines suites bureautiques.
- ✓ *Les agents informations* : sont des agents dédiés à la recherche des informations sur internet, ils sont peut qualifier en capacité d'adaptation et de coopération puisqu'ils se

déclenchent à des heures bien fixes pour rechercher des informations sur n'importe quelle recherche, mais en contrepartie ces agents sont dotés d'une grande autonomie en agissant seule en fonction des besoins de l'utilisateur par des agissements autonomes. Aussi ces agents ont une faculté d'un aspect de mobilité, permettant à ces agents informations de se déplacer dans le réseau à fin de mieux récolter les informations [55].

La figure A.2, nous permet de voir le degré de ces trois aspects caractéristiques des différents agents cité au-dessus, regroupé dans l'agent cognitif.

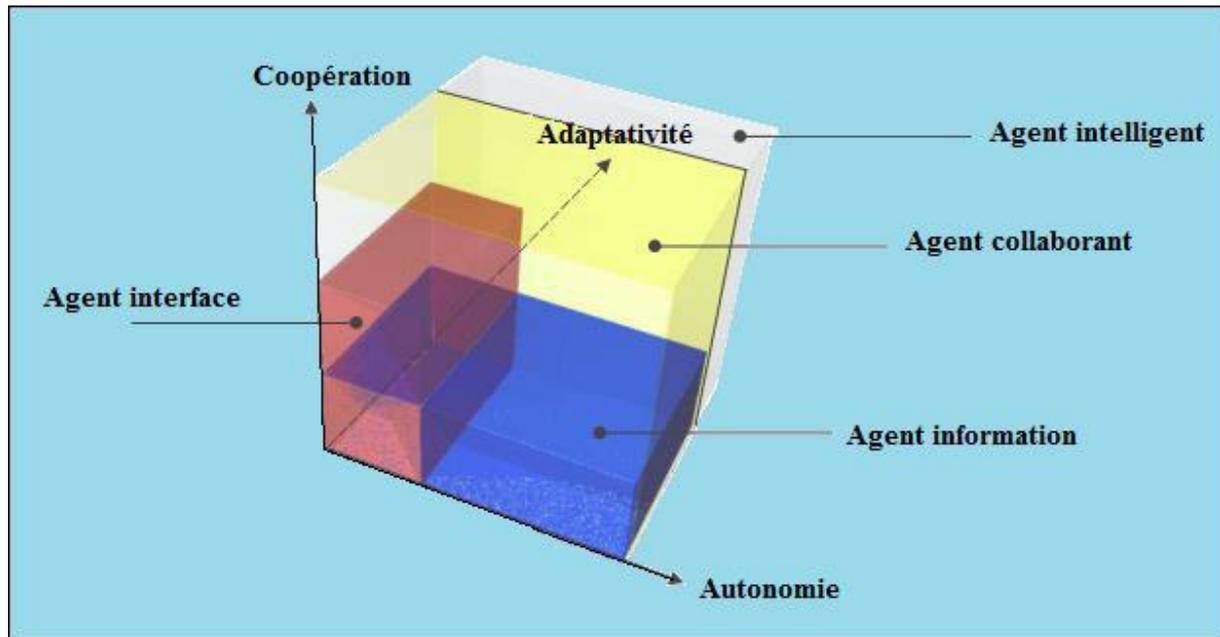


FIG A.2 Degrés d'autonomie, de coopération et d'adaptativité des principaux agents cognitifs [55]

Les systèmes multi-agents sont munis de la capacité de s'adapter avec l'environnement et de coopérer un ensemble d'agents dotés d'un comportement autonome et de coordonner leurs buts et leurs plans d'actions à fin de résoudre les problèmes de coopération entre agents.

II – 3 / Langages de communication inter-agents

Un des composants clés des systèmes multi-agents est la communication. En fait, les agents doivent être en mesure de communiquer avec les utilisateurs, les ressources du système, et les uns envers les autres s'ils ont besoin de coopérer, collaborer, négocier. En particulier, les agents interagissent les uns avec les autres en utilisant des langages de communication spéciaux, appelés langues de communication de l'agent, qui s'appuient sur la théorie des actes de langage et qui fournissent une séparation entre les actes de communication et la langue du contenu.

- ✓ **Langage de communication KQML** : La première langue de communication de l'agent avec une large absorption était KQML (Knowledge Query and Manipulation

Language). KQML a été développé au début des années 1990 dans le cadre du partage des connaissances [54]. Ce dernier est fondé sur la théorie des actes de langage dans le but de permettre aux agents cognitifs de coopérer, C'est aussi un langage et un protocole d'échange d'informations et de connaissances qui définit un certain nombre de verbes performatifs et permet au contenu du message d'être représenté dans un langage logique comme premier ordre appelé KIF (Knowledge Interchange Format).

- ✓ **Langage de communication FIPA-ACL :** Actuellement la langue de communication de l'agent le plus utilisé et étudié est la FIPA-ACL (Foundation for Intelligent Physical Agents- Agent Communication Language), superficiellement semblable et intègre de nombreux aspects de KQML. Sa syntaxe est identique à ce dernier, excepté différents noms pour quelques primitifs réservés. Les principales caractéristiques de FIPA-ACL sont la possibilité d'utiliser différents langages de contenu et la gestion des conversations par des protocoles d'interaction prédéfinis. Les spécifications de FIPA-ACL se composent d'un ensemble de types de message et de la description de leur pragmatique que sont, des effets sur les attitudes mentales des agents (expéditeur et récepteur) [56].

II – 4 / Négociation dans les systèmes multi-agents

La négociation dans les SMA est basée sur l'interaction et la communication entre agents avec le but d'arriver à un accord. Cette technique est basée sur la résolution de conflits entre agents qui ne fixe aucun plan préalable, en résolvant le conflit au moment où il se provoque. La négociation, permet de mettre en œuvre des mécanismes de résolution de conflits basés sur des agents plutôt que de planifier l'ensemble des actions et leurs interactions.

La négociation dans un logiciel multi-agents comprend les aspects suivants :

- Un langage de communication entre agents à fin d'échanger les informations utiles à la négociation et est composé d'un ensemble de primitives de communication.
- Un protocole de négociation qui constitue les règles prédéfinies de la négociation, incluant les individus, les offres, les états et les conditions déterminant si l'accord sera du ou peut être arrêté.
- L'objet de négociation qui détermine le sujet auquel est engendrée la négociation.
- Le processus de décision sur lequel un agent décide de choisir la position, les concessions, et les critères sur quoi il s'est basé pour inclure un accord avec les autres agents.
- Les individus sont les agents participants dans la négociation classés selon leurs nombres et leurs interactions dans la négociation, répartis sur trois scénarios possibles :

1. **négoce un-à-un** : chaque agent négocie avec un autre agent sur un critère bien définie, par exemple : sur le prix d'achat d'une voiture avec un agent commercial.
2. **négoce un-à-plusieurs** : chaque agent négocie avec un groupe d'agents, par exemple : dans la vente des objets dans les enchères.
3. **négoce plusieurs-à-plusieurs** : plusieurs agents communiquent avec d'autres agents, comme par exemple : dans la bourse mondiale des actions [56].

III – Plateforme des systèmes multi-agents

Une plateforme des systèmes multi-agents est une infrastructure de logiciels imaginé et conçu comme un environnement pour le déploiement et l'exécution d'un ensemble d'agents. Le développeur à permet de créer des agents pour une plateforme et les implanter sur tous les systèmes qui supportent cette plateforme sans aucune modification de code. En plus, comme la plateforme d'agents a une grande influence sur la conception et la mise en œuvre des agents, FIPA a inclut des normes qui concernent une plateforme d'agents basés sur les ACL (Agent Communication Language) [57].

Les systèmes multi-agents présentent plusieurs plateformes de simulation, de développement et d'exécution, nous citons parmi eux les plus connues à savoir : JAL (Jack Agent Language), JADE (Java Agent DEvelopment framework), MADKIT (Multi-Agents Development Kit) et MAGIQUE (Multi-Agents hiérarchIQUE). Dans le cadre de notre thèse, nous nous somme intéressé à la plateforme JADE basé sur Java en utilisant le langage de communication de la norme FIPA-ACL conforme au principe de la radio cognitive et avec l'autonomie nécessaire de ses agents.

III – 1 / Plateforme JADE

JADE (Java Agent DEvelopment framework) est une plateforme de développement de logiciels visant à développer les systèmes multi-agents et des applications conformes aux normes FIPA pour les agents intelligents. Il comprend deux produits principaux : une plateforme d'agents FIPA et un paquet de développement d'agents Java. JADE est un programmeur d'agent qui a été entièrement codé en Java, afin d'exploiter sa structure logicielle, qui devrait coder ses agents en Java, en suivant les directives de mise en œuvre décrites dans le guide de ce programmeur.

JADE est écrit en java et est fait de divers packages Java, donnant aux programmeurs d'applications deux pièces prêtes à l'emploi des fonctionnalités et des interfaces abstraites pour la personnalisation des tâches dépendantes de l'application. Java est le langage de programmation de choix, en raison de ses caractéristiques attrayantes semblable à l'être humain.

Il est particulièrement axé vers la programmation orientée objet dans des environnements hétérogènes distribués [54].

L'architecture de JADE est construite sur la coexistence de plusieurs Machines Virtuelles Java (JVM) en communiquant par la méthode des invocations à distance RMI (Remote Method Invocation) utilisé par Java entre différentes machines virtuelles. Chaque machine virtuelle est un conteneur d'agents qui donne l'exécution complète pour n'importe quel environnement, pour différents agents qui s'exécutent sur le même hôte simultanément.

La plateforme de JADE est constituée de conteneurs d'agents. Déterminant pour chaque conteneur d'agents, un environnement multi-agents d'exécution composé d'un thread pour chaque agent, les threads sont créés dans le but d'envoyer des messages par le système RMI.

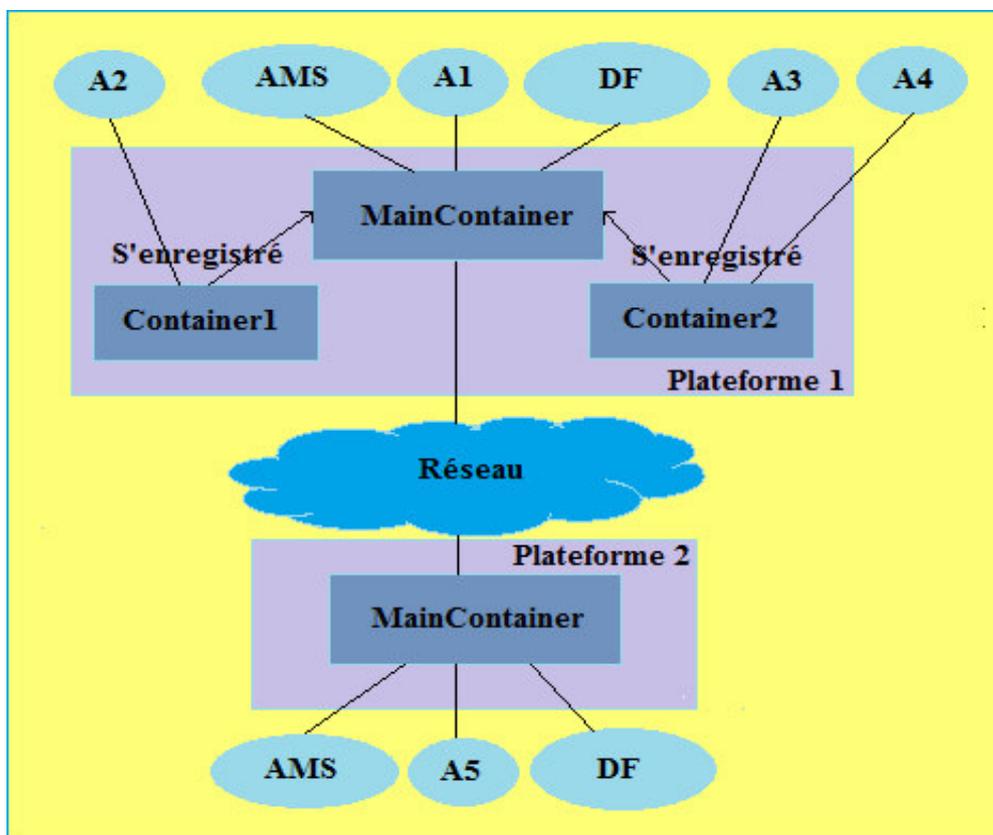


FIG A.3 Architecture des conteneurs JADE

Dans La plateforme 1 de la figure A.3 les trois conteneurs représentés par MainContainer, Container1 et Container2 possèdent en minimum un agent. Le premier conteneur (Container1) possède un seul agent nommé A2, alors que le deuxième conteneur (Containe2) possède deux agents nommé par A3 et A4.

Le conteneur principale (MainContainer) joue le rôle d'un frontal de la plateforme et possède un agent A1 : il représente la plateforme pour l'aspect extérieur et contient deux principaux modules conformes aux normes FIPA, activés à chaque démarrage de la plateforme :

- *DF (Director Facilitator)* : permet de fournir à la plateforme le service de pages jaunes.
- *AMS (Agent Management System)* : ce système de gestion permet de superviser l'enregistrement des agents, leur authentification, leur accès et l'utilisation du système.
- Un troisième et principal module est nécessaire dans la gestion de communication entre agents, qui est l'ACC (Agent Communication Channel) [57].

Il existe aussi d'autres modules complémentaires au trois premiers :

- Le runtime Environment : c'est l'environnement où les agents peuvent être aperçus. Cet environnement est nécessaire et doit être activé pour le lancement des agents.
- La librairie de classes : nécessaire pour utiliser les agents par les développeurs.
- La suite d'outils graphiques : c'est l'aspect sur lequel le débogage sera plus facile, ainsi que l'amélioration de la gestion et la supervision de la plate-forme des agents.
- Dummy Agent (DA) : est un outil très simple qui est utile pour l'envoi de stimuli, sous la forme de messages d'ACL personnalisés, pour tester le comportement d'un autre agent. Il est mis en œuvre par les classes de `jade.tools.DummyAgent.DummyAgent`. Sa seule fonction est d'envoyer et de recevoir des messages personnalisés qui peuvent être composée à l'aide d'une interface graphique simple chargés ou sauvegardés dans /à partir d'un fichier. Quand un agent d'application est lancé, un Dummy Agent peut être utilisé pour stimuler en envoyant des messages définis par l'utilisateur à fin d'analyser sa réaction en termes de messages reçus [54].
- Sniffer Agent (SA) : ce type d'agent est utilisé dans le but de faire épier un ou plusieurs agents. Les messages échangés entre les différents agents seront captés et affichés sur l'interface du sniffer. L'utilisateur peut voir, consulter et enregistrer ces messages échangés, pour éventuellement les analyser plus tard. Le Sniffer Agent peut être lancé par le biais de l'interface RMA ou par la ligne de commande suivante : `Java jade.Boot sniffer : jade.tools.sniffer.sniffer`.
- Introspector : ce type d'agent permet la gestion et le contrôle du cycle de vie des agents en exécution ainsi que les différents messages envoyés et reçus entre agents.

La figure A.4, représente des exemples des interfaces RMI, DA et Introspector utilisés en jade pour la manipulation des agents, pour le SA nous avons déjà défini des exemples de simulation du Sniffer Agent dans le dernier chapitre (chapitre 5).

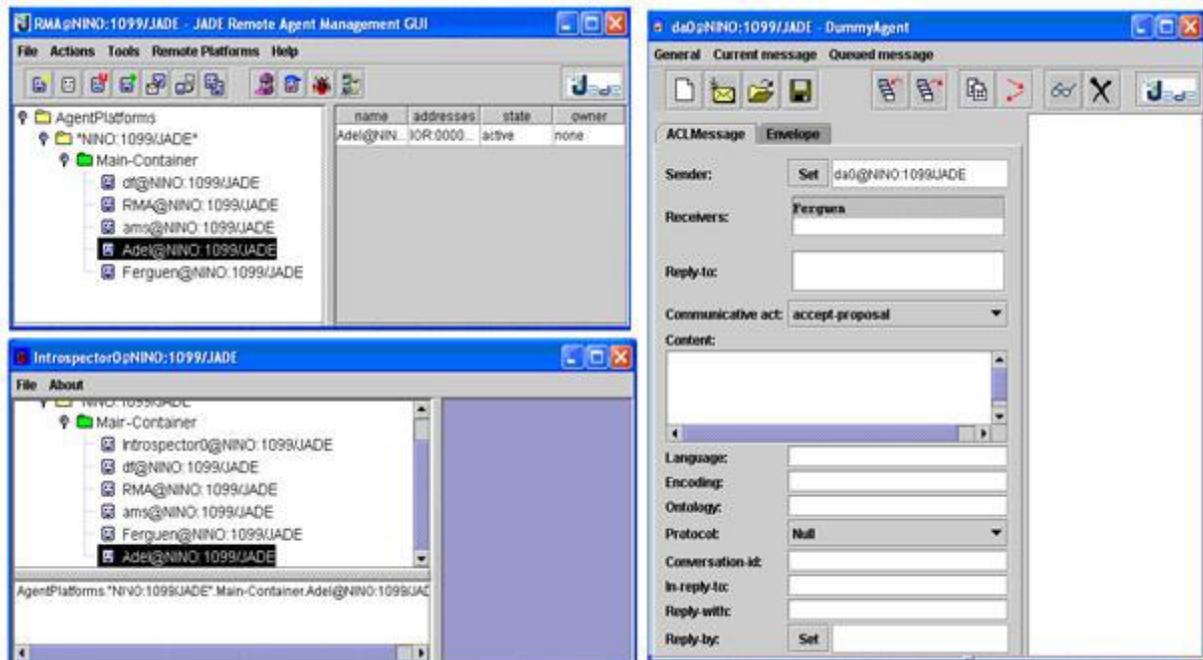


FIG A.4 Interfaces des RMI, DA et Introspector

III – 2 / Exemple de programme java dans la plateforme JADE

Nous allons présenter un exemple de programme de négociation entre agents autonomes permettant l'allocation dynamique du spectre radio d'un utilisateur secondaire en négociant avec l'utilisateur primaire (négociation un à un) pour lui céder un nombre de canaux nécessaires pour assurer la qualité de service requise pour partager le spectre avec ce dernier.

Code de SU1 et PU1 en java

```
// L'agent SU1 envoie une requête à l'agent PU1 demandant de lui allouer 4 canaux
Portail.jTextArea.append ("\n" + " *** SU1 envoie aux PU1 correspondent le nombre de canaux
nécessaires pour son application et le PU1 répond à son tour *** " + "\n")
c = Portail.jTextField.getText();
s = Integer.parseInt(c);
start = System.currentTimeMillis();
ACLMessage msg1 = new ACLMessage(ACLMessage.REQUEST);
msg1.setLanguage("English");
msg1.setOntology("Weather-forecast-Ontology");
msg1.addReceiver(new AID("PU1", AID.ISLOCALNAME));
msg1.setContent(" " + s);
send(msg1);
// Le PU1 informe avec un ACLMessage le SU1 de sa situation
if (msg != null) {
String t = msg.getContent();
System.out.println("t="+t);
}
```

```

int s = Integer.parseInt(t);
if (s == 4) {
Portail.jTextArea.append("" + S);
Portail.jTextArea.append(" canaux libres sont disponibles coté PU1 ");
Portail.jTextArea.append(" ***** la QoS demandé par le SU1 pour satisfaire la vidéo conférence est
affaiblie ***** \n");
Portail.jTextArea.append(" ***** le SU1 fonctionne dans le mode Avertissement (phase de
négociation) ***** \n");
ACLMessage mssage = new ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
mssage.addReceiver(new AID("SU1", AID.ISLOCALNAME));
mssage.setLanguage("English");
mssage.setContent("Je peux vous assurez le nombre de canaux demander mais pas la QoS demandé);
send(mssage);
b =2;
}
}
// SU1 négocie avec PU1 en lui proposant de libérer au moins un canal pour assurer la QoS
demandé
if (b == 2){
Portail.jTextArea.append(" Agent PU1 peut satisfaire le nombre de canaux demandé mais pas la QoS
demandé " + "\n");
Portail.jTextArea.append("\n");
Portail.jTextArea.append(" ***** le SU1 entame la phase de négociation (Auto -protection) ***** "
+ "\n");
Portail.jTextArea.append("\n");
ACLMessage msg = new ACLMessage(ACLMessage.PROPOSE);
msg.addReceiver(new AID("PU1", AID.ISLOCALNAME));
msg.setContent("je veux que vous libérer au moins un canal");
send(msg);
// PU1 accepte ou refuse la négociation avec SU1
w = Portail.jTextField2.getText();
q = Integer.parseInt(w);
ab = q - 1;
z = (int) (Math.random() * 2);
if (z == 0) {
j = ab;
} else if (z == 1) {
j = q;
}
if (j == ab) {

```

```
Portail.jTextArea.append(" Agent PU1 à accepter la négociation" + "\n");
Portail.jTextArea.append(" Demande satisfaite coté SU1" + "\n");
ACLMessage msge = new ACLMessage(ACLMessage.ACCEPT_PROPOSAL);
msge.addReceiver(new AID("SU1", AID.ISLOCALNAME));
msge.setLanguage("English");
String test="fin";
msge.setContent(test);
send(msge);
}
else if (j == q){
Portail.jTextArea.append(" Agent PU1 n'à pas accepter la négociation " + "\n");
Portail.jTextArea.append(" Demande n'est pas satisfaite coté SU " + "\n");
Portail.jTextArea.append(" ***** le SU1 entame la phase du handover (Auto - guérison) ***** " +
"\n");
ACLMessage msg1 = new ACLMessage(ACLMessage.REJECT_PROPOSAL);
msg1.addReceiver(new AID("SU1", AID.ISLOCALNAME));
msg1.setLanguage("English");
msg1.setContent(" " + s);
send(msg1);
}
// Si le PU1 refuse la négociation, SU1 va détecter et communiquer avec un autre utilisateur
primaire qui est le PU2 et va suivre la même procédure que celle faite avec PU1.
```

IV – Conclusion

Nous avons décrit dans cet annexe, une vue globale sur les agents et les systèmes multi-agents dans le domaine informatique. Ensuite nous avons décrit brièvement la plateforme JADE basé sur Java, qui est considéré comme une plateforme idéale à notre étude des mécanismes autonomes dans le contexte de la radio cognitive. En dernier lieu nous avons donné un exemple de négociation entre l'agent SU et l'agent PU, sur un critère primordial dans la gestion du spectre qui est le nombre de canaux alloués par le SU afin d'assurer la QoS demandée par notre utilisateur RC.

BIBLIOGRAPHIE

Références

- [1] : P. Savoini, "Introduction à la physique des plasmas", Université de SORBONNE, 2011-2012.
- [2] : A. Bernard, "Ondes radio", juin 2004, Site web : <http://www.techno-science.net>. Consulter le 10/04/2015.
- [3] : A. Amraoui, W. Baghli, et B. Benmammar. "Radio Cognitive : Synthèse de profils applicatifs". (Book). Editeur ; les EUE (Février 2012). ISBN-13 : 978-613-1-53700-4.
- [4] : <http://www.aero-hesbaye.be/dossiers/onderadio/onderadio.html>. Consulter le 14/04/2015.
- [5] : N. M. Saad, "Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique", Thèse de doctorat Université de LIMOGES, 2005.
- [6]: J. G. Proakis, "Digital communications", Third edition, New York: Mc Graw – Hill, USA, 1995.
- [7] : J. Nakad, "Allocations de ressources radio dans un réseau local sans fil (WLAN) de type OFDM", Sous l'égide de l'Agence Universitaire de la Francophonie AUF, décembre 2003.
- [8]: C. Cordeiro, K. Challapali, and D. Birru, "IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios", journal of communications, VOL. 1, NO. 1, Qualcomm Inc. /Standards Engineering Dept., San Diego, USA, APRIL 2006.
- [9] : S. Boudjit, "L'indépendance des patients grâce aux réseaux mobiles", Institut Galilée, Laboratoire de Traitement et de Transport de l'Information (L2TI), 2010.
- [10] : A. Djennane, "La gestion de la mobilité dans les réseaux WiMAX 802.16e", thèse de Magistère, Université Batna, juin 2014.
- [11] : B. Doyi, "Gestion des ressources radios dans les réseaux sans fils : cas d'un réseau WiMax", Université de Kinshasa, 2009 -2010.
- [12] : E. Meurisse, "L'UMTS et le haut-débit mobile", Février 2007.
- [13] : J.-F. Pillou, "Téléphonie mobile - 3G et 4G expliquées", Juin 2014, Site web : <http://www.commentcamarche.net>. Consulter le 14/04/2015.
- [14]: A. Scrase, "3GPP Standards Update", FemtoZone Presentation, Mobile World Congress, 16th February 2011.
- [15]: 'ITU-R Confers IMT-Advanced (4G) Status to 3GPP LTE', China, October 2010. Site web : <http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1319-ITU-R-Confers-IMT-Advanced-4G-Status-to-3GPP-LTE>. Consulté le 16/04/2015.
- [16]: J. Mitola, and G. Maguire "Cognitive radio: Making software radios more personal", IEEE Personal Communications, August 1999.
- [17] : A. Metref, "Contribution à l'étude du problème de synchronisation de porteuse dans le contexte de la Radio Intelligente", Human-Computer Interaction. Université Rennes 1, Novembre 2010. French. <tel-00534856>.

- [18] : J. Palicot, "De la radio logicielle à la radio intelligente", 2010, Hermes/lavoisier.
- [19] : M. Nicolas. "Radio logicielle : analyse d'architectures matérielles et outils informatiques". Electronics. 2011. <dumas-00693426>.
- [20] : B. Benmammar, "Présentation de la radio cognitive", cel-00680189, version 1 - 18 Mar 2012.
- [21]: I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, and K. R. Chowdhury, "CRAHNs: cognitive radio ad hoc networks", Ad Hoc Networks, vol. 7, no. 5, pp. 810–836, 2009.
- [22] : I. Ngom, et L. Diouf, "La radio cognitive", Master Professionnel Télécommunications 2007/2008.
- [23] : M.Z. Baba-ahmed, B.Benmammar, et F.T.Bendimerad, "Vers l'auto-gestion d'un réseau de radio cognitive", International Congress on Telecommunication and Application'14 University de A.MIRA Bejaia, Algérie, 23-24 Avril 2014.
- [24]: H. Arslan "Cognitive radio, Software defined radio and adaptive wireless systems", Springer, 2007.
- [25]: E. Hossain, D. Niyam, and Z. Han, "Dynamic Spectrum Access and management in cognitive radio networks", Cambridge University Press, 2009.
- [26] : J.C Dunat, "Allocation opportuniste de spectre pour les radios cognitives", Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris, France, Avril 2006.
- [27]: Shahzad A. et al. (2010), "Comparative Analysis of Primary Transmitter Detection Based Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio Systems", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4(9), pp: 4522-4531, INSInet Publication.
- [28]: B. Benmammar, A. Amraoui, and F. Krief, "A Survey on Dynamic Spectrum Access Techniques in Cognitive Radio Networks". International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS). Vol. 5, No. 2, August 2013, pp: 68-79. ISSN: 2076-0930 (Print), ISSN: 2073-607X (Online).
- [29] : N. Ali Saoucha, "Paramétrage des algorithmes génétiques pour l'optimisation de la QoS dans les réseaux radios cognitifs ", Mémoire de magistère, Université de M'SILA, Algérie, Mars 2013.
- [30] : I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "A Survey on Spectrum Management in Cognitive Radio Networks", IEEE Communications Magazine, pp.40-48, April 2008.
- [31] : B. Benmammar, "Intelligences artificielles et radio cognitive", cel-00680196, version 2 - 25 Mar 2012.
- [32] : E. Trigui, M. Esseghir, et L. Merghem Boulahia, "Gestion dynamique du spectre entre terminaux radio cognitive mobiles", Université de Technologie de Troyes, inria-00587117, version 1 - 19 avril 2011.
- [33] : My Blog Guest, "Le système nerveux périphérique", Juin 2010. Site Web : <http://www.trikapalanet-fr.com>. Consulter le 20/04/2015.

- [34]: P. Horn, "Autonomic Computing: IBM's Perspective on the State of Information Technology", IBM Corporation (October 15, 2001).
- [35]: P. Lin, A. MacArthur, and J. Leaney, "Defining Autonomic Computing: A Software Engineering Perspective", Proceedings of the 2005 Australian Software Engineering Conference (ASWEC'05).1530-0803/05, 2005 IEEE.
- [36]: C. Shen, D. Pesch, and J. Irvine, "A Framework for Self-Management of Hybrid Wireless Networks Using", Proceedings of the 3rd Annual Communication Networks and Services Research Conference (CNSR'05) 0-7695-2333-1/05, 2005 IEEE.
- [37]: M. C. Huebscher , and J. A. McCann, "A survey of autonomic computing—degrees, models, and applications", ACM Computing Surveys (CSUR), v.40 n.3, p.1-28, August 2008 [doi>10.1145/1380584.1380585].
- [38]: A. Harbaoui, "Vers une modélisation et un dimensionnement automatiques des applications réparties", Laboratoire Informatique de Grenoble et Orange labs, 21 Octobre 2011.
- [39] : S. Krishnamurthy, M. Thoppian, S. Kuppa, R. Chandrasekaran, N. Mittal, S. Venkatesan, and R. Prakash, "Time-efficient distributed layer-2 auto-configuration for cognitive radio networks", University of Texas at Dallas, Richardson, TX 75083, USA, November 2007.
- [40] : A. Mihailovic, G. Nguengang, A. Kousaridas, et all, "An Approach for Designing Cognitive Self-Managed Future Internet", the European Commission Seventh Framework Program ICT-2008-224344 through the Self-NET Project (<https://www.ict-selfnet.eu>), 2010.
- [41]: C. Coadjutor, "Introduction to Autonomic Computing", mars 2011, Site web: <http://hareenlaks.blogspot.com/2011/03/initiatives-of-autonomic-computing.html>. Consulter le 20/04/2015.
- [42]: G. Bouabene, C. Jelger, C. Tschudin, S. Schmid, A. Keller, and M. May, "The Autonomic Network Architecture (ANA) ", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 28, NO. 1, JANUARY 2010.
- [43]: A. Manzalini, and F. Zambonelli, "Towards Autonomic and Situation-Aware \hat{A} Communication Services: the CASCADAS Vision", IEEE 2006 Workshop on Distributed Intelligent Systems, Prague, June 2006.
- [44]: E. Altman, P. Dini, D. Miorandi, and D. Schreckling, "Paradigms for Biologically-Inspired Autonomic Networks and Services", The BIONETS Project eBook, This eBook constitutes project deliverable D0.2.3, and its diffusion level is marked as Public. c BIONETS Consortium, 2010.
- [45]: G. Sakellari, "The Cognitive Packet Network: A Survey", The Computer Journal (2010) 53 (3): 268-279 first published online June 5, 2009.
- [46]: E. Gelenbe, R. Lent, A. Montuori, and Z. Xu, "Cognitive Packet Networks: QoS and Performance", Proceedings 10th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunications Systems. MASCOTS 2002.

- [47]: T. Lau, D. Oblinger, L. Bergman, V. Castelli, and C. Anderson, "Learning procedures for autonomic computing", IJCAI workshop on AI and autonomic computing: developing a research agenda for self-managing computer systems, Acapulco, Mexico, 10th August 2003.
- [48]: U. Wiggins, R. Kannan, V. Chakravarthy, and A. V. Vasilakos, "Data-Centric Prioritization in a Cognitive Radio Network: a Quality of Service based Design and Integration", 978-1-4244-2017-9/08/\$25.00 ©2008 IEEE.
- [49] : N. Sabouret, "Systèmes Multi-Agents Méthodologie et mise en pratique", Module A4MA – November 2009.
- [50]: V. M. Glushkov, "The abstract theory of automata", Russian Math. Surveys, vol. 16, 1961, p. 1–53.
- [51] : Recommendation ITU-T Z.120, "Series Z: Languages and general software aspects for telecommunication systems Formal description techniques (FDT) – Message Sequence Chart (MSC) ". International Telecommunication Union. February 2011.
- [52]: F. L. Bellifemine, G. Caire, and D. Greenwood, "Developing Multi-Agent Systems with JADE", Wiley, February 2007.
- [53]: T. Szigeti, and C. Hattingh, "End-to-End QoS Network Design: Quality of Service in LANs, WANs, and VPNs", Published Nov 9, 2004 by Cisco Press. Part of the Networking Technology series.
- [54]: F. Bellifemine, G. Caire, and D. Greenwood, "Developing Multi-Agent Systems with JADE", John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, Padgham/Winikoff: Developing Intelligent Agent Systems 0470861207 (June 2004), Pitt (ed.): Open Agent Societies 047148668X (August 2004).
- [55] : E. Adam. "Modèle d'organisation multi-agent pour l'aide au travail coopératif dans les processus d'entreprise : application aux systèmes administratifs complexes". Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2000. French. <tel-00007961v2>.
- [56] : A. Florea, D. Kayser, and S. Pentiu, "Agents et Systèmes Multi-agents", Politechnica University of Bucharest – 2002, URL: <http://turing.cs.pub.ro/auf2/>.
- [57] : H. Halioui, and M. Khemakhem, "Implementation des E-Markets sous des plateformes multi-agents", MIRACL, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Sfax, Tunisie, hal-00704642, version 1 - 5 Jun 2012.

Liste des publications

- Revue internationale

- 1 M.Z. BABA-AHMED, B. BENMAMMAR, F.T. M BENDIMERED, “Spectrum Allocation for Autonomous Cognitive Radio Networks”, IJACT: International Journal of Advancements in Computing Technology, Vol. 7, No. 2, pp. 48 ~ 59, 2015.

ISSN: 2005-8039 (Print).

ISSN: 2233-9337 (Online).

Site Web: <http://www.aicit.org/IJACT/ppl/IJACT3525PPL.pdf>

- Conférences internationales

- 1 M.Z. BABA-AHMED, B. BENMAMMAR, F.T. M BENDIMERED, “Self-protection and self-healing in the context of cognitive radio”, ICAIIT’14, 10 -12 Mars 2014, Ouargla, Algérie.

Site Web:

http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/7830/1/icaait2014_submission_26.pdf

- 2 M.Z. BABA-AHMED, B. BENMAMMAR, F.T. BENDIMERED, “Vers l’auto-gestion d’un réseau de radio cognitive”, International Congress on Telecommunication and Application, Université de A.MIRA Bejaïa, ICTA’14, 23-24 Avril 2014, Algérie.

Site Web: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1404/1404.5385.pdf>

- Conférence nationale

- 1 M.Z. BABA-AHMED, B. BENMAMMAR, F.T. BENDIMERED, “Mécanisme d’adaptation autonome dans les réseaux de radio cognitive ”, Université de Tlemcen, JLTT’14, 27-30 Avril 2014, Algérie.

- 2 M.Z. BABA-AHMED, B. BENMAMMAR, F.T. BENDIMERED, “ Négociation entre agents autonomes dédié aux systèmes de radio cognitive”, Université de Tlemcen, JLTT’15, 31 Mai 2015, Algérie.