

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE ET ELECTRONIQUE (GEE)



Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de
MASTER en Télécommunication

Option : Réseaux Mobile et Service (RMS)

Présenté par
BENBRAHIM Abdel Gheffar
JEMAN Clive Gareth



THEME

Analyse d'une chaine de communication d'un
réseau basé sur la radio cognitive

Soutenu le 24 juin 2013 devant un jury composé de

Mr R. Merzougui
Mr H. Zerrouki
Mr R. Bousbdellah

Président
Examineur
Encadreur

MC. B à l'université de Tlemcen
MA. A à l'université de Tlemcen
MA. A à l'université de Tlemcen

Remerciement

Nos remerciements les plus sincères vont aux personnes qui nous ont apporté leur contribution, leur collaboration et leur soutien et qui nous ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à notre encadreur Mr Réda BOUABDALLAH qui nous a proposé ce thème, nous a prêté de son temps le plus précieux et nous a aidé par ses précieuses directives.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté de nous prêter leur attention et d'évaluer notre travail.

Je dédie ce mémoire
A mes parents et enseignants qui ont contribué à mon
éducation, A tous mes amis proches et lointains,
A mon binôme clive pour son sérieux et sa détermination.

Abdel gheffar

Je dédie ce modeste travail

*A **mes parents**, mes estimes pour eux sont immenses, je vous remercie pour tout
ce que vous avez fait pour moi.*

*Que **Dieu** vous préserve une longue vie heureuse.*

*A ma très chère **sœur Daphne**,*

A mon binôme abdel Gheffar,

*A tous **mes amis***

*Je vous dédie ce travail et vous souhaite un avenir à la hauteur de vos
ambitions.*

Jieman Clive

Résumé

Pendant les dernières années, il y a eu énorme amélioration des services de communication mobile. En raison de cette croissance rapide dans le domaine des communications, la demande du spectre sans fil a augmenté rapidement. L'étude menée par la FCC (Federal communication Commission) montre que le spectre est disponible, mais son utilisation n'est pas efficace. Ce genre d'inefficacité de l'utilisation du spectre peut être surmonté par l'utilisation de la radio cognitive qui permet aux utilisateurs secondaires (SU) d'utiliser le spectre (ou bien une partie) chaque fois qu'il est disponible.

Dans ce mémoire, un opportuniste cognitif protocole MAC (OC-MAC) a été présenté pour la radio cognitive pour accéder au spectre inoccupé opportuniste et la coexistence avec le réseau local sans fil ad hoc (WLAN). Dans le protocole OC-MAC, il existe un canal de commande dédié sur lequel les nœuds cognitifs en concurrencent les uns avec les autres pour la réservation de canaux de données. Lorsqu'un utilisateur secondaire commence à utiliser le canal de données et l'utilisateur primaire réclame, le SU quitte le spectre et se déplace vers un autre canal disponible.

Tous les scénarios de simulation sont développés dans le simulateur de réseau d'OPNET v14.5 et des résultats de simulation sont rassemblés pour les différents scénarios.

Abstract

In recent years, there has been tremendous improvement in mobile communication services. Because of this rapid growth in the field of communications, the demand for wireless spectrum has increased rapidly. The study by the Federal Communications Commission (FCC) shows that the spectrum is available, but its use is not effective. This kind of inefficiency of the spectrum can be overcome by the use of cognitive radio that enables secondary users (SU) to use the spectrum whenever it is available.

In this dissertation, an opportunistic cognitive MAC (OC-MAC) protocol has been proposed for cognitive radio to access the opportunistic unoccupied spectrum and coexistence with the local ad hoc wireless network (WLAN) in the OC-MAC protocol, is a dedicated control channel on which cognitive nodes compete with each other for the reservation of data channels, when a secondary user starts using the data channel and the primary user wants, the SU leaves the spectrum and move to another channel available.

All scenarios are developed in the network simulator OPNET v14.5 and simulation results are shown for different scenarios.

Table des matières

Liste des figures.....	1
Liste des tableaux.....	3
Liste des abréviations.....	4
Introduction générale	7
Motivation.....	7
Organisation de Mémoire	8
Chapitre I : Synthèse sur les réseaux sans fil et mobiles.....	9
I.1 Introduction.....	10
I.2 Réseaux sans fil	11
I.2.1 Définition.....	11
I.2.2 Fonctionnement d'un réseau sans fil.....	11
I.2.3 Catégories de réseaux sans fil.....	13
I.2.4 Différents types de réseaux sans fil	14
I.2.5 Norme IEEE 802.22	18
I.3 Réseaux téléphonique sans fils.....	19
I.3.1 le concept Sans fil et mobilité	19
I.3.2 Mobilité	19
I.3.3 Architecture cellulaire	19
I.3.5 Évolution des systèmes cellulaires	20
I.4 Wimax mobile et 4G	22
I.5 Conclusion	23
Chapitre II : Radio cognitive	25
II.1 Introduction.....	25
II.2 Radio logicielle (software radio)	25
II.3 Radio cognitive	26
II.3.1 Historique	26
II.3.2 Définitions	27
II.3.3 Relation entre RC et SDR	28
II.3.4 Architecture de la radio cognitive.....	29
II.3.5 Cycle de cognition :.....	30
II.3.6 Composantes de la radio cognitive.....	33
II.3.7 fonctions de la radio cognitive.....	34

II.4 Intelligence artificielle et radio cognitive.....	37
II.5 Langages de la radio cognitive.....	39
II.6 Domaines d'application de la radio cognitive.....	40
II.7 Conclusion.....	41
Chapitre III : Simulation.....	42
III.1 Présentation de Logiciel.....	43
III.1.1 Description du simulateur OPNET.....	43
III.1.2 Structure d'OPNET.....	43
III.2 Présentation de Simulation.....	45
III.3 Les caractéristiques de transmission.....	47
III.4 L'enregistrement des modules dans OPNET.....	48
III.5 Modèles de nœud.....	49
III.6 Modèle de nœud de PU.....	49
III.6.1 Source.....	50
III.6.2 Sink.....	50
III.6.3 Transmetteur.....	51
III.6.4 Récepteur.....	51
III.7 Modèle de nœud de CR.....	51
III.7.1 Processus de couche de MAC (Cr_mac).....	52
III.7.2 Packet Streams.....	52
III.7.3 Stat Wires.....	52
III.8 La fonctionnalité des Couches supérieures.....	53
III.8.1 Source de CR.....	53
III.8.2 Sink de CR.....	55
III.9 La couche physique de CR.....	56
III.9.1 L'émetteur de CR.....	56
III.9.2 Récepteur de CR.....	59
III.10 Implémentation du protocole OC-MAC sur la couche MAC.....	60
III.10.1 Etape 1: Lancer une transmission.....	61
III.10.2 Etape 2: Sélection des canaux.....	62
III.10.3 Étape 3: Confirmez l'information.....	63
III.10.4 Etape 4 : Transmission des données.....	64
III.11 Résumé.....	65
III.12 Résultats et conclusions.....	66

III.12.1 Résultats de la simulation.....	66
III.12. 3 Premier scénario.....	66
III.12. 3 Deuxième scénario	72
III.13 Conclusions.....	77
Conclusion Générale	79
Références Bibliographies et Webliographie:	81

Liste des figures

Figure 1 : Organisation de mémoire

Figure I.1: Catégories des réseaux sans fil

Figure I.2: Le Wimax et ses concurrents

Figure I.3: Architecture cellulaire

Figure I.4: Services offerts par le système 3G

Figure II.1: Relation entre la radio cognitive et la radio logicielle restreinte

Figure II.2: Architecture de la radio cognitive

Figure II.3: Protocoles utilisés par la radio cognitive

Figure II.4: Cycle de cognition de Mitola

Figure II.5: Cycle de cognition simplifié

Figure II.6: Composantes de la radio cognitive

Figure II.7: Accès au spectre coopératif et non-coopératif

Figure II.8: Architecture de la radio cognitive avec l'apprentissage automatique

Figure II.9: Expression d'un plan en KQML

Figure III.1: Topologie en étoile et la Représentations de Modèle de Réseau

Figure III.2: Résolution de problèmes dans OPNET

Figure III.3: Petit réseau du bureau à Tlemcen

Figure III.4: Le scénario du projet

Figure III.5: Enregistrement d'émetteur et de récepteur

Figure III.6: Modèle de nœud de PU

Figure III.7: Modèle de nœud de CR

Figure III.8: Différentes parties du modèle de nœud CR

Figure III.9: Source de CR

Figure III.10: Attributs de source de CR

Figure III.11: Sink de CR

Figure III.12: L'émetteur de CR

Figure III.13: Format de paquet de commande

Figure III.14: Format de paquet de données

Figure III.15: Récepteur de CR

Figure III.16: MAC Protocol Implémentation 1

Figure III.17: MAC Protocol Implémentation 2

Figure III.18: Sélection du canal

Figure III.19: Confirmez l'information

Figure III.20: Transmission des données

Figure III.21: Le trafic total instantané (PU)

Figure III.22: Le trafic total moyen (PU)

Figure III.23: Le trafic total instantané (PU+SU)

Figure III.24: Le trafic total moyen (PU+SU)

Figure III.25: Nombre de collision de nœuds CR

Figure III.26 Utilisation des trous de spectre

Figure III.27: Le temps occupé de l'émetteur (PU+SU)

Figure III.28: Meilleure utilisation

Figure III.29: Le Trafic total instantanée (PU)

Figure III.30: Le trafic total moyen (PU)

Figure III.31: Le Trafic total instantanée (PU+SU)

Figure III.32: Le trafic total moyen (PU+SU)

Figure III.33: Le nombre de collision de nœuds CR

Figure III.34: Meilleure utilisation

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Langages de la radio cognitive

Tableau III.1 Spécifications de la communication

Tableau III.2 : Statistiques de scénario 1

Tableau III.3 : Statistiques de scénario 2

Liste des abréviations

Acronyme	Signification
1 G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3G	Troisième Génération
4G	Quatrième Génération
CTS	Clear-to-Send
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DPSK	Differential Phase-shift Keying
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FCC	Federal Communications Commission
GPRS	General Packet Radio Service
HiperLan	High Performance Lan
HomeRF	Home Radio Frequency
IA	Intelligence Artificielle
IBSS	Independent Basic Service Set
IDL	Interface Definition Language
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Institute, Scientific and Medical
ITU	Union Internationale des Télécommunications
KIF	Knowledge Interchange Format
KQML	Knowledge Query and Manipulation Language
KTH	Kungliga Tekniska högskolan (Institut royal de technologie)
LAN	local Area Network
LTM	Long Term Memory
MAC	Medium Access Control
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MMS	Multimedia Message Service
OC-MAC	Opportunistic Cognitive Medium Access Control
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PU	utilisateur primaire
QoI	Quality of Information
QoS	Quality of Service
RC	Radio Cognitive
RF	Radio Frequency
RKRL	Radio Knowledge Representation Language
RTC	Réseau Téléphonique Commuté - réseau fixe
RTS	Ready-to-send
SDR	Radio logicielle restreinte
SMS	Short Message Service
SNR	Signal to Noise Ratio

STM	Short Term Memory
SU	Utilisateur secondaire
TKIP	Temporal Key Integrity Protoco
UHF	Ultra High frequency
UML	Unified Modelisation Language
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VHF	Very High Frequency
WEP	Wired Equivalent Privacy
WiFi	Wireless Fidelity
Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropololitan Area Network
WPA	Wireless Protected Access
WPAN	Wireless Personnal Area Network
WRAN	Wireless Regional Access Networks
WWAN	Wireless Wide Area Network

Introduction générale

Nous assistons actuellement à la multiplication des normes et des standards de télécommunication vu les progrès récents dans ce domaine. Le nombre croissant de standards normalisés permet d'élargir l'éventail des offres et des services disponibles pour chaque consommateur. D'ailleurs, la plupart des radiofréquences disponibles ont déjà été allouées.

Une étude réalisée par le Federal Communications Commission (FCC) a montré que certaines bandes de fréquences sont partiellement occupées dans des emplacements particuliers et à des moments particuliers. Et c'est pour toutes ces raisons que la radio cognitive (RC) est apparue.

L'idée de la RC est de partager le spectre entre un utilisateur dit primaire, et un utilisateur dit secondaire. L'objectif principal de cette gestion du spectre consiste à obtenir un taux maximum d'exploitation du spectre radio.

Pour que cela fonctionne, l'utilisateur secondaire doit être capable de détecter l'espace blanc, de se configurer pour transmettre, de détecter le retour de l'utilisateur primaire et ensuite cesser de transmettre et chercher un autre espace blanc.

Motivation

Pour utiliser la RC, il faut que le terminal soit intelligent, capable de détecter des bandes de fréquence libres et de se reconfigurer s'il se connecte à une technologie différente. Les nouvelles techniques et la demande des débits élevés exigent l'utilisation efficace du spectre peu employé. La technique de radio cognitive donne une conception efficace d'utilisation du spectre disponible, mais elle introduit aussi de nouveaux problèmes complexes qui ne sont pas présents dans les réseaux sans fil conventionnel (ad hoc, WIFI...), spécifiquement la disponibilité changeante au fil du temps des canaux dans des réseaux de CR. L'un des problèmes importants de la conception de la couche MAC de la CR est de savoir comment les utilisateurs secondaires doivent prendre des décisions sur le canal qu'ils vont utiliser et à quel moment, afin de permettre la communication de l'utilisateur secondaire, tout en évitant de déranger les utilisateurs primaires par l'analyse de l'information de détection de spectre fourni par la couche physique.

Organisation de Mémoire

Ce document est décomposé en quatre chapitres qui se répartissent comme suit : Le chapitre I discute les synthèses sur les réseaux sans fil et mobiles. Le chapitre II donne les détails de concept de la radio cognitive. Le chapitre III présent l'introduction de l'OPNET et son module utilisé dans notre projet et décrit les résultats et les conclusions obtenus.

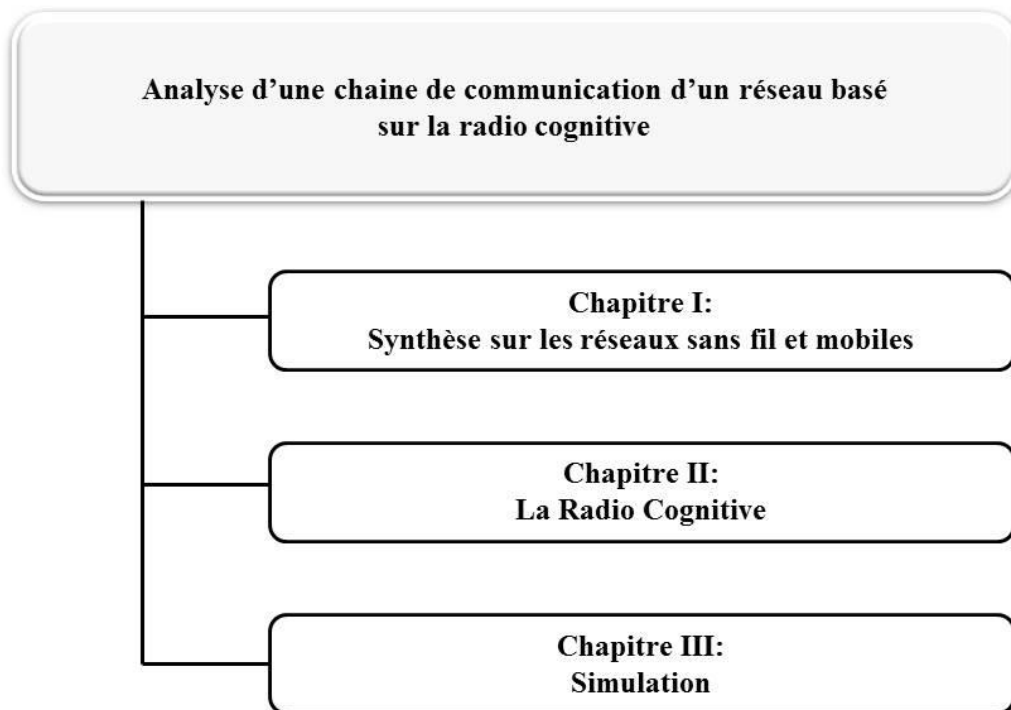


Figure 1 : Organisation de mémoire

Chapitre I : Synthèse sur les réseaux sans fil et mobiles

I.1 Introduction

Les termes sans fil et mobile sont souvent utilisés pour décrire les systèmes existants, tels que GSM (Global System for Mobile communication), Wifi, Bluetooth, etc. Il est cependant important de distinguer les deux catégories de réseaux que recoupent les concepts de sans fil et mobile à savoir les réseaux sans infrastructure (ad hoc...) et avec infrastructure (Wifi...) de façon à éviter toute confusion.

Les réseaux sans fil et mobiles ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part, des réseaux locaux sans fil qui sont rentrés dans la vie quotidienne au travers de standard tels que Wifi, Bluetooth, etc. D'autre part, du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunication essentiellement dédiés à la téléphonie puis plus orientés vers le multimédia.

Aujourd'hui, la majorité des ordinateurs et la quasi-totalité des appareils mobiles disposent de moyens de connexion à un ou plusieurs types de réseaux sans fil. Ainsi, il est très facile de créer en quelques minutes un réseau sans fil permettant à tous ces appareils de communiquer entre eux, mais, il est important de tenir 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.

L'avantage essentiel que représentent les systèmes de communication est la mobilité. Cet aspect a séduit une grande quantité 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. Le système permettant d'offrir ce service au sens le plus large est le système cellulaire, en particulier le GSM, dont la couverture peut s'étendre sur des pays voire des continents.

Les évolutions se poursuivent de tout part, tant dans le monde des réseaux spécialisés que des réseaux télécoms. Ceux-ci voient désormais des solutions concurrentes apparaître provenant de divers horizons : monde télécoms classiques, monde des réseaux sans fil voire le monde de la diffusion de télévision terrestre et satellite.

Des réseaux d'une plus grande étendue sont en cours de développement sous la norme IEEE 802.22 ou WRAN (Wireless Regional Access Network). Elle concerne la définition d'une interface d'accès point à multipoint fonctionnant dans la bande de diffusion VHF/UHF-TV.

Cette norme permet l'utilisation de ces bandes sans interférer avec les canaux de télévision en activité. Cette solution offre la couverture au monde rural avec des accès à large bande.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux réseaux sans fil et mobiles en présentant les aspects : architecture, fonctionnement, catégories, types et évolution. Nous présentons aussi la norme IEEE 802.22 qui est une norme de radio cognitive.

I.2 Réseaux sans fil

I.2.1 Définition

Un réseau sans fil (Wireless network) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans 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 qui est plus grand par rapport cela de infrarouge.

Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus, l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures comme c'est le cas avec les réseaux filaires, ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies.

Les transmissions radioélectriques servent pour un grand nombre d'applications, mais sont sensibles aux interférences, c'est la raison pour laquelle une réglementation est nécessaire dans chaque pays afin de définir les plages de fréquences et les puissances auxquelles il est possible d'émettre pour chaque catégorie d'utilisation [1].

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 celle-ci ira.
- Plus la longueur d'onde est grande, mieux celle-ci voyagera à travers et autour des choses.
- À plus courte longueur d'onde, plus de données pourront être transportées [2].

I.2.2 Fonctionnement d'un réseau sans fil

Le téléphone sans fil communique avec un correspondant par l'intermédiaire du socle qui fait office de point d'accès vers le réseau téléphonique.

De même, chaque ordinateur du réseau sans fil muni d'une carte réseau adéquate peut émettre (et recevoir) des données vers (et depuis) un point d'accès réseau. Ce dernier peut être physiquement connecté au réseau câblé et fait alors office de point d'accès vers le réseau câblé [1].

Bien entendu, plus on s'éloigne du point d'accès, plus le débit diminue : pour un débit de 1Mbps, la portée est de 460 m dans un environnement sans obstacle et de 90 m dans un environnement de bureau classique.

Le réseau sans fil offre deux modes de fonctionnement différents : le mode avec infrastructure et le mode sans infrastructure.

a. Réseau avec infrastructure

En mode avec infrastructure, également appelé le mode BSS (Basic Service Set) certains sites fixes, appelés station de base sont munis d'une interface sans fil pour la communication directe avec des sites mobiles ou unités mobiles, localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule.

A chaque station de base correspond une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent émettre et recevoir des messages. Alors que les sites fixes sont interconnectés entre eux à travers un réseau de communication filaire, généralement fiable et d'un débit élevé. Les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit sévèrement le volume des informations échangées. Dans ce modèle, une unité mobile doit être, à un instant donné, directement connectée à une seule station de base [3].

b. Réseau sans infrastructure

Le réseau sans infrastructure également appelé réseau Ad hoc ou IBSS (Independent Basic Service Set) ne comporte pas l'entité site fixe, tous les sites du réseau sont mobiles et communique d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil. L'absence de l'infrastructure ou du réseau filaire composé de station de base, oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et à la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau.

La différence entre le mode Ad hoc et le mode avec infrastructure est que dans le premier mode, la communication entre deux machines se fait directement si elles se trouvent à la

portée l'une de l'autre, alors que dans le second mode, toutes les communications passent par le point d'accès [3].

I.2.3 Catégories de réseaux sans fil

On distingue habituellement plusieurs catégories de réseaux sans fil, selon le périmètre géographique offrant une connectivité (appelé zone de couverture) [4] :

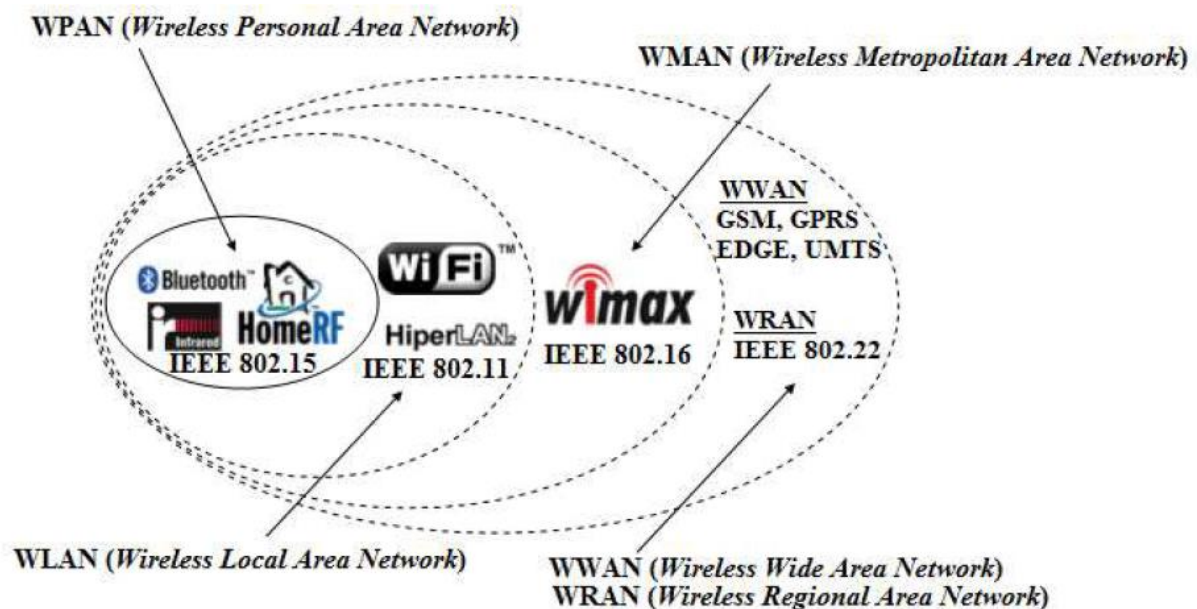


Figure I.1 : Catégories des réseaux sans fil

a. WPAN (Wireless Personal Area Network)

Le réseau personnel sans fil est constitué de connexions entre des appareils distants de seulement quelques mètres comme dans un bureau ou une maison comme les réseaux Bluetooth, Home RF...etc.

b. WLAN (Wireless Local Area Network)

Le réseau local sans fil correspond au périmètre d'un réseau local installé dans une entreprise, dans un foyer ou encore dans un espace public. Tous les terminaux situés dans la zone de couverture WLAN peuvent s'y connecter. Plusieurs WLAN peuvent être synchronisés et configurés de telle manière que le fait de traverser plusieurs zones de

couvertures est pratiquement indécélable pour un utilisateur. Parmi ces réseaux, nous citons

- Le réseau Wifi (IEEE 802.11)
- HiperLan

c. WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

Le réseau sans fil WMAN utilise le standard IEEE 802.16, autrement dit Wimax (World wide Interoperability for Microwave Access), il fournit un accès réseau sans fil à des immeubles connectés par radio à travers une antenne extérieure à des stations centrales réalisées au réseau filaire.

d. WWAN (Wireless Wide Area Network)

Le réseau sans fil WWAN englobe les réseaux cellulaires tels que le GSM, GPRS, UMTS et les réseaux satellitaires. La distance entre les périphérique peut aller jusqu'à 3km, le coût de la mise en place d'un tel réseau est plus élevé que celui des réseaux cités au paravent.

e. WRAN (Wireless Regional Area Network)

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

I.2.4 Différents types de réseaux sans fil

Il existe principalement deux types de réseaux sans fil :

- Les réseaux utilisant les ondes infrarouges
- Les réseaux utilisant les ondes radio.

I.2.4.1 Réseaux utilisant les ondes infrarouges

Les ondes infrarouges sont utilisées dans la vie courante (télécommandes de télévisions). Grâce à elles, on peut créer des petits réseaux, notamment entre des téléphones portables et des ordinateurs.

Le principale inconvénient des réseaux créées avec les ondes infrarouges est qu'ils nécessitent que les appareils soient en face l'un de l'autre, séparés au maximum de quelque dizaines de mètres et qu'aucun obstacle ne sépare l'émetteur du récepteur puisque la liaison entre les appareils est directionnelle. Bien entendu, les seuls réseaux utilisables par cette technologie sont les WPAN.

I.2.4.2 Réseaux utilisant les ondes radio

a. Bluetooth

C'est une spécification industrielle pour les zones de réseaux PAN. Il a été lancé par Ericsson en 1994. Ce type de liaison sans fil permet de relier deux appareils via une liaison hertzienne [5].

Il offre des débits moyens (1 Mbps en théorie) sur un rayon limité (10 à 30 m en pratique). La norme officielle définissant le Bluetooth est l'IEEE 802.15.

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 [5].

b. HomeRF (Home Radio Frequency)

HomeRF a été conçu avant tout pour un usage domestique. Il utilise les mêmes fréquences que bluetooth [5].

Un réseau HomeRF permet de relier des ordinateurs portables ou fixes et d'adresser 127 nœuds sur un réseau, et 6 liaisons voix simultanées.

c. HiperLan (High Performance Lan)

Elaborée sous la tutelle de l'institut européen des normes de télécommunications, HiperLan est une norme exclusivement européenne. Son but est de créer des environnements flexibles sans fil à haut débit, permettant un fonctionnement Ad hoc. Il dispose d'un code correcteur d'erreurs pour obtenir une qualité de transport comparable à celle obtenue dans un réseau local [5].

d. Norme IEEE 802.11

L'IEEE a investi dans l'amélioration de la norme 802.11, avec la même architecture et la même technologie, mais avec un débit de données important entre 5 et 11 Mbps, au lieu de pousser la technologie et stimuler les communautés scientifiques et industrielles afin de standardiser, de concevoir et de fabriquer des produits pour ces réseaux. Il existe plusieurs versions de l'IEEE 802.11. En règle générale, plus une version est récente, plus les débits proposés sont élevés [1]. Les principales extensions sont les suivantes :

❖ Norme 802.11a

Cette norme a été développée en 1999 (parfois appelée WiFi 5), elle opère dans la bande de fréquence 5 GHz, incompatible avec la fréquence de 2,4 GHz.

Elle utilise OFDM. Ceci limite les interférences et rend possible des vitesses de transmission de données allant jusqu'à 54 Mbps [6].

❖ 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 11 Mbps, avec une portée de 300 m dans un environnement dégagé. Elle fonctionne dans la bande de fréquence 2,4 GHz, séparée en plusieurs canaux.

❖ Norme 802.11g

Cette norme a été développée en 2003. Elle étend la norme 802.11b, en augmentant le débit jusqu'à 54 Mbps théorique (30 Mbps 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 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 et AES).

❖ 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 11 Mbps pour la 802.11b et 54 Mbps pour la 802.11g.

❖ 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.

❖ 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.

e. Wimax

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

Basé sur la norme IEEE 802.16, 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 [7].

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 norme **802.16d** ou le Wimax fixe atteint les 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 30 Mbps pour une distance de 3 km maximum. La plage de fréquence se situe entre 2 et 6 GHz.

Le Wimax est une technologie qui se distingue par deux aspects: le caractère à la fois ouvert, très complet et extrêmement rapide de son processus de normalisation ; et le fait d'avoir été le premier à avoir adopté le bon choix en terme de technologie, notamment en matière de modulation, de sécurité et surtout de QoS. Le Wimax utilise le multiplexage OFDM. La figure I.2 montre le Wimax avec ses proches concurrents en termes de couverture géographique et débits offerts.

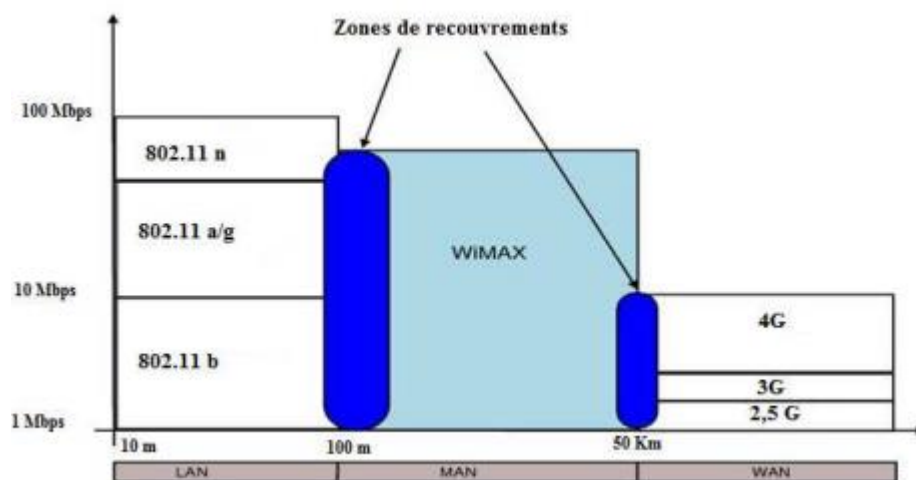


Figure I.2 : Le Wimax et ses concurrents

I.2.5 Norme IEEE 802.22

IEEE 802.22 est un nouveau groupe de travail du comité de normalisation d'IEEE 802 LAN/MAN qui vise à faciliter 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.

Le large recours aux technologies de radio cognitive, comme la détection RF, la géolocalisation, la sélection dynamique de fréquence, vise à assurer la coexistence avec les titulaires de station de radiodiffusion sur une base de non-brouillage, ainsi que la coexistence interne avec d'autres systèmes WRAN conformes à la norme 802.22 pour maximiser l'utilisation du spectre [1].

I.3 Réseaux téléphonique sans fils

I.3.1 le concept Sans fil et mobilité

Dans les réseaux sans fil, le support de communication utilise l'interface radio: sans cordon, GSM, GPRS, UMTS, etc.

Un utilisateur mobile est défini théoriquement comme un utilisateur capable de communiquer à l'extérieur de son réseau d'abonnement tout en conservant une même adresse.

Le 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 [8].

I.3.2 Mobilité

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 ces usagers.

I.3.3 Architecture cellulaire

Dans un réseau cellulaire, le territoire couvert ou la zone de couverture est généralement découpée en petites surfaces géographiquement limitées appelées cellules. Chaque cellule est gérée par un point d'accès ou une station de base.

Nous distinguons plusieurs types de cellules selon leurs tailles

- Pico cellule: désigne un espace de desserte de quelques mètres de diamètre.
- Microcellule: réfère à une surface géographique de quelques dizaines de mètres de diamètre.
- Cellule: correspond à une superficie dont le diamètre varie de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres.
- Macro cellule: correspond à une étendue géographique de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres de diamètre [9].
- Cellule parapluie: définit une région de quelques centaines de kilomètres de diamètre.

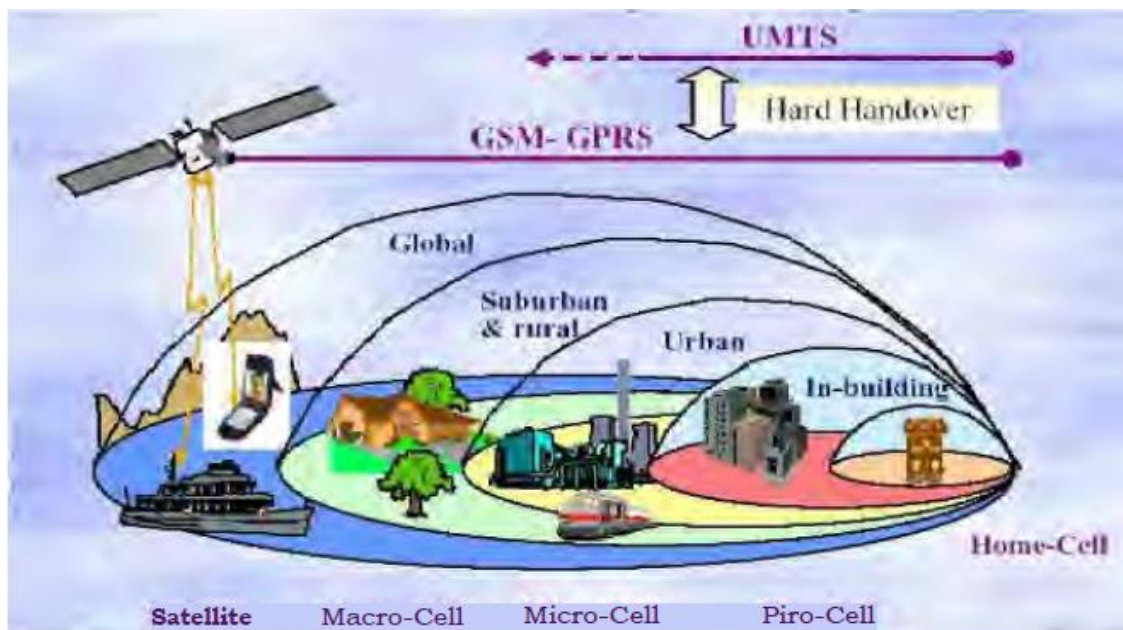


Figure I.3 : Architecture cellulaire

I.3.5 Évolution des systèmes cellulaires

a. Première génération (1 G)

La première génération de téléphonie mobile possède un fonctionnement analogique et est constituée d'appareils relativement volumineux. Sa capacité est limitée car le système est basé sur FDMA et il n'y a pas de mécanismes de sécurité.

b. Deuxième génération (2G)

❖ GSM (Global System for Mobile Communication)

Ce standard utilise les bandes de fréquences de 900 MHz, 1800 MHz et 1900 MHz. Ainsi, on appelle tri-bande, les téléphones portables pouvant fonctionner dans toutes ces fréquences. Il permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des SMS (Short Message Service) ou des MMS (Multimedia Message Service). L'opérateur doit installer des antennes fixes, toutes les antennes définissent une zone de couverture propre à l'opérateur.

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC réseau fixe). Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. La mise en place d'un réseau GSM va permettre à un opérateur de proposer des services de type voix à ses clients en donnant l'accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant [10].

❖ **GPRS (2.5G)**

Le GPRS (General Packet Radio Service) peut être considéré comme une évolution des réseaux GSM avant leur passage aux systèmes de troisième génération.

Toutefois, la transition du GSM au GPRS demande plus qu'une simple adaptation logicielle. Le GPRS s'inspire des usages devenus courants d'internet: lors de la consultation de pages Web, une session peut durer plusieurs dizaines de minutes alors que les données ne sont transmises que pendant quelques secondes, lors du téléchargement des pages.

A ce moment, la voix continue de transiter sur le réseau GSM, tandis que les données circulent via le GPRS. Il permet un débit cinq fois plus élevé que celui du GSM et il intègre la QoS.

❖ **EDGE (2.75G)**

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) est un réseau de transition entre GPRS et UMTS, il permet un débit encore plus élevé.

EDGE est issu de la constatation que, dans un système cellulaire, tous les mobiles ne disposent pas de la même qualité de transmission. Le contrôle de puissance tente de pallier ces inégalités en imposant aux mobiles favorisés une transmission moins puissante. Cela permet plutôt d'économiser les batteries des terminaux que d'augmenter les capacités de transmission. EDGE permet aux utilisateurs favorisés de bénéficier de transmissions plus efficaces, augmentant par conséquent le trafic moyen offert dans la cellule.

C'est associé au GPRS qu'EDGE revêt tout son intérêt, notamment grâce au principe

d'adaptation de lien. Cette dernière consiste à sélectionner le schéma de modulation et de codage le mieux adapté aux conditions radio rencontrées par le mobile.

c. Troisième génération (3G)

Les réseaux 3G ont une grande flexibilité pour introduire de nouveaux services. Les débits sont plus élevés et ils peuvent atteindre les 2 Mbps.

❖ UMTS (Universal Mobile Télécommunication System)

Il offre des services de communication sans fil, offre le multimédia en plus de la voix et des données (possibilité de faire une visioconférence, de regarder la télévision), son coût est très élevé.

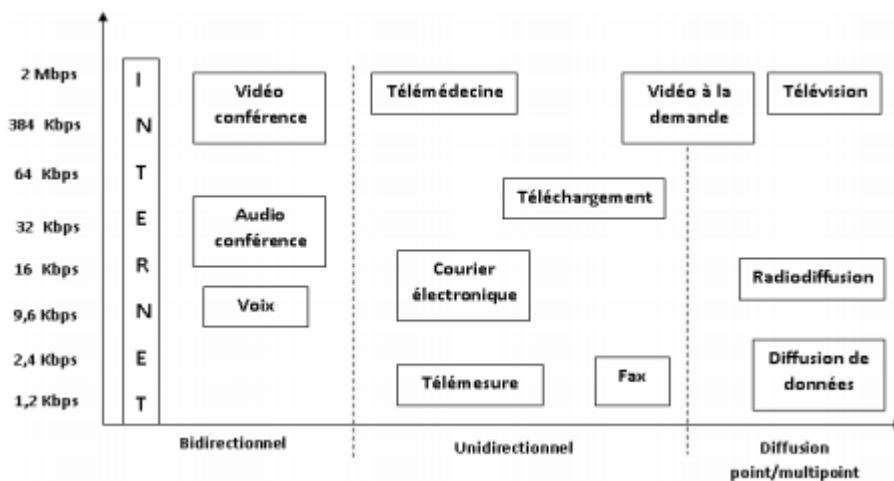


Figure I.4 : Service offerts par le système 3G

d. Quatrième génération (4G)

L'augmentation du nombre d'utilisateurs mobiles due au développement de l'internet et de ses applications, ainsi que l'apparition rapide des réseaux sans fil ont encouragé la mobilité des utilisateurs. 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. Des débits de données de plus en plus élevés sont offerts.

I.4 Wimax mobile et 4G

L'utilisateur de la 4G a plusieurs technologies d'accès sans fil à sa disposition. Cet utilisateur veut pouvoir être connecté au mieux, n'importe où, n'importe quand et mobiles avec n'importe quel réseau d'accès. Pour cela, les différentes technologies sans fil doivent coexister de manière à ce que la meilleure technologie puisse être retenue en fonction du profil de l'utilisateur, de chaque type d'application et de service qu'il demande.

Dans ce contexte, le terminal mobile devra rechercher en permanence le meilleur réseau d'accès en fonction des besoins de l'utilisateur.

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 peut prétendre concurrencer l'UMTS et constituer la technologie du futur pour une 4G qui n'est pas encore complètement défini. Les réseaux Wimax mobiles devraient représenter en 2012 un quart des équipements de communication mobile au niveau terrestre.

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe des réseaux sans fil et mobiles et leur évolution à travers les générations. Le support de la mobilité des réseaux permet de développer l'idée d'un internet omniprésent, à tout instant, à tout endroit et avec n'importe qui. Les applications multimédia seront les premières à bénéficier de ce type d'environnement.

Les réseaux sans fil sont des technologies intéressantes et très utilisées dans divers domaines. Cette diversification d'utilisation revient aux différents avantages qu'apportent ces technologies, comme la mobilité, la simplicité d'installation et la disponibilité. Mais la sécurité dans ce domaine reste un sujet très délicat, car depuis l'utilisation de ce type de réseaux, plusieurs failles ont été détectées.

Les réseaux sans fil ont connu des développements très significatifs qui ont donné aux utilisateurs l'illusion que leurs qualités pouvaient être presque équivalentes à celles des réseaux filaires.

Chapitre II : Radio cognitive

II.1 Introduction

Il est aujourd'hui largement reconnu que les systèmes sans fil de communications numériques n'exploitent pas l'intégralité de la bande de fréquence disponible. Les systèmes sans fil de futures générations seront donc amenés à tirer parti de l'existence des bandes de fréquence inoccupées, grâce à leur faculté d'écouter et de s'adapter à leur environnement.

En effet, le développement de nouvelles technologies a toujours été dicté par les besoins du moment et la disponibilité de la technique. On est ainsi passés de la radio analogique à la radio numérique avec tous les progrès qui se sont suivis notamment au niveau de la qualité de services, la rapidité et la fiabilité du transport de l'information mais aussi au niveau de la capacité du réseau.

Au fil des années, les besoins se sont multipliés et de nouvelles solutions techniques sont apparues. Cela a conduit à l'idée de la radio logicielle qui au début était prévue pour des applications militaires, mais qui s'est progressivement transférée vers le domaine civil. La radio cognitive correspond à l'étape suivante et l'émergence de ce concept est à relier directement au besoin de gérer toute cette nouvelle complexité relative à l'environnement du terminal radio.

Certaines bandes de fréquence et réseaux (GSM, Wifi) sont chères et déjà surchargés aux heures de pointe. Cependant, l'utilisation du spectre de fréquence n'est pas uniforme : selon les heures de la journée et selon la position géographique. Une bande fréquentielle peut être surchargée pendant qu'une autre reste inutilisée. L'idée a donc naturellement émergé de développer des outils permettant de mieux utiliser le spectre.

La radio cognitive est le concept qui permet de répondre à ce défi : mieux utiliser le spectre et aussi augmenter les débits.

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

II.2 Radio logicielle (software radio)

C'est grâce aux travaux de Joseph Mitola que le terme radio logicielle est apparu en 1999 pour définir une classe de radio reprogrammable et reconfigurable [11].

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

On distingue plusieurs niveaux d'avancement dans le domaine : la radio logicielle est le but ultime intégrant toutes les fonctionnalités en logiciel, mais elle impose des phases intermédiaires combinant anciennes et nouvelles techniques, on parle alors de radio logicielle restreinte. Les contraintes de puissance de calcul, de consommation électrique et de coûts imposent actuellement de passer par cette phase intermédiaire [12].

❖ **Radio logicielle restreinte (SDR)**

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.

Les opportunités qu'offre la SDR lui permettent de résoudre des problèmes de la gestion dynamique du spectre. Les équipements SDR peuvent fonctionner dans des réseaux sans fil hétérogènes. C'est-à-dire qu'une SDR idéale peut s'adapter automatiquement aux nouvelles fréquences et aux nouvelles modulations.

II.3 Radio cognitive

II.3.1 Historique

L'idée de la radio cognitive a été présentée officiellement par Joseph Mitola 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 [11].

Connu comme le « père de la radio logicielle », Mitola est l'un des auteurs les plus cités dans le domaine. Il 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.

II.3.2 Définitions

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

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

Cette capacité permet d'adapter chaque appareil aux conditions spectrales du moment et offre donc aux utilisateurs un accès plus souple, efficace et complet à cette ressource. Cette approche peut améliorer considérablement le débit des données et la portée des liaisons sans augmenter la bande passante ni la puissance de transmission. La RC offre également une solution équilibrée au problème de l'encombrement du spectre, puis en permettant à l'autre de se servir des portions inutilisées du spectre [13].

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

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

Le principe de la RC, 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 trouve libres, c'est-à-dire, non occupées par l'utilisateur dit

Primaire possédant une licence sur cette bande. L'utilisateur secondaire devra les céder une fois le service terminé ou une fois qu'un utilisateur primaire aura montré des velléités de connexion.

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

II.3.3 Relation entre RC et SDR

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

La SDR est capable d'offrir les fonctionnalités de flexibilité, de reconfigurabilité et de portabilité inhérentes à l'aspect d'adaptation de la RC. Par conséquent, cette dernière doit être mise en œuvre autour d'une SDR. En d'autres termes, la SDR est une technologie habilitante pour la radio cognitive [12].

Bien que de nombreux modèles différents soient possibles l'un des plus simples qui décrit la relation entre la RC et la SDR est illustré dans la figure II.1.

Dans ce modèle simple, les éléments de la RC entourent le support SDR. Le moteur cognitif représente la partie chargée de l'optimisation ou du contrôle du module SDR en se basant sur quelque paramètre d'entrée tels que les informations issues de la perception sensorielle ou de l'apprentissage de l'environnement radio, du contexte utilisateur, et de l'état du réseau.

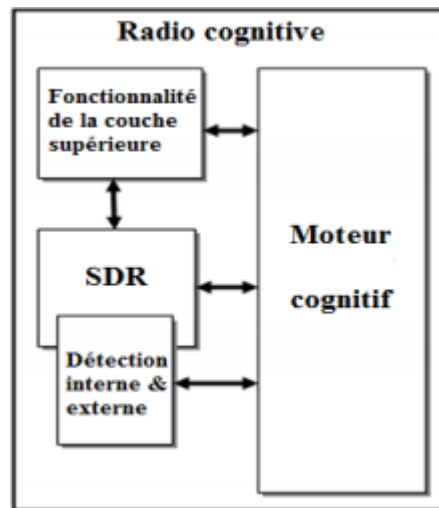


Figure II.1 : Relation entre la radio cognitive et la radio logicielle restreinte

II.3.4 Architecture de la radio cognitive

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

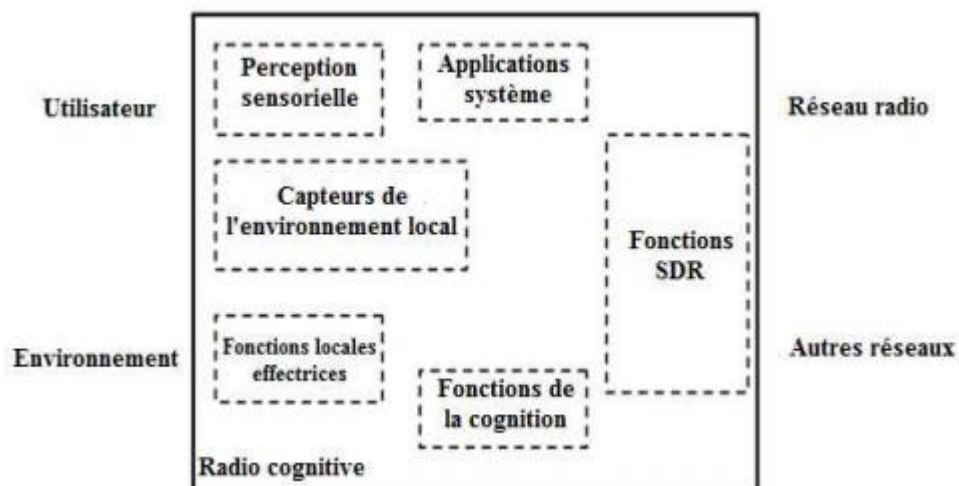


Figure II.2 : Architecture de la radio cognitive

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

1. La perception sensorielle de l'utilisateur qui inclut l'interface haptique (du toucher), acoustique, la vidéo et les fonctions de détections et de la perception.
2. Les capteurs de l'environnement local (emplacement, température, accéléromètre, etc.)

3. Les applications système (les services médias indépendants comme un jeu en réseau).
4. Les fonctions SDR (qui incluent la détection RF et les applications radio de la SDR).
5. Les fonctions de la cognition (pour les systèmes de contrôle, de planification et d'apprentissage).
6. Les fonctions locales effectrices (synthèse de la parole, du texte, des graphiques et des affiches multimédias) [12].

L'architecture du protocole de la RC est représentée dans la figure II.3. Dans la couche physique, la RF est mis en œuvre à base radio de radio définie par logiciel. Les protocoles d'adaptation de la couche MAC, réseau, transport et application doivent être conscients des variations de l'environnement radio cognitive. En particulier, les protocoles d'adaptation devraient envisager 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 [14].

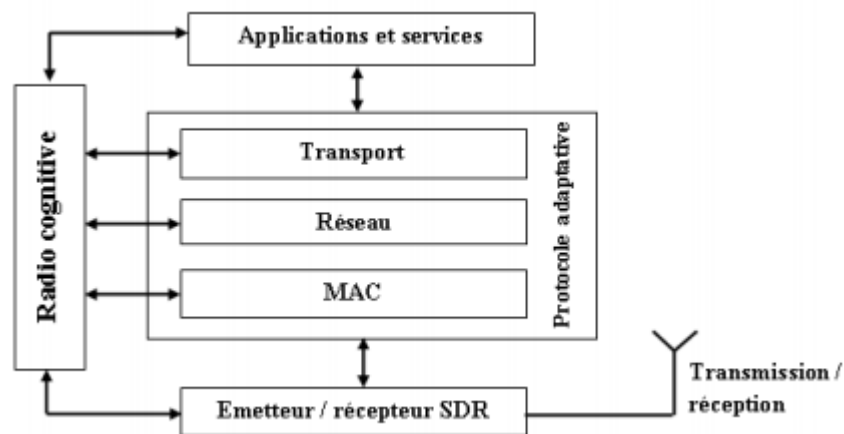


Figure II.3 : Protocoles utilisés par la radio cognitive

II.3.5 Cycle de cognition :

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

Ce cycle synthétise cette composante de manière évidente. Les stimuli entrent dans la RC comme des interruptions sensorielles envoyées sur le cycle de la cognition pour une réponse.

Une telle radio cognitive observe l'environnement, s'oriente, crée des plans, décide, et puis agit [15].

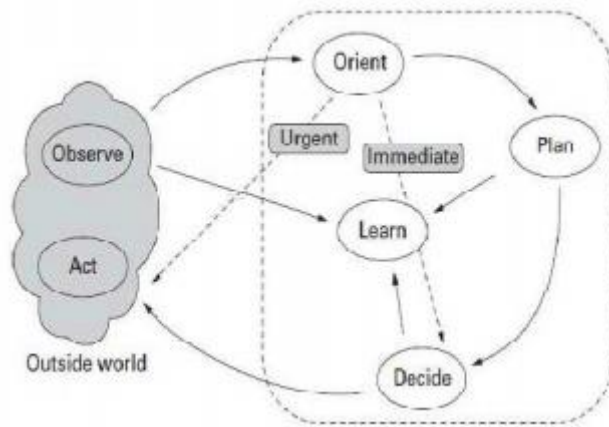


Figure II.4 : Cycle de cognition de Mitola simplifié

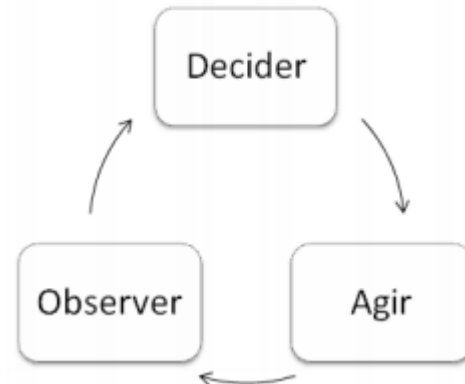


Figure II.5 : Cycle de cognition

Phase d'observation (détecter et percevoir)

La RC observe son environnement par l'analyse du flux de stimuli entrant. Dans la phase d'observation, la RC 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 RC rassemble les expériences en se souvenant de tout.

Phase d'orientation

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

La reconnaissance des stimuli se produit quand il y a une correspondance exacte entre un stimulus courants 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 sauvegarde les données (le chemin " immédiate " de la phase action sur la figure). Une perte de signal sur un réseau peut invoquer une réaffectation de ressources. Cela peut être accompli via la voie marquée "urgent" dans la figure.

Phase de planification

Un message entrant du réseau serait normalement traité par la génération d'un plan (dans la phase de plan, la voie normale). Le plan devrait également inclure la phase de raisonnement dans le temps. Généralement, les réponses réactives sont préprogrammées ou apprises, tandis que d'autres réactions de délibération sont prévues.

Phase de décision

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

Phase d'action

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

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

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

Phase d'apprentissage

L'apprentissage dépend de la perception, des observations, des décisions et des actions. L'apprentissage initial est réalisé à travers la phase d'observation dans laquelle toutes les perceptions sensorielles sont comparées à l'ensemble de l'expérience antérieure pour 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 [16]. 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.

II.3.6 Composantes de la radio cognitive

Les différentes composantes d'un émetteur/récepteur radio cognitive qui mettent en œuvre ces fonctionnalités sont présentées dans la figure II.6 [14].

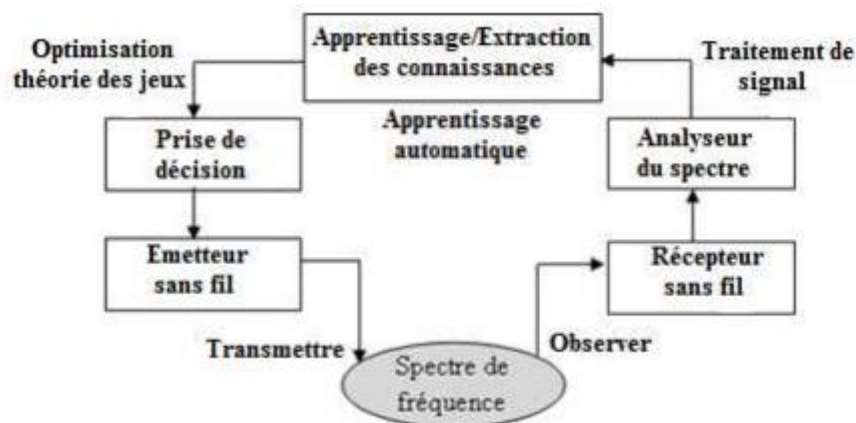


Figure II.6 : Composantes de la radio cognitive

- **Émetteur / Récepteur** : c'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 (détection du spectre). Les paramètres de l'émetteur/récepteur dans le nœud de la RC peuvent être modifiés dynamiquement comme dicté par les protocoles de couches supérieures.
- **Analyseur de spectre** : il utilise les signaux mesurés pour analyser l'utilisation du spectre (détecter la signature d'un signal provenant d'un utilisateur primaire et trouver les espaces blancs du spectre pour 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.

- **Apprentissage et extraction de connaissances :** 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.
- **Prise de décision :** 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 des utilisateurs secondaires. Différentes techniques peuvent être utilisées pour obtenir une solution optimale.

Par exemple, la théorie d'optimisation peut être appliquée lorsque le système est modélisé comme une seule entité avec un seul objectif. En revanche, les modèles de la théorie des jeux peuvent être utilisés lorsque le système est composé d'entités multiples, chacun avec son propre objectif. L'optimisation stochastique peut être appliquée lorsque les états du système sont aléatoires.

II.3.7 fonctions de la radio cognitive

a. Détection du spectre (Spectrum sensing)

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

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.

b. 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 :

❖ 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.

❖ Décision sur le spectre

- **Modèle de décision** : un modèle de décision est nécessaire pour l'accès au spectre. La complexité de ce modèle dépend des paramètres considérés 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 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 II.7) de sorte que leur débit individuel soit maximisé. Au cours de cette concurrence entre les utilisateurs secondaire, 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.

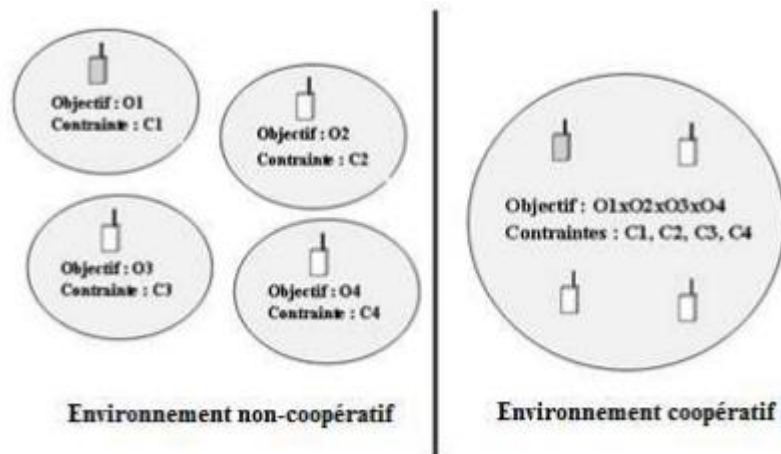


Figure II.7 : accès au spectre coopératif et non-coopératif

- **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.

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

❖ Recherche des meilleures bandes de fréquence

La 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.

❖ 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 [14].

II.4 Intelligence artificielle et radio cognitive

Les techniques d'intelligence artificielle (IA) pour l'apprentissage et la prise de décision peuvent être appliquées à la conception de systèmes efficaces de la RC. Le concept de l'apprentissage automatique peut être à la RC pour la maximisation des capacités d'accès au spectre dynamique. L'architecture du système proposé est illustrée à la figure II.8.

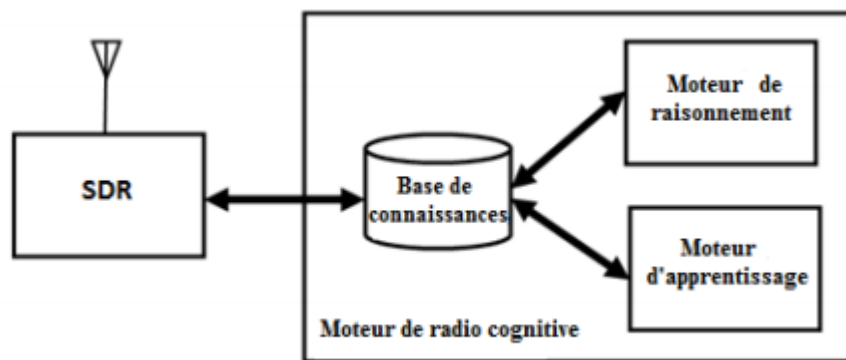


Figure II.8 : Architecture de la radio cognitive avec l'apprentissage automatique

Ici, la base de connaissances maintient les états du système et les actions disponibles. Le moteur de raisonnement utilise la base de connaissances pour choisir la meilleure action. Le moteur d'apprentissage effectue la manipulation des connaissances basées sur l'information observée (des informations sur la disponibilité des canaux, le taux d'erreurs dans le canal).

Dans la base de connaissances, deux structures de données, à savoir, le prédicat et l'action sont définis.

Le prédicat (règle d'inférence) est utilisé pour représenter l'état de l'environnement. Sur la base de cet état, une action peut être effectuée pour modifier l'état de telle sorte que les objectifs du système peuvent être réalisés. Par exemple, un prédicat peut être défini comme la "modulation == QPSK AND SNR == 5dB", tandis que l'action peut être définie comme

“mode de modulation en baisse” avec pré-condition “ $\text{SNR} \leq 8\text{dB}$ ” et post-condition “modulation == BPSK”.

Compte tenu de l’entrée qui est obtenu à partir de la mesure, le moteur de raisonnement correspond à l’état actuel (modulation et SNR) avec les prédicats et détermine les résultats sous-jacents (vrai ou faux). Puis, à partir de l’ensemble des résultats des prédicats, une action appropriée est prise.

Dans l’exemple ci-dessus, le SNR actuel est égale à 5 dB et la modulation QPSK est en cours, la pré-condition sera vraie et le prédicat sera actif. En conséquence, le moteur cognitif va décider de réduire le monde de modulation. Dans ce cas, la modulation sera modifiée pour BPSK, comme indiqué dans la post-condition correspondante.

Un algorithme d’apprentissage est utilisé pour mettre à jour à la fois l’état du système et les mesures disponibles en fonction de l’environnement radio. Cette mise à jour peut être faite en utilisant une fonction objectif (réduire le taux d’erreurs binaires) avec un objectif de déterminer la meilleure action compte tenu de l’entrée (la qualité du canal) et les connaissances disponibles [17].

❖ Algorithmes intelligents

Les radios cognitives doivent avoir la capacité d’apprendre et d’adapter leur transmission sans fil selon l’environnement radio ambiant. Les algorithmes intelligents tels que ceux basés sur l’apprentissage automatique, les algorithmes génétiques ou la logique floue sont donc essentiels pour la mise en œuvre de la technologie de la RC. En général, ces algorithmes sont utilisés pour observer l’état de l’environnement sans fil et de construire des connaissances sur l’environnement.

Cette connaissance est utilisée par RC pour adapter sa décision sur l’accès au spectre. Par exemple, une RC (un utilisateur secondaire) peut observer l’activité de transmission de l’utilisateur primaire sur des canaux différents. Cela permet à RC de développer les connaissances sur l’activité des utilisateurs primaires sur chaque canal. Cette connaissance est ensuite utilisée par la RC pour décider quelle voie d’accès choisir, afin que les objectifs de performance souhaités peuvent être atteints (le débit est maximisé alors que l’interférence ou les collisions causées aux utilisateurs primaires sont maintenues en dessous du niveau cible) [14][18][19].

II.5 Langages de la radio cognitive

Le réseau n'a aucun langage standard avec lequel il peut poser ses questions et 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.

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 II.1 : Langages de la radio cognitive

En plus de la langue naturelle, plusieurs langages sont utilisés (tableau II.1). L'ITU (Union Internationale des Télécommunications) a adopté les spécifications et le langage de descriptions 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 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.

CORBA (Common Object Request Broker Architecture) 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.

KQML (Knowledge Query and Manipulation Language), était explicitement conçu pour faciliter l'échange d'une telle connaissance. Basé sur des performatives comme "Tell" et "Ask". Le plan de KQML pour prendre un taxi du kiosque de l'information à "Grev Turgatan 16" emploie la performative "Tell" pour indiquer le plan du réseau suivant les indications de la figure III.9. Dans cet exemple, la radio avertit également le réseau que son utilisateur compose un certain e-mail et ainsi il va avoir besoin d'une voie de transmission données de DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) (technologie de transport de la voix en mode numérique sur les réseaux sans fil), ou de la transmission radioélectrique par paquets de GSM / GPRS en transit.

```
(Tell: language RKRL: ontology Stockholm/Europe/Global/Universe/Version 0.1
      : Move Plan (: owner User (: from Kiosk: to "Grev Turgatan 16"): distance 3522m
      (: via (Taxi: probability .9) (Foot: probability 0.03))
      (: PCS-needs (:DECT 32 kbps) (:GSM GPRS) (: backlog Composing-email)))
```

Figure II.9 : Expression d'un plan en KQML

KIF (Knowledge Interchange Format) fournit un cadre axiomatique pour la connaissance générale comprenant des ensembles, des relations, des quantités, des unités et de la géométrie simple, etc. Sa contribution principale est forte. Sa structure est comme celle de LIPS, mais comme IDL et KQML, il n'est pas spécifiquement conçu pour l'usage interne.

Le langage naturel souffre des ambiguïtés et de la complexité qui limitent actuellement son utilisation comme langage formel. La version 0.1 de RKRL a été créée pour remplir ces vides dans la puissance expressive des langages de programmation, tout en imposant une parcelle de structure sur l'utilisation du langage naturel [15].

II.6 Domaines d'application de la radio cognitive

- **Les réseaux sans fil de prochaine génération** : la RC devrait être une technologie clé pour la prochaine génération de réseaux sans fil hétérogènes. La RC fournira des renseignements intelligents à la fois pour l'utilisateur et pour le fournisseur d'équipements.
- **Coexistence de différentes technologies sans fil** : l'IEEE 802.22, basé sur les utilisateurs WRAN peut utiliser efficacement la bande TV quand il n'y a pas d'utilisation du téléviseur à proximité ou quand une station de télévision ne diffuse pas.
- **Services de cyber santé (eHealth services)** : depuis que les équipements médicaux et les capteurs bio-signal sont sensibles aux interférences électromagnétiques, la puissance d'émission des appareils sans fil doit être soigneusement contrôlée. En outre, différents dispositifs biomédicaux (équipement et appareils chirurgicaux, de diagnostic et de suivi) utilisent la transmission RF. L'utilisation du spectre de ces dispositifs doit être choisie avec soin pour éviter toute interférence avec l'autre. Dans ce cas, les concepts de la RC peuvent être appliqués.
- **Réseaux d'urgence** : les réseaux de sécurité publique et d'urgence peuvent profiter des concepts de la RC pour fournir la fiabilité et la flexibilité de communication sans fil.
- **Réseaux militaires** : avec la RC, les paramètres de la communication sans fil peuvent être adaptés de manière dynamique en fonction du temps et de l'emplacement, ainsi que de la mission des soldats.

II.7 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre des notions importantes concernant la radio cognitive qui est un domaine alliant l'intelligence artificielle aux télécommunications. En tenant compte des standards radios existants ou émergents, on peut constater que dans un même environnement pourraient coexister différentes interfaces radio (UMTS, GSM / GPRS, WIMAX) qui offrent une variété de services.

Afin de pouvoir tirer le maximum de profit de la bande passante globale disponible, une gestion optimisée du spectre s'impose. Elle offre aux utilisateurs un débit supérieur et une meilleure qualité de service, et une augmentation du confort dans les communications.

Chapitre III : Simulation

III.1 Présentation de Logiciel

III.1.1 Description du simulateur OPNET

OPNET est un simulateur de réseau utilisé pour des buts expérimentaux. Il a une bibliothèque énorme de protocoles de réseau disponibles et est aussi utilisé pour la recherche et le développement au niveau industriel. Il aide à concevoir et à mettre en œuvre des différentes applications de réseau, des protocoles et des dispositifs à grande échelle. De plus, il fournit un environnement flexible pour évaluer de nouvelles idées et de leurs solutions à moindre coût.

III.1.2 Structure d'OPNET

Hiérarchiquement, OPNET est divisé en trois domaines différents:

❖ Domaine du Réseau

Le domaine du réseau fournit des informations de haut niveau des objets pour n'importe quel système. Le modèle de réseau décrit le type, l'emplacement, des interconnexions et la configuration d'objets. La taille et la longueur des réseaux modélisés peuvent être simples ou complexes. Un modèle de réseau peut avoir un nœud, un sous-réseau ou beaucoup de nœud et sous réseau reliés ensemble entre eux selon la structure et la complexité du modèle de réseau [20]. Par exemple, un réseau de topologie d'étoile ayant un hub central qui est connecté à plusieurs autres nœuds par des liaisons point-à-point comme le montre la figure III.1.

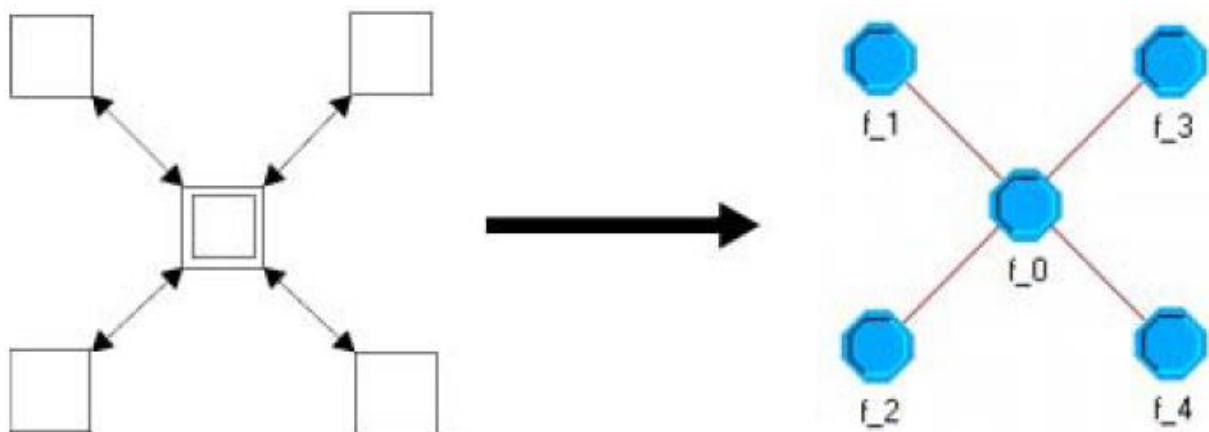


Figure III.1: Topologie en étoile et la Représentations de Modèle de Réseau

❖ Domaine de nœud

Les modèles de réseaux constitués de deux éléments: les nœuds de communication et des liens de communication. Au niveau du réseau, la structure interne de ces objets est invisible.

Un modèle de nœud est construit à partir de blocs reliés appelés modules. Chaque module se compose d'entrées, de sorties, de la mémoire de l'état et une façon de découvrir la sortie du module de l'entrée et de la mémoire d'état. La manière du calcul dépend du type de module. Certains modules sont intégrés dans l'action à effectuer des tâches spécifiques, tandis que d'autres le comportement peut être conçu par le concepteur du modèle.

Dans des modèles de nœud, des entrées et sorties de différents modules sont reliées par des objets appelés les connexions. Les connexions sont de deux types, un type est appelé le flux de paquets, et est utilisé pour transporter des paquets de données d'un endroit à un autre, et l'autre type est appelé le fil de stat qui est utilisé pour la transmission des valeurs individuelles. Les deux flux de données et les fils des statistiques envoyer des paquets de données et des statistiques sur les flux de paquets de sortie, et de recevoir des paquets de données et des statistiques sur les flux de paquets d'entrée.

❖ **Domaine de processus**

Les modules de file d'attente et des processeurs existent dans le domaine de nœud et leurs comportements sont décrits par les modèles de processus. Les modèles de processus peuvent utiliser pour la mise en œuvre de systèmes d'exploitation, disques ou de la mémoire, de nombreux protocoles de communication, les algorithmes, différents types de sous-systèmes matériels et logiciels, et ainsi de suite. Le domaine de processus se compose de deux grandes parties:

- Opération de Modèle de Processus : décrit la construction, les caractéristiques et les applications de modélisation de processus.
- Modèle de Processus Méthodologie de développement: décrit les étapes de la création du modèle de processus.

❖ **Modélisation**

Avant de lancer des projets le réseau qui doit être mis en application devrait être semblable à exister ou à un système proposé. Par conséquent le modèle désiré doit se comporter de la même manière comme un véritable système. Toutefois, les modèles peuvent représenter des aspects spécifiques souhaitables pour des raisons pratiques. Ainsi, pour l'équivalence des modèles, les points suivants devraient être pris à l'étude :

- Le modèle devrait clairement définir le problème et la solution proposée à ce problème.

- Le modèle devrait fournir précision dans sa solution et tous les types d'actions devraient être clairs.
- Le modèle devrait fournir une conception claire et une validation de support.

En conséquence, l'équivalence signifie que le modèle doit décrire les objectifs souhaités et réalisés clairement. Pour modéliser mieux des résultats, les étapes suivantes de résolution des problèmes devraient être maintenues dans l'esprit, suivant les indications de la figure IV.2.

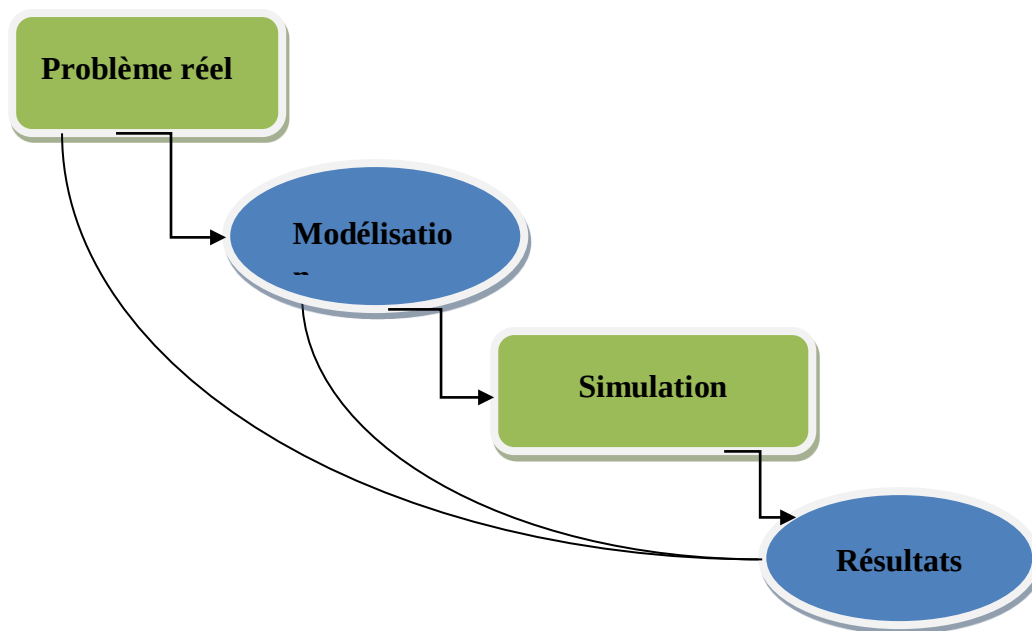


Figure III.2: Résolution de problèmes dans OPNET

La figure montre que pour tout problème à être simulé dans l'OPNET, l'algorithme est préparé et mis en œuvre en utilisant les modules nécessaires. A la fin, des résultats optimisés sont collectés, montrant la solution du problème.

III.2 Présentation de Simulation

Nous avons conçu un petit réseau de bureau près du Tlemcen, Algérie comme le montre la figure III.3

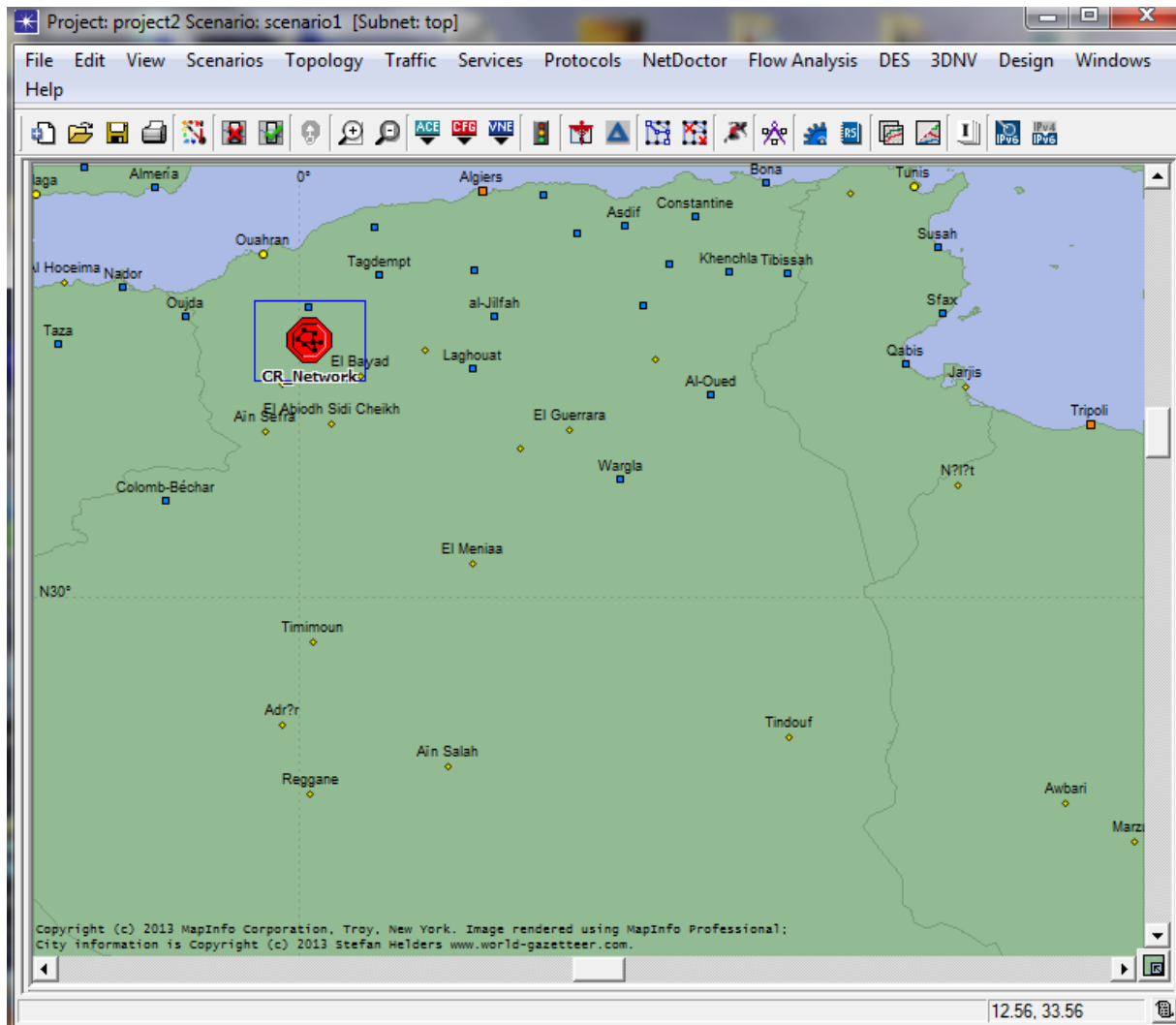


Figure III.3 : Petit réseau du bureau à Tlemcen

Passons maintenant à l'intérieur au réseau de bureau de CR figure III.3 il y a un petit réseau de bureau de zone de 100*100 mètres où 5 paires de nœuds primaires (tx1 et rx1, tx2 et rx2, tx3 & rx3, tx4 & rx4, tx5 & rx5) communiquent les uns avec les autres et 2 paires secondaires (SU1-1 et SU 1-2, SU 2-1 & SU 2-2) sont de façon opportuniste en utilisant le spectre et communiquent les uns avec les autres comme le montre la figure IV.4

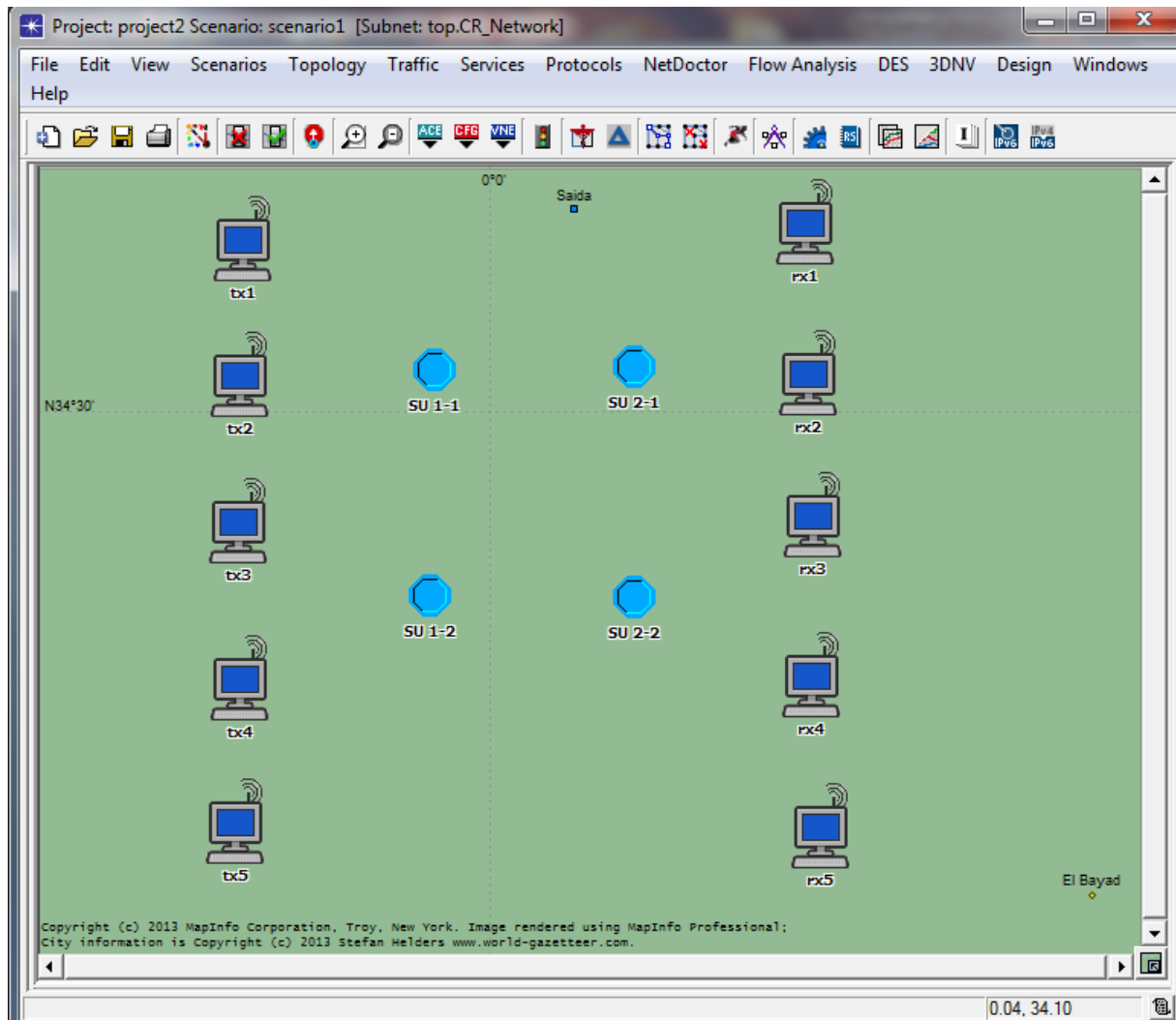


Figure III.4 le scénario du projet

III.3 Les caractéristiques de transmission

Il y a cinq paires de PUS dans notre scénario de projet. La spécification de transmission de chaque paire est présentée au tableau III.1 ci-dessous. Le taux de transmission idéale est de 11 Mbps pour chaque paire. La fréquence d'émission de chaque paire est différente de sorte que, pour éviter toute interférence pendant l'émission.

L'émetteur utilise le type différentiel déplacement de phase de modulation (DPSK). Elle a deux principaux avantages par rapport aux autres régimes.

Tout d'abord, DPSK ne nécessitent pas de symboles de formation et des sous-porteuses pilotes car il n'y a pas d'exigence de l'égalisation de canal dans DPSK. Cela rend plus facile pour le module de détection CR de sens dans les fréquences occupées du spectre.

D'autre part, le schéma de modulation DPSK maintient un diagramme de constellation circulaire dont la forme est typique perturbé si un autre signal est ajouté, ainsi CR récepteur

peut détecter l'interférence après avoir observé la forme de diagramme de constellation du sous-porteuses.

L'utilisateur primaire	Débit (bps)	Fréquence (MHz)	Largeur de bande (KHz)	Type de modulation	Puissance (W)
tx1 & rx1	11,000,000	2,402	11,000	Dpsk	0.5
tx2 & rx2	11,000,000	2,418	11,000	Dpsk	0.05
tx3 & rx3	11,000,000	2,430	11,000	Dpsk	0.05
tx4 & rx4	11,000,000	2,445	11,000	Dpsk	0.005
tx5 & rx5	11,000,000	2,475	11,000	Dpsk	0.005

Tableau III.1 Spécifications de la communication

III.4 L'enregistrement des modules dans OPNET

Dans OPNET afin d'établir la connexion de RF entre différents modules, ils doivent être enregistrés aux groupes spécifiques de leurs caractéristiques. Pour établir la connexion RF entre l'émetteur radio et un récepteur radio, ils sont enregistrés dans l'émetteur logique et groupes de récepteurs qui correspondent à leurs spécifications, afin qu'ils puissent communiquer les uns avec les autres. Le nom de module de nœud P_3 est fait à cet effet suivant les indications de la fig. En utilisant le mode opératoire noyau `op_id_self()`, au nœud auto identifiant est obtenu, puis son ID de parent est obtenu en utilisant la procédure noyau `op_topo_parent()`. En outre, l'émetteur id qui doit être inscrit sur ce nœud est acquis en utilisant la procédure nom de `op_id_from_()` du noyau.

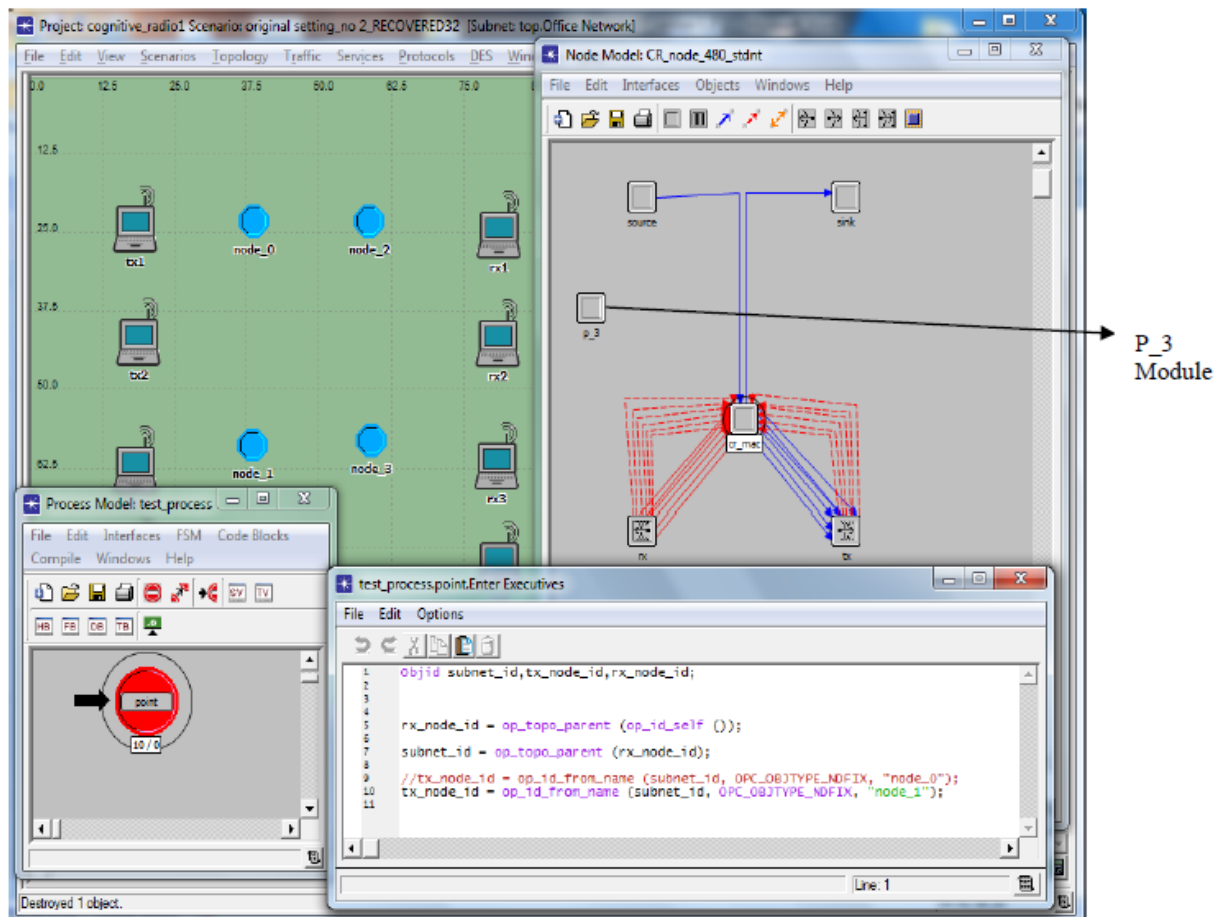


Figure III.5 Enregistrement d'émetteur et de récepteur

III.5 Modèles de nœud

Différents types de modèles de nœud disponibles dans OPNET, Dans ce projet, il y a deux types de modèles de nœud utilisés : un pour le PU et un pour le modèle de nœud de SU ou de CR.

III.6 Modèle de nœud de PU

Puisque tous les nœuds de PU sont des utilisateurs conventionnels qui n'ont pas les capacités dynamiques comme des utilisateurs de CR, la configuration par défaut du modèle de nœud pour tous les PUs est employée suivant les indications de la figure III.6 Les composants principaux du modèle de nœud de PU sont les suivants :

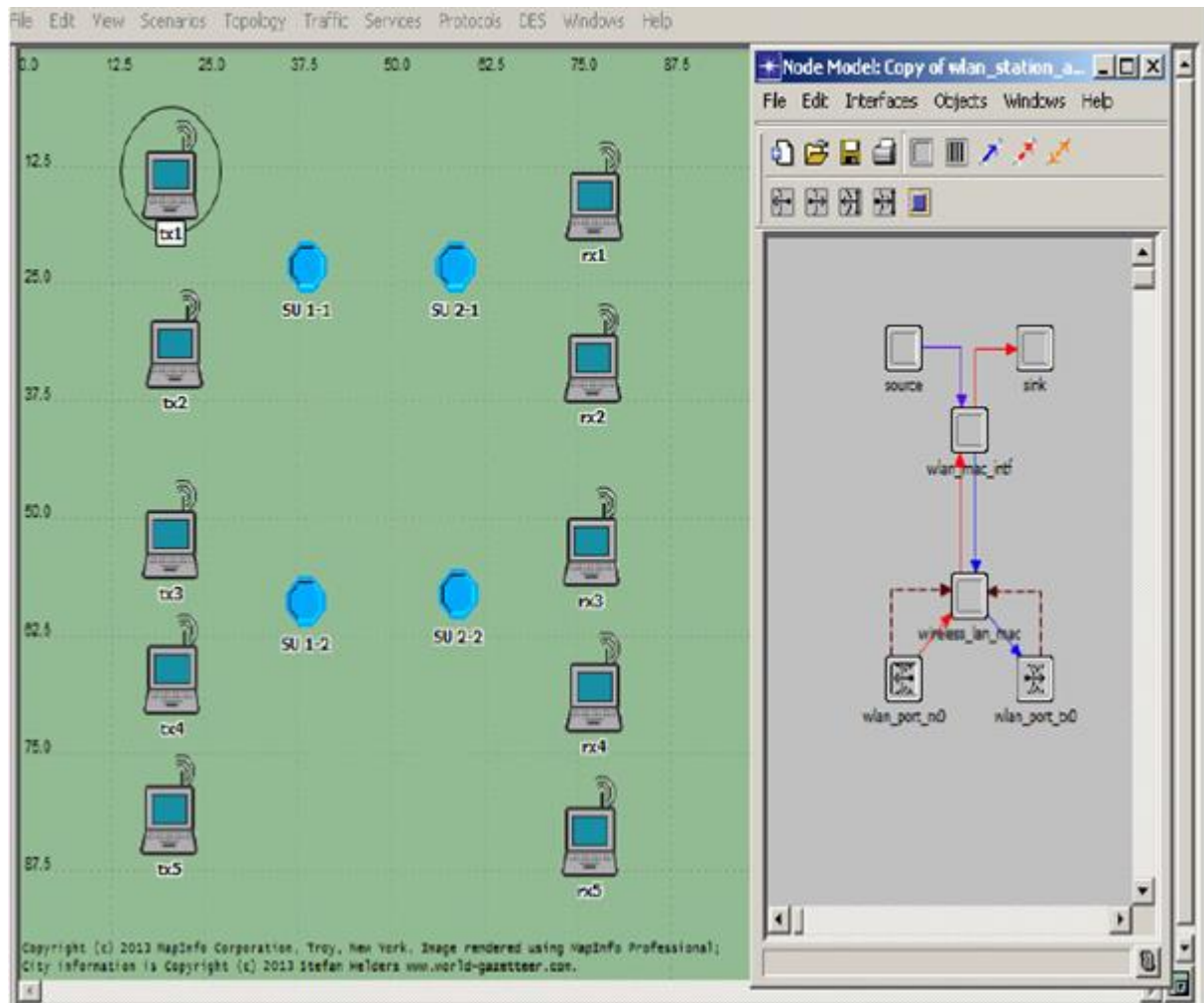


Figure III.6 Modèle de nœud de PU

III.6.1 Source

Dans le module de source, une source de salves est utilisée. Une source rafale est celui dans lequel le rapport du débit de transmission de pointe de la vitesse de transmission moyenne est très élevée. Donc, chaque fois qu'il y a un pic de transmission par l'utilisateur, le canal sera entièrement utilisé, mais il arrive en de rares occasions et la plupart du temps le canal reste utilisé de manière insuffisante. Dans OPNET le trafic d'un utilisateur particulier peut être commandé en limitant ou en augmentant ses capacités de génération de paquets en ajustant des paramètres de génération de paquets de la source.

III.6.2 Sink

Tous les paquets qui sont pour des couches plus élevées sont expédiés pour descendre et détruits dans l'évier car l'accent est mis seulement sur la couche physique et la couche liaison de données.

III.6.3 Transmetteur

Comme son nom l'indique, ce module est utilisé pour générer des paquets de la source.

III.6.4 Récepteur

Comme son nom l'indique, ce module est utilisé pour recevoir des paquets de la source.

III.7 Modèle de nœud de CR

Dans le modèle de nœud de CR, les modules de source, sink, d'émetteur et de récepteur sont les mêmes que dans le modèle de nœud de PU. Les autres composants importants avec l'aide de laquelle le protocole MAC CR est mis en œuvre sont la couche CR_ MAC, flux de paquets et les fils de statistiques, comme indiqué sur la figure III.7

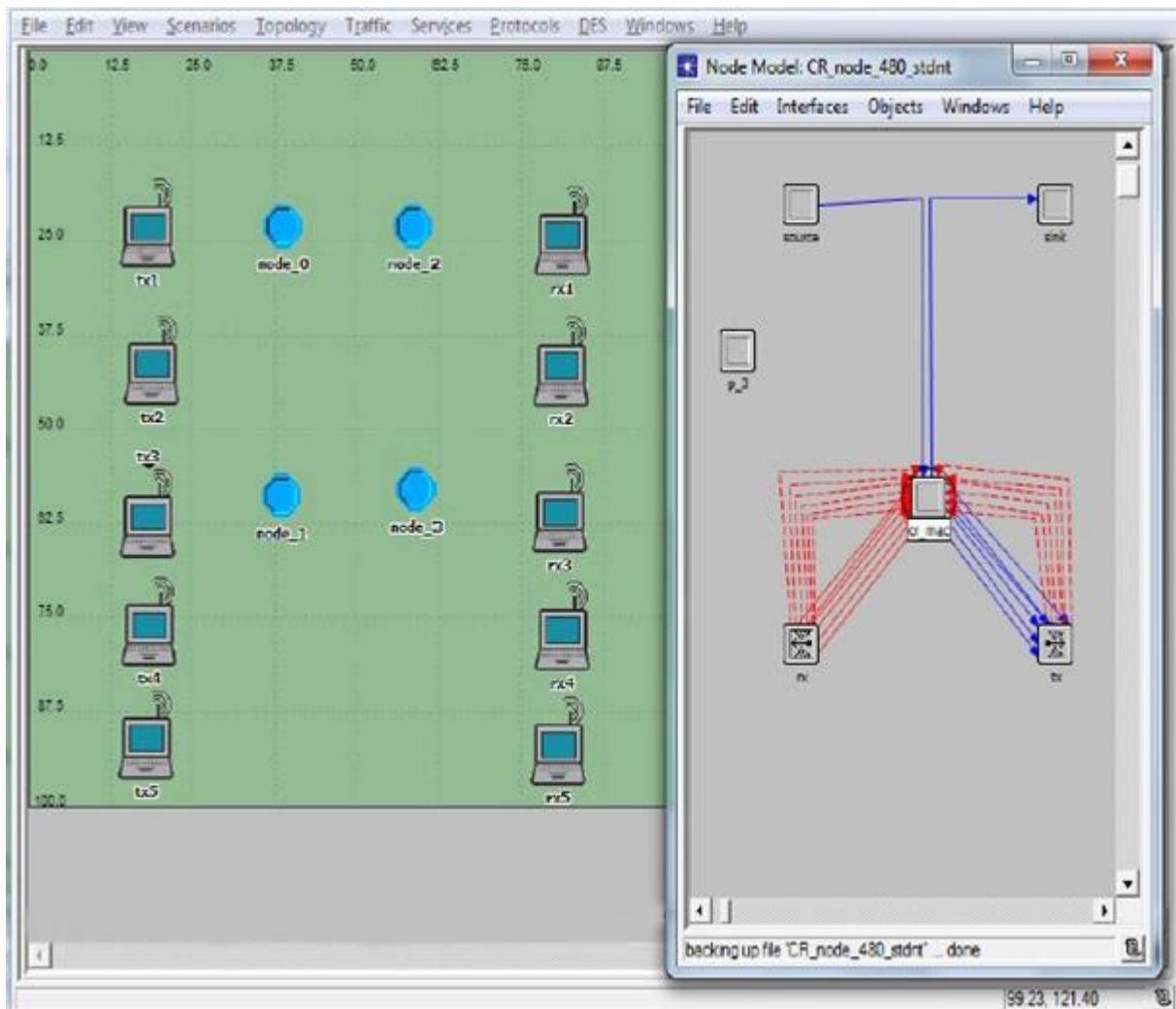


Figure III.7 Modèle de nœud de CR

III.7.1 Processus de couche de MAC (Cr_mac)

Dans le processus MAC, le protocole est mis en œuvre sous la forme d'état.

III.7.2 Packet Streams

Les fils solides dans la Figure III.8 sont des flux de paquets et ils sont utilisés pour transporter le paquet d'un point à un autre.

III.7.3 Stat Wires

Les fils en pointillés sur la figure III.8 sont des fils de statistiques. Ces fils sont utilisés pour transporter les statistiques d'un point à un autre. En OPNET, la détection se fait à la couche

physique et toutes les statistiques sur la présence des utilisateurs sont données au processeur MAC via le fil de stat.

Tous ces modules sont montrés dans la figure III.8

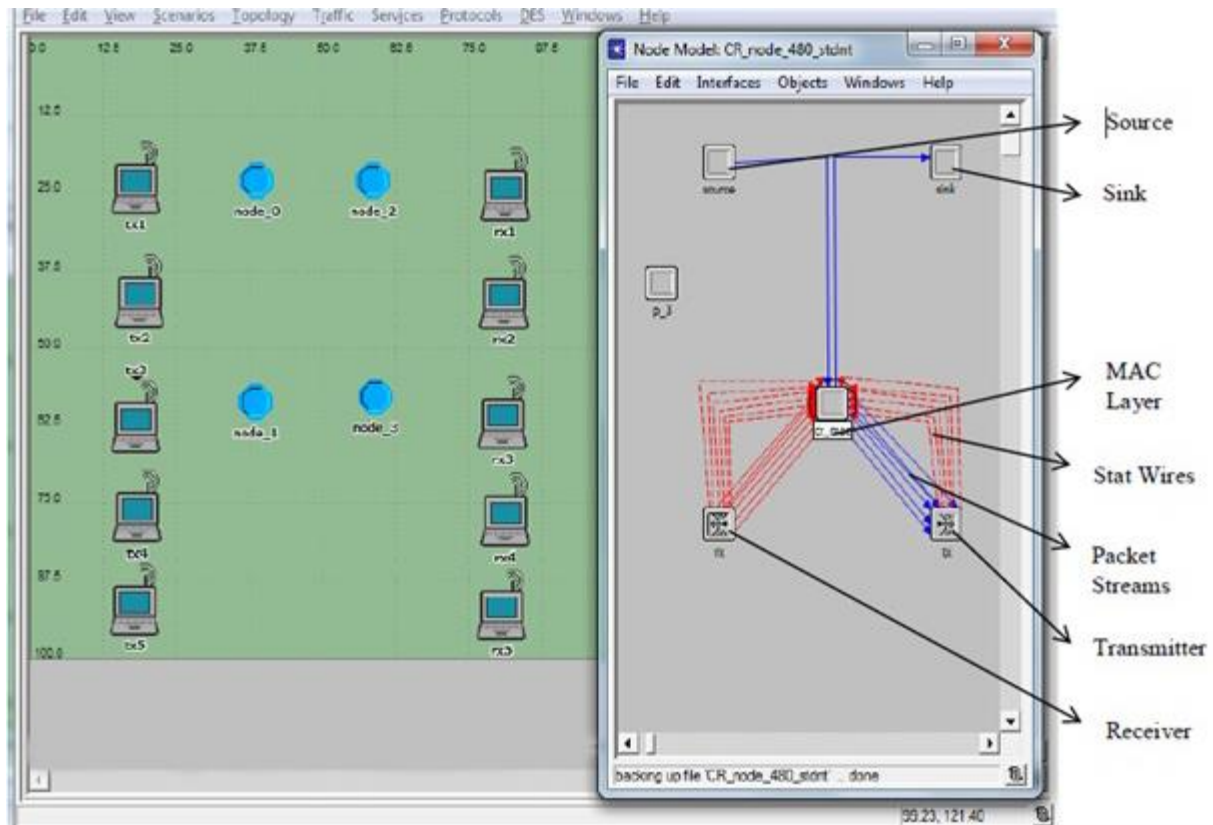


Figure III.8 : Différentes parties du modèle de nœud CR

III.8 La fonctionnalité des Couches supérieures

Les couches plus élevées sont remplacées par une source et un processus sink.

III.8.1 Source de CR

La source de salves CR produit les paquets qui entrent dans le processus MAC par l'intermédiaire d'un flux de paquets relié à la source et le processus MAC. Dans le processus MAC, les paquets sont stockés dans une file d'attente. Voir la figure III.9

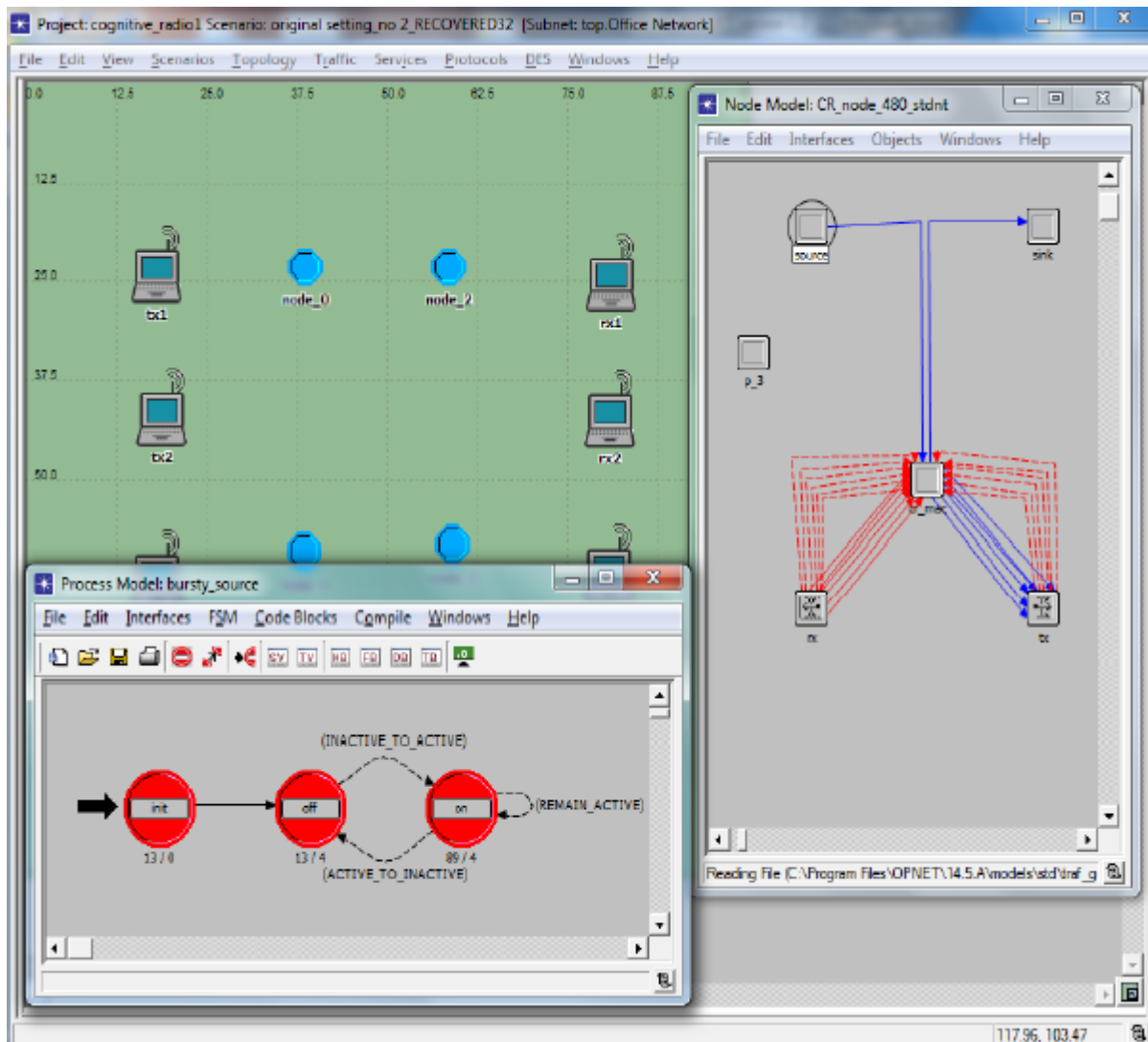


Figure III.9 : source de CR

La source est constituée des attributs suivants, le temps de démarrage, le temps d'état, le temps d'état OFF, le temps d'état ON, le temps inter-arrivée, la taille des paquets et la taille de segmentation. Voir la figure III.10

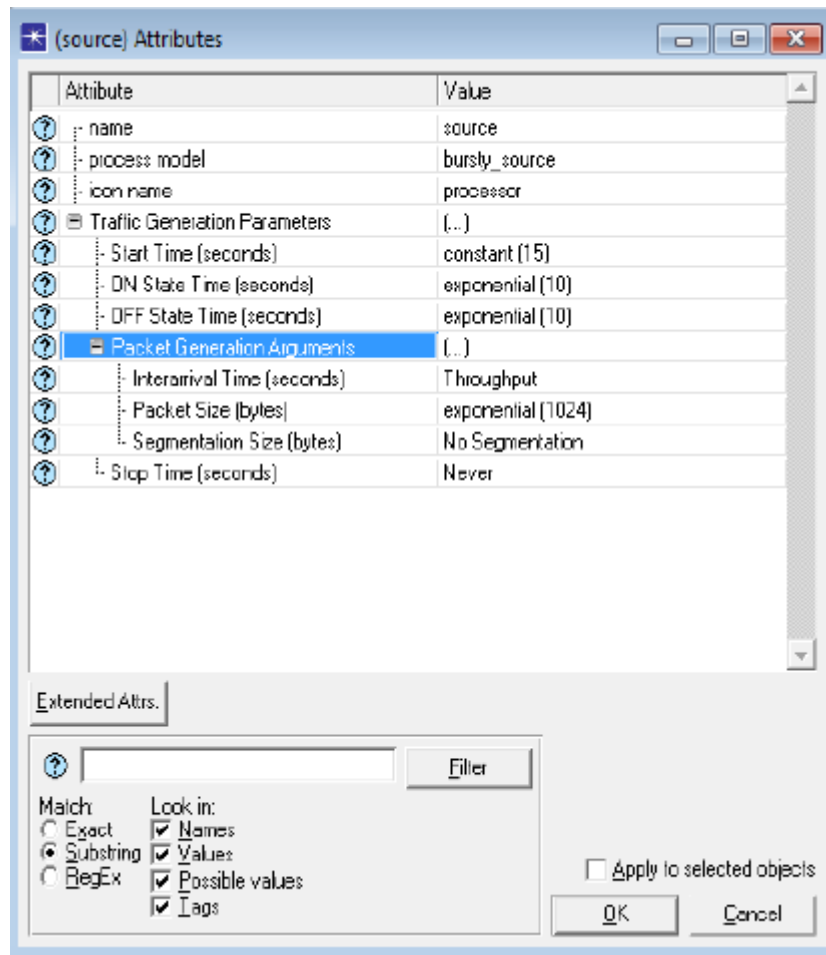


Figure III.10 : Attributs de source de CR

III.8.2 Sink de CR

Le module sink reçoit des paquets du processus de MAC par l'intermédiaire d'un flux de paquet attaché entre le module sink et le module de processus de MAC et les détruit. Le module sink est représenté dans la figure III.11.

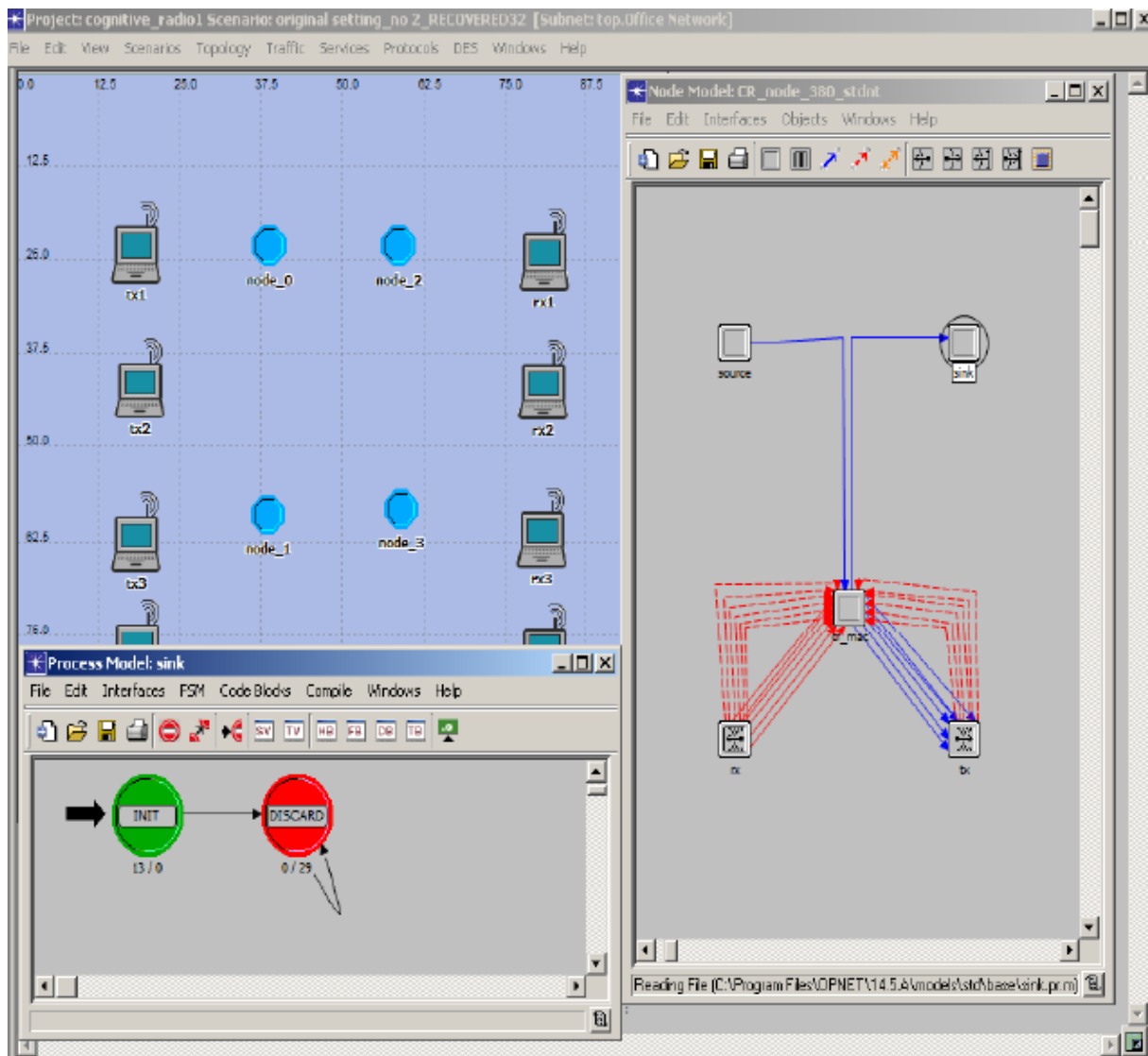


Figure III.11 : Sink de CR

III.9 La couche physique de CR

La couche physique se compose de l'émetteur et le module récepteur suivant les indications de la figure III.9

III.9.1 L'émetteur de CR

L'émetteur du nœud CR reçoit des paquets du processus MAC via un flux de paquets et transmet les paquets en utilisant un canal de commande et cinq canaux de données, comme indiqué sur la figure III.9. La Figure III.12 montre les informations détaillées sur les canaux.

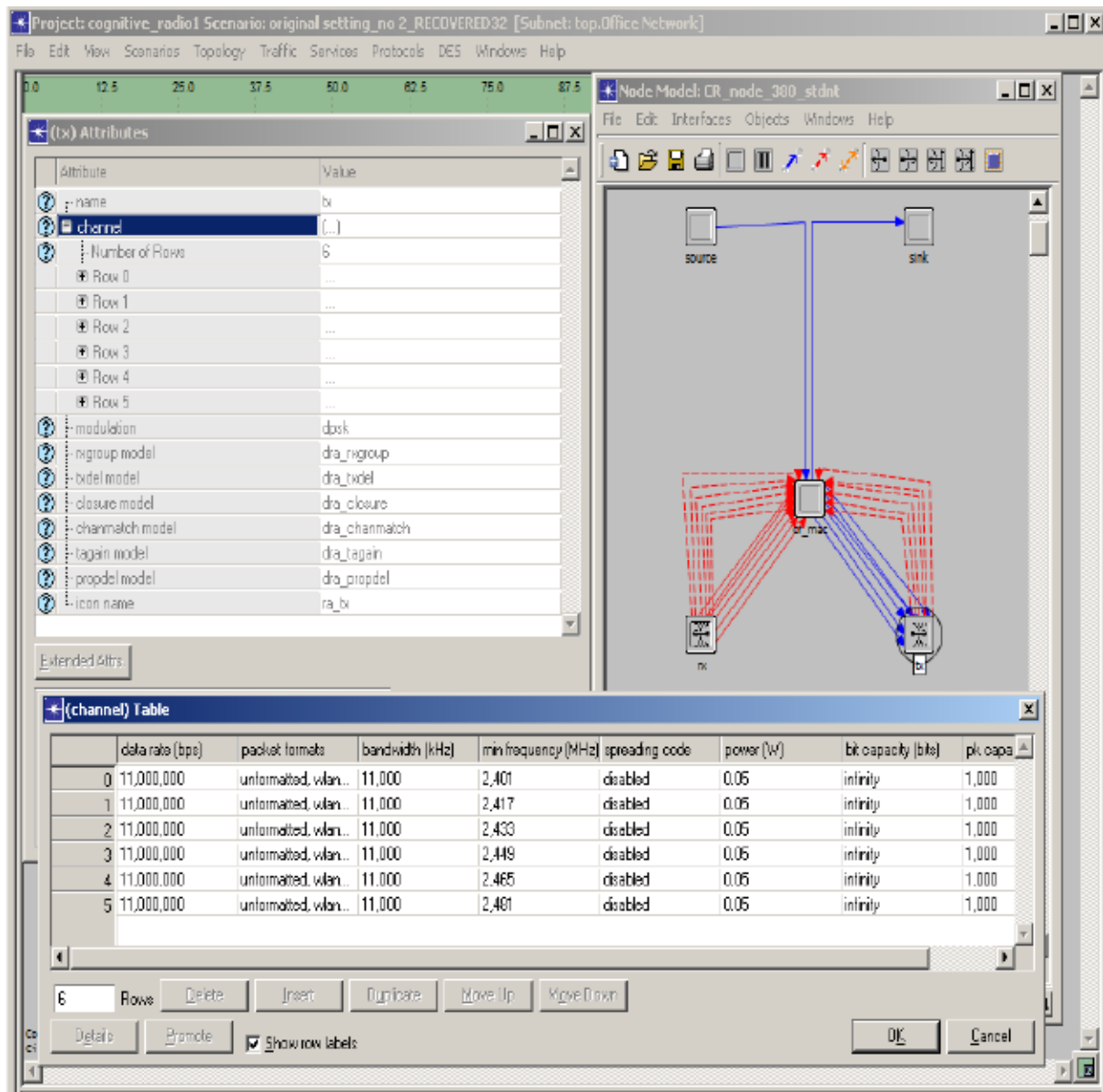


Figure III.12 : l'émetteur de CR

L'émetteur soutient seulement deux formats de paquets wlan_mac_cr et wlan_control_cr.

Le format des paquets wlan_control_cr est utilisé pour acheminer des informations de commande et le format de paquet wlan_mac_cr est utilisé pour transporter des informations de données. Les figures du format de paquet sont présentées dans la figure III.13 et III.14.

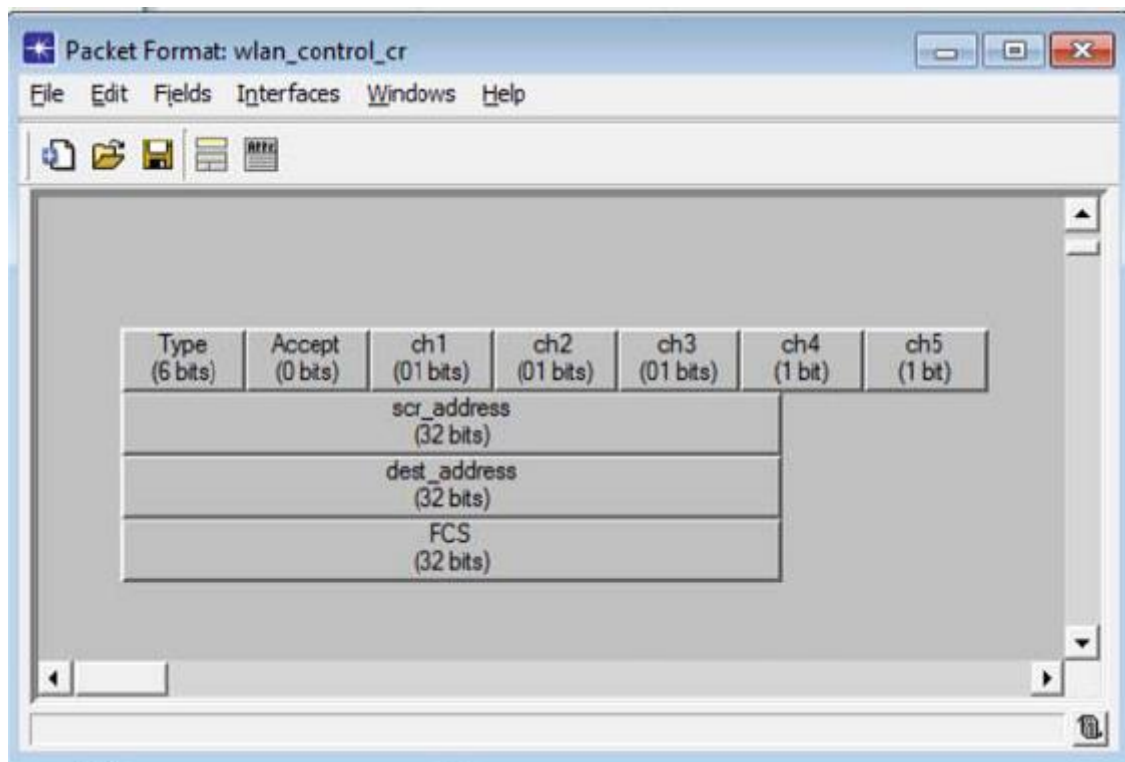


Figure III.13: Format de paquet de commande

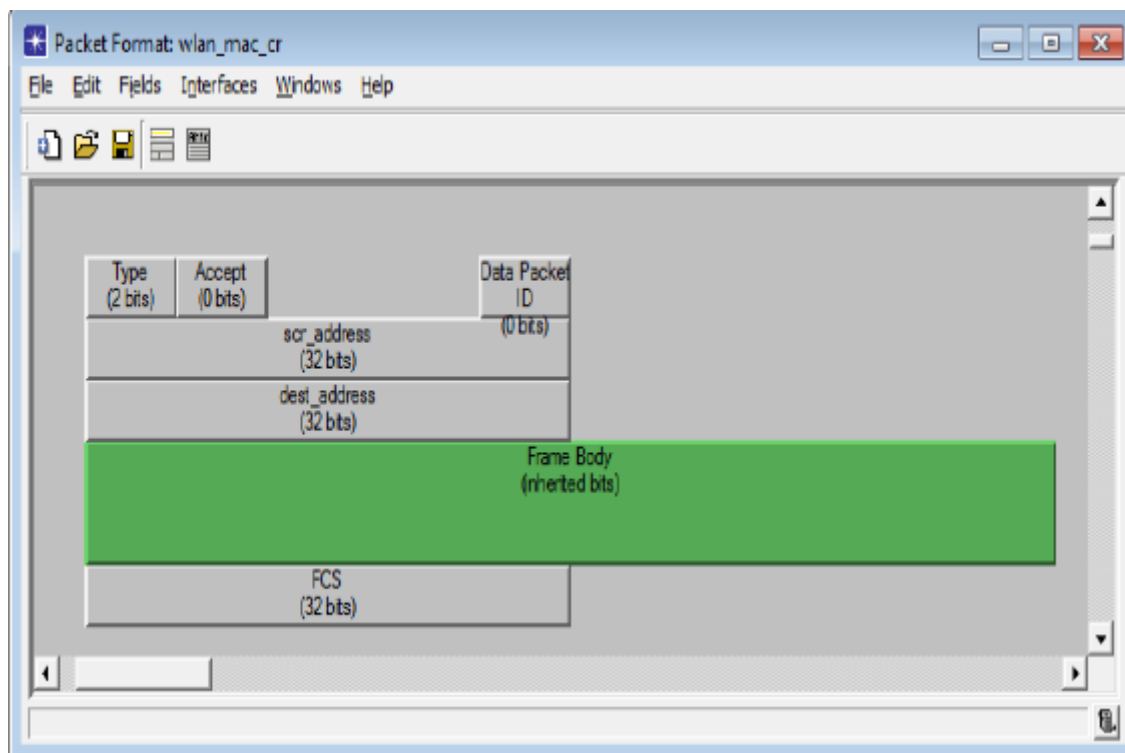


Figure III.14 : Format de paquet de données

III.9.2 Récepteur de CR

Le récepteur du nœud de CR reçoit des paquets et les envoie au processus MAC par l'intermédiaire d'un flux de paquets, en utilisant un canal de commande et cinq canaux de données. Les spécifications des canaux sont affichées dans la figure III.15.

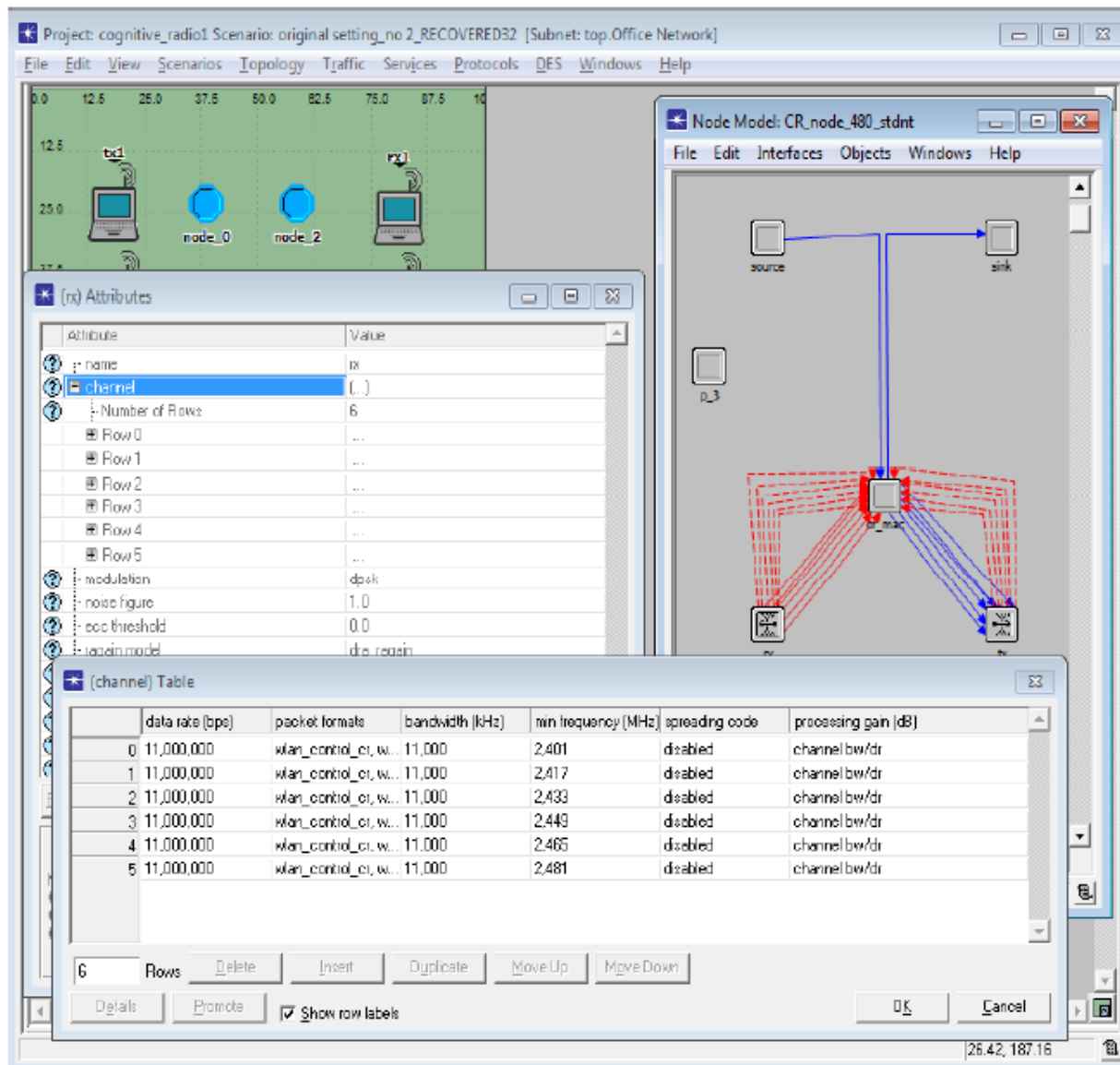


Figure III.15: Récepteur de CR

Les flux d'interruption sont aussi attaché avec récepteur et le processus MAC, l'utilisation de ces flux d'interruption, le récepteur sent l'interférence d'utilisateur primaire et l'envoi au processus de MAC et le nœud de CR sent utilisateur primaire sur les cinq voies de transmission de données.

III.10 Implémentation du protocole OC-MAC sur la couche MAC

Dans ce protocole, il y a un canal de commande dédié et cinq canaux de données. Sur le canal de contrôle, les nœuds CR concurrencent les uns avec les autres pour la réservation de canaux de données. Le mécanisme de base pour la sélection du canal de données est que l'émetteur envoie le paquet RTS vers le côté du récepteur contenant des informations sur les canaux disponibles et de la durée de transmission possible. Le récepteur vérifie la disponibilité d'une voie commune entre l'émetteur et le récepteur et envoie le paquet CTS de retour vers l'émetteur et vers tous les voisins. Après la sélection du canal de données, la transmission des données démarre. la figure III.16 montre la mise en œuvre du protocole MAC.

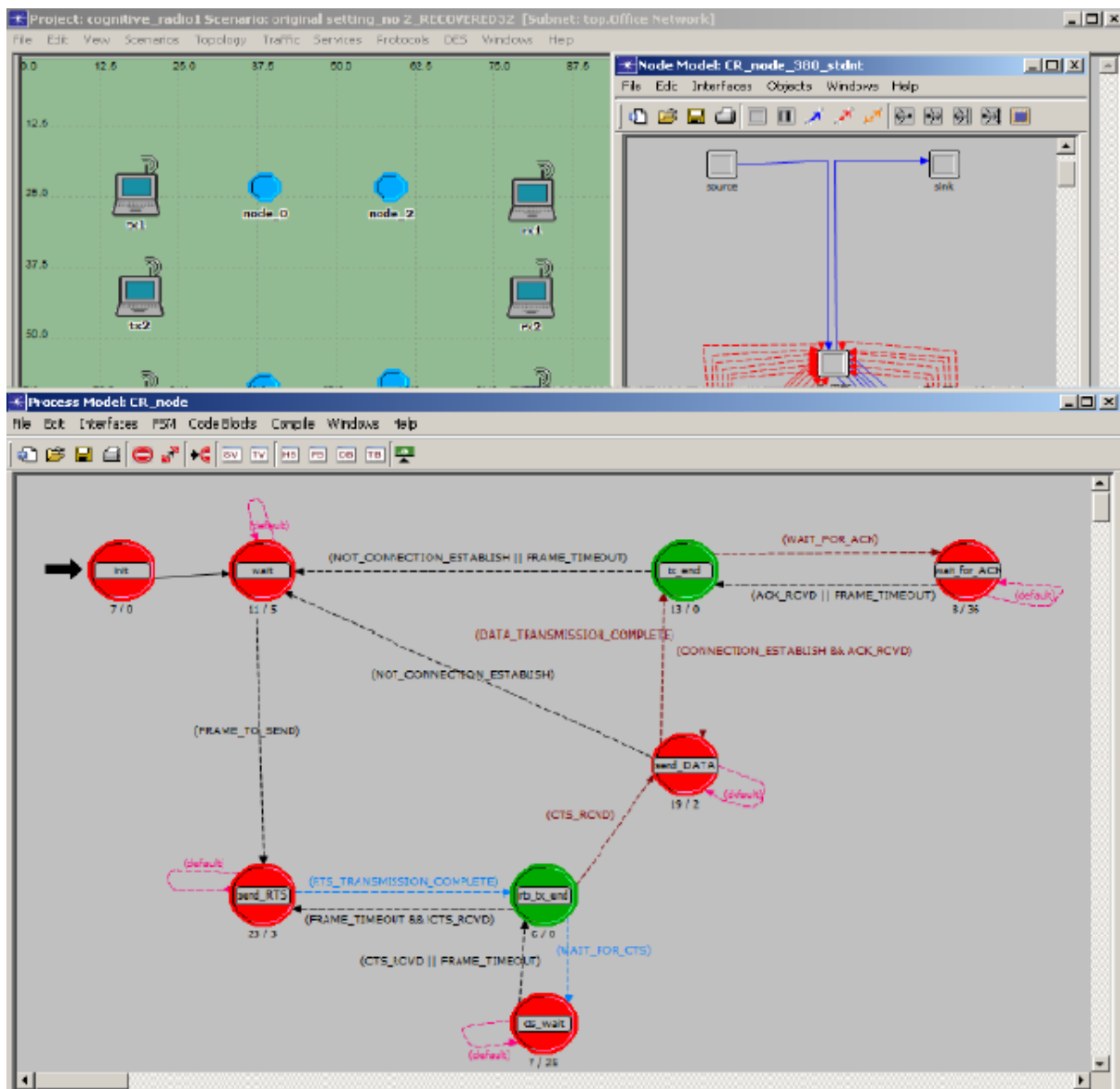


Figure III.16 MAC Protocol Implémentation 1

III.10.1 Etape 1: Lancer une transmission

Quand les nœuds commencent la communication avec l'autre nœud, la première chose que l'état s'exécute est :

- Init state (rouge)

Dans cet état, la fonction appelle `cr_sv_init()` pour l'initialisation de toutes les valeurs de départ variables. Ensuite il transite à l'état d'attente.

- Wait state (rouge)

Dans cet état, la première fonction est appelée `CR_interrupts_process ()` pour vérifier si les données proviennent d'une couche supérieure ou la couche physique. Les deux cas apparaissent si les données viennent d'une couche plus élevée, la fonction `CR_higher_layer_data_arrival()` est appelée par ailleurs la fonction `cr_physical_layer_data_arrival()` est appelée. Dans cet état la table de statut de canal est mise à jour en appelant la fonction `cr_rcv_channels_table_status_update (intrpt_code)`. Le flux d'interruption sent la voie de transmission de données et met à jour le statut de canal. Si le cadre de condition à envoyer est vrai alors il transite à l'État d'envoi RTS. La mise en œuvre de tout cela est montrée dans la figure III.17.

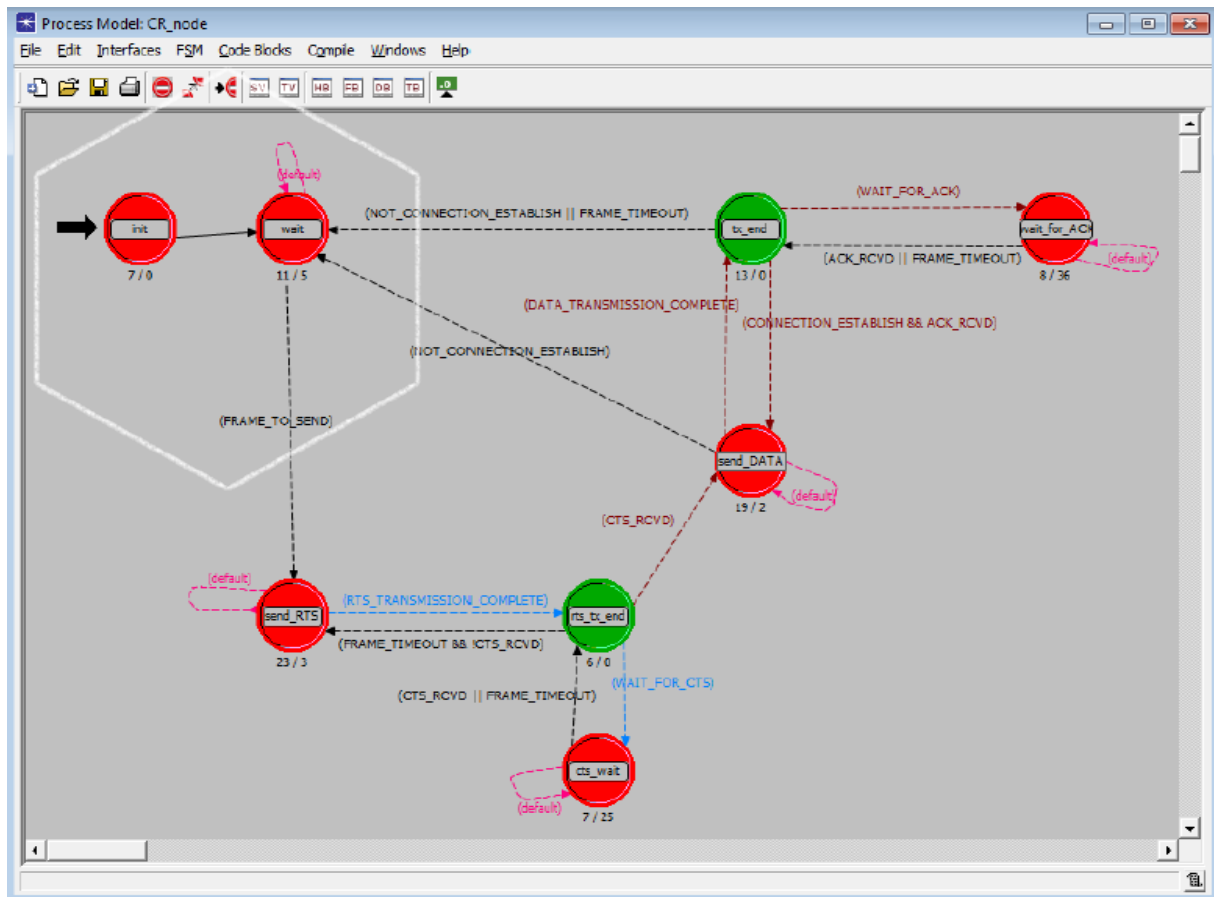


Figure III.17 : MAC Protocol Implémentation 2

III.10.2 Etape 2: Sélection des canaux

Dans cette étape les états exécutés sont ;

- Send RTS (rouge)

Dans cet état la table d'états de canal est de nouveau mise à jour et un paquet de RTS est envoyé à d'autres nœuds désirés de CR pour la communication en utilisant le wlan_control_cr de format de paquet. Si l'état de RTS_ TRANSMISSION_COMPLETE est vrai, alors les transitions d'état au rtx_tx_end.

- rtx_tx_end (vert)

Dans cet état le protocole attend le paquet de CTS de l'autre nœud alors que deux cas sont possibles : soit le paquet CTS est reçu ou pas.

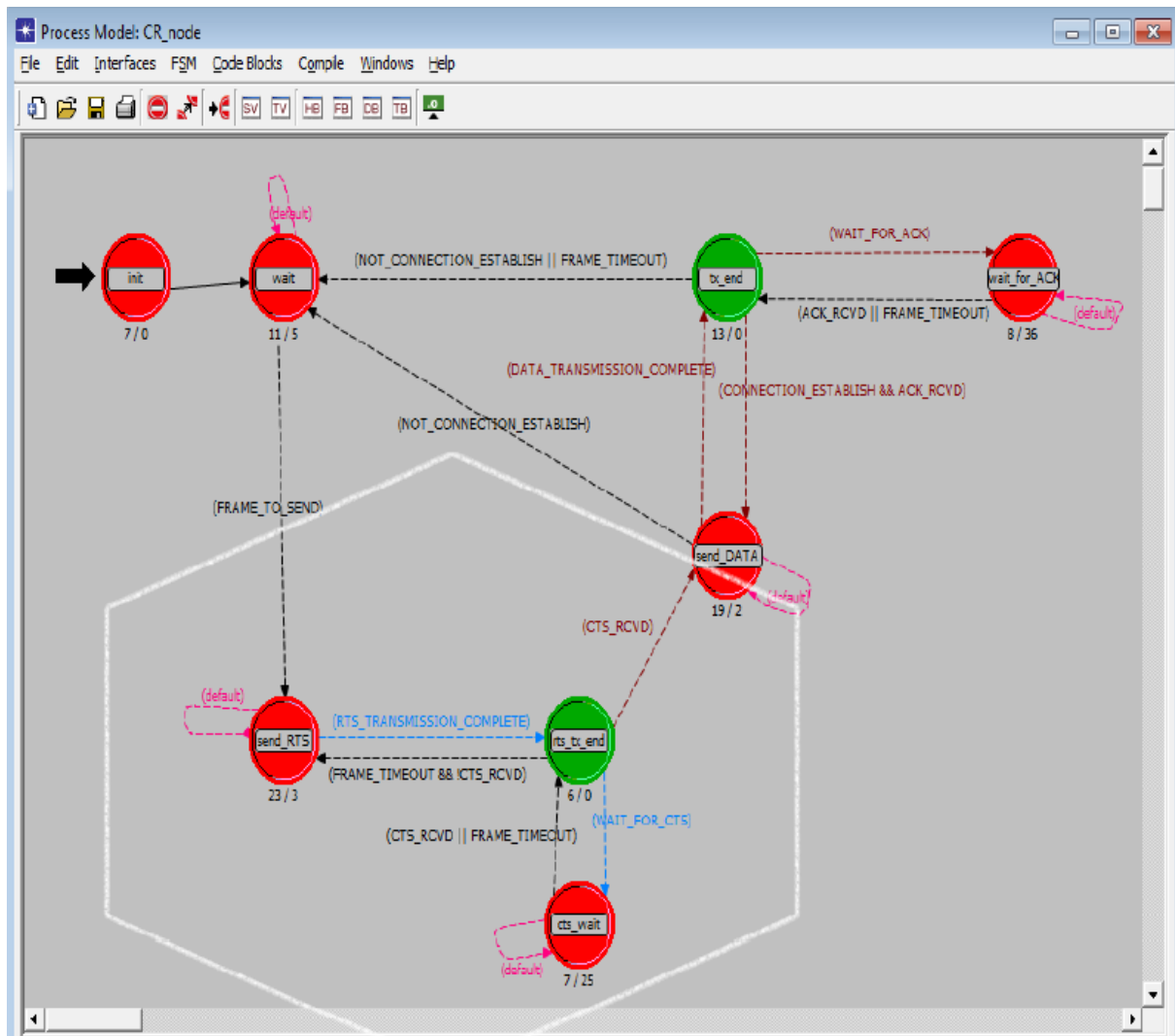


Figure III.18 : Sélection du canal

- CTS_wait (rouge)

Pour l'attente, le protocole transite à cet état si quelque chose se produit en CTS_RCVD ou FRAME_TIMEOUT. Ensuite, les transitions du protocole à l'état de nouveau rtx_tx_end (vert). Cet État décide si la condition FRAME_TIMEOUT est vraie, le protocole essaye encore d'envoyer le paquet de RTS et de retourner pour envoyer l'état de RTS. Si la condition CTS_RCVD est vraie, il transite à l'état send_data. En paquets de RTS et de CTS, les nœuds communiquent pour la meilleure sélection de canal dont ils peuvent envoyer leurs données.

III.10.3 Étape 3: Confirmez l'information

Dans cette étape ils informent aussi leur voisin qu'ils communiquent sur ce canal utilisant le paquet de wlan_control_cr. Tout le nœud dans le scénario met à jour leur table d'état du canal.

- Send_data (rouge)

Dans cet état le nœud prépare les données à envoyer et vérifie l'établissement de connexions. Si la connexion établit alors sélectionnez un canal et envoyez les données sur le canal sélectionné. Ensuite, la transition de protocole à l'état tx_end. Voir la figure III.19.

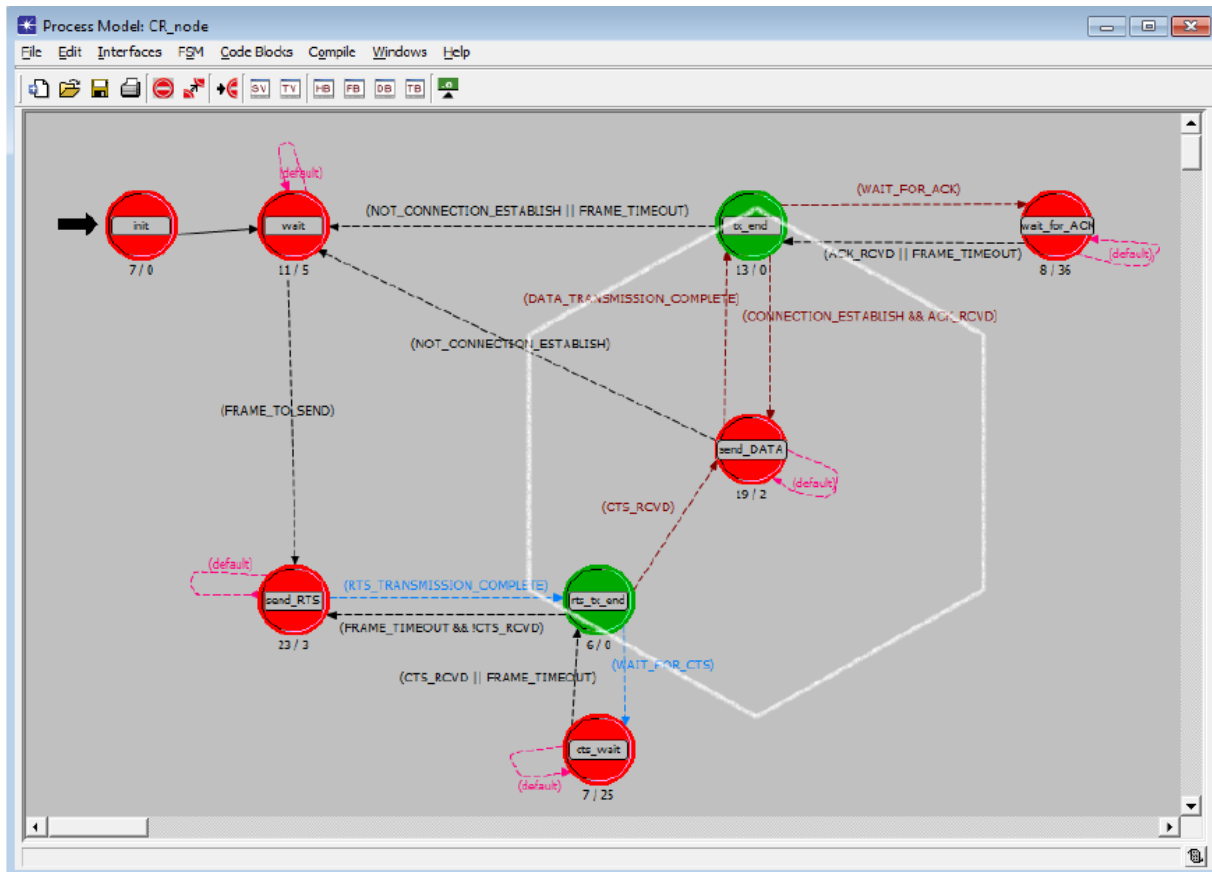


Figure III.19: Confirmez l'information

III.10.4 Etape 4 : Transmission des données

Dans cette étape, les données sont transmises sur le canal sélectionné :

- tx_end (vert)

Dans cet état le protocole attend la reconnaissance des données transmises et les transitions à l'état Wait_for_Ack.

- Wait_for_Ack (rouge)

Dans cet état le protocole attend la reconnaissance pendant une période de temps donnée. Dans tous les cas, soit la condition ACK_RCVD ou FRAME_TIMEOUT est vrai, le contrôle passe à nouveau à l'état tx_end. Dans cet état, si la reconnaissance est reçue dans un temps

donné, les données sont de nouveau transmises et le contrôle va à l'état send data. En outre, si la reconnaissance n'est pas reçue dans un temps donné, tout le processus est de nouveau commencé à partir de l'étape 1 et le contrôle va à l'état d'attente, comme le montre la figure III.20

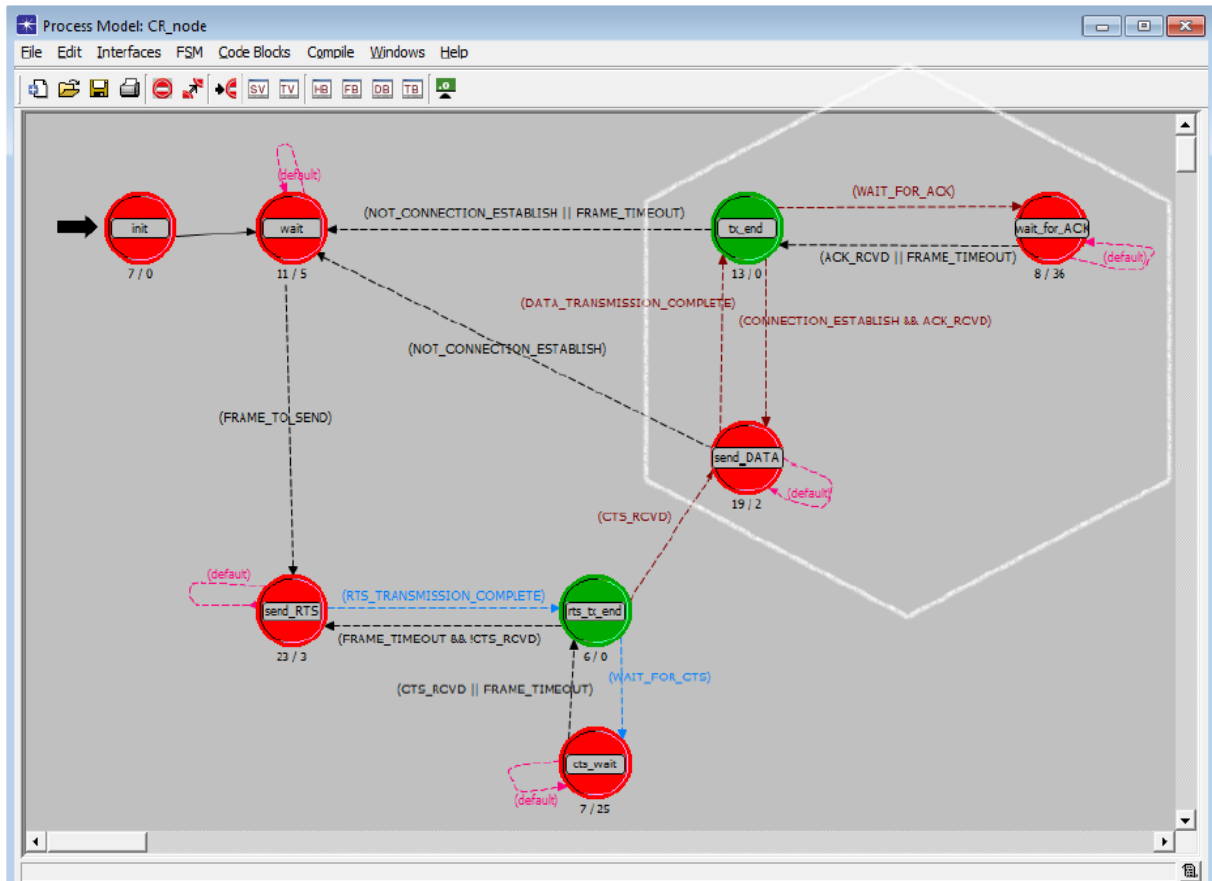


Figure III.20: Transmission des données

III.11 Résumé

Dans cette partie, l'ensemble de la mise en œuvre du protocole OC-MAC est expliqué. Il existe trois modèles qui seront utilisés dans l'OPNET. Tout le modèle de réseau est représenté avec les émetteurs et les récepteurs. Ensuite, dans le modèle de nœud, la vue intérieure de l'émetteur et le récepteur sont indiqués. En outre, dans le modèle de processus, des renseignements détaillés sur les nœuds sont donnés sous la forme d'états. Dans l'état, la partie supérieure s'appelle l'exécutif d'entrée et la partie plus inférieure s'appelle l'exécutif de sortie. Dans les deux entrées et sorties exécutives, la programmation est faite. La mise en œuvre du modèle de processus sous la forme d'états est décrite que lorsque deux nœuds veulent commencer la communication, toutes les variables sont initialisées et ensuite le paquet RTS contenant les informations sur le canal de données disponible et la durée de transmission possible est envoyé par l'émetteur vers le côté du récepteur. Le récepteur compare le contenu

du paquet RTS avec son ensemble de canaux disponibles et le canal de données la plus appropriée est sélectionné pour la transmission. Le récepteur transmet l'information de paquet CTS sur le canal couramment sélectionné vers le transmetteur ainsi aux voisins. Après avoir reçu le paquet CTS, le canal de données approprié est sélectionné et tous les voisins sont également informés de cette communication. La transmission de données commence sur les canaux de données sélectionnés. Si l'accusé de réception est reçu, cela signifie que les données ont été envoyées, sinon le contrôle passe à nouveau à l'état d'attente et toutes les étapes sont répétées à nouveau.

III.12 Résultats et conclusions

Cette partie donne une analyse détaillée de la simulation et des résultats pour différents scénarios pour évaluer la représentation du protocole d'OC-MAC. La performance d'Oc-MAC est évaluée par rapport à la moyenne des données envoyées sur le réseau et le nombre de collisions. On suppose que les dégâts tolérables sont 1 % fourni par le réseau primaire.

III.12.1 Résultats de la simulation

Toutes les simulations sont faites dans l'OPNET v 14.5 simulateur de Réseau. IEEE 802.11b ad hoc sans fil est introduit en tant que le réseau primaire, ayant un taux de canal de 11 Mbps. Dans le scénario du projet, il ya un réseau de bureaux de 100 mètres carrés dans la zone. Dans ce petit réseau, il ya cinq paires de nœuds PU et 2 paires de nœuds CR. Il existe un canal de commande pour la sélection de canal et cinq canaux de données pour la transmission. La durée de simulation est de 5 minutes et les résultats sont recueillis pour trois graines aléatoires différentes. D'abord la performance de réseau avec seulement les utilisateurs primaires est observée. Ensuite, les utilisateurs secondaires sont également autorisés à communiquer et la performance de réseau ainsi que la performance du protocole OC-MAC qui est observé avec les utilisateurs primaires et secondaires communiquant simultanément.

III.12. 3 Premier scénario

Le réseau est d'abord analysé avec 128 comme valeur de départ aléatoire. La figure III.21 et la figure III.22 montre la performance du réseau avec seulement les utilisateurs primaires.

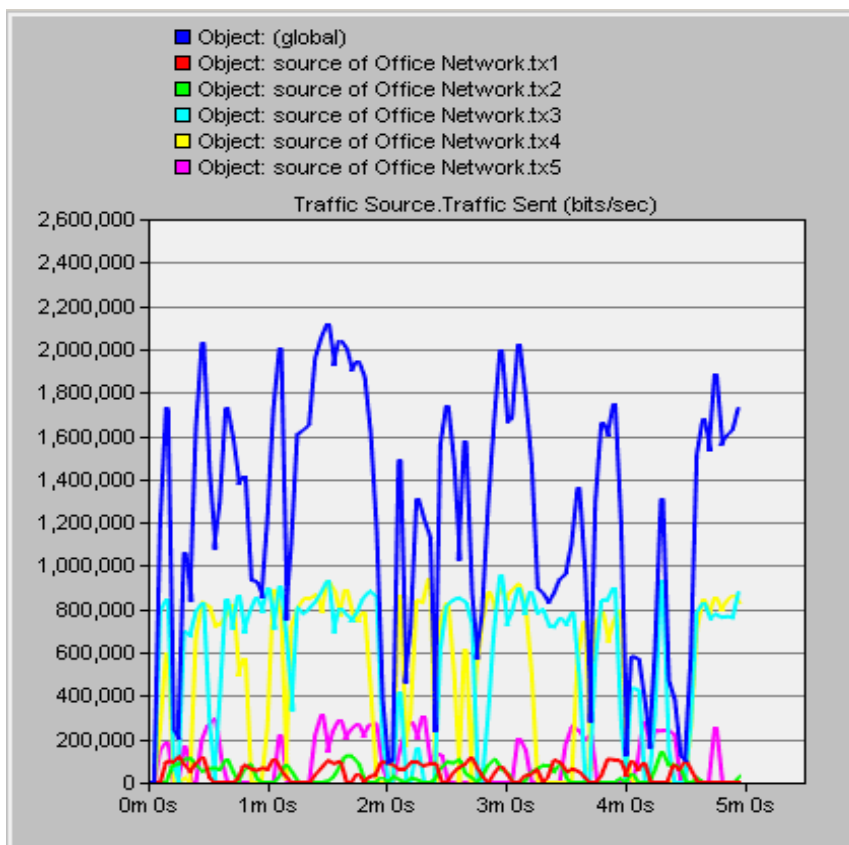


Figure III.21: Le trafic total instantané (PU)

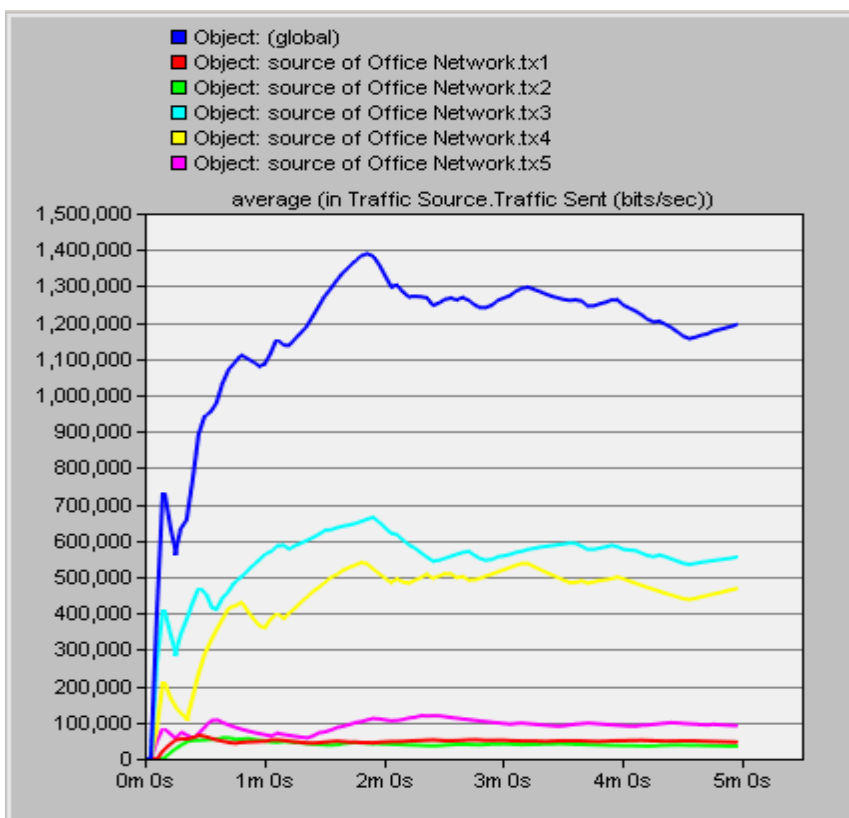


Figure III.22 : Le trafic total moyen (PU)

Le trafic de pointe envoyées sur le réseau est de 2,1 Mbps à peu près comme semées dans la figure III.21. La figure III.22 montre le trafic moyen envoyé par 5 nœuds PU. Là encore, la courbe bleue représente le trafic moyen total envoyé sur le réseau qui est environ 0.898 Mbps et le reste 5 courbes représentent le trafic moyen individuel de nœuds PU.

L'objectif principal de la technologie CR est d'augmenter l'utilisation du spectre disponible de telle manière qu'elle n'affecte pas l'utilisateur primaire au-dessus d'un taux acceptable. Maintenant, pour évaluer la performance du réseau de concepts CR, les SUs sont autorisés à accéder au spectre de façon opportuniste en évitant les collisions en utilisant le protocole OC-MAC. La figure III.23 et la figure III.24 montrent la performance du réseau avec les PUs et les SUs. La figure III.23 montre le trafic instantané envoyé par 5 nœuds PU et 4 nœuds SU. La ligne bleue est le trafic total instantané envoyé par tous les nœuds PU sur le réseau et le reste des 9 courbes représente le trafic individuel envoyé par chaque nœud PU et SU. Le trafic de pointe total envoyé sur le réseau avec des nœuds du SU et de PU utilisant le même spectre est maintenant d'environ 5,2 Mbps approximativement comme comparant à 2,1 Mbps avec seulement des nœuds de PU suivant les indications de la figure III.23 et la figure III.21 respectivement. La Figure III.24 montre le trafic moyen envoyé par 5 nœuds PU et 4 nœuds SU. Là encore, la courbe bleue représente le trafic total moyen envoyé sur le réseau et le reste 9 courbes représentent le trafic moyen individuel de nœuds PU. Le trafic moyen augmente maintenant à 2.62 Mbps à partir de 1.2 Mbps. Le taux de collision est inférieur à dommage tolérable de 1%, ce qui est censé être fourni par le réseau primaire. Le nombre de collision de chaque nœud CR et le taux de transmission en bits / s et les paquets sont donnés dans le tableau III.2. Les paquets maximaux envoyés sont 1849 paquets et la collision est avec 17 paquets seulement qui sont moins que le taux de collision permis de 1 % comme indiqué dans le tableau III.2 et la figure III.25.

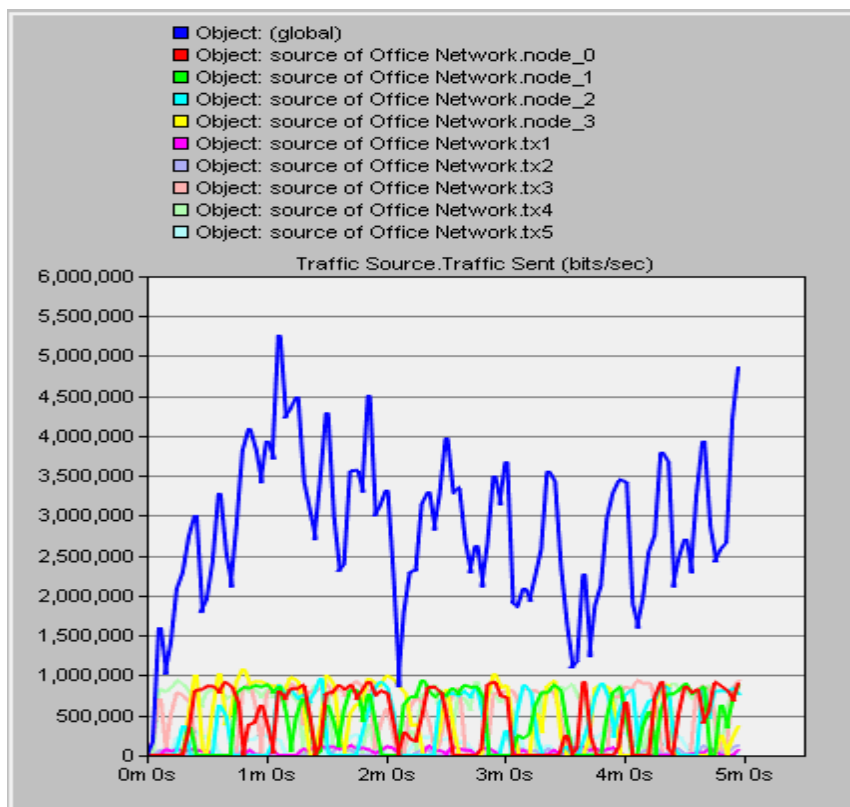
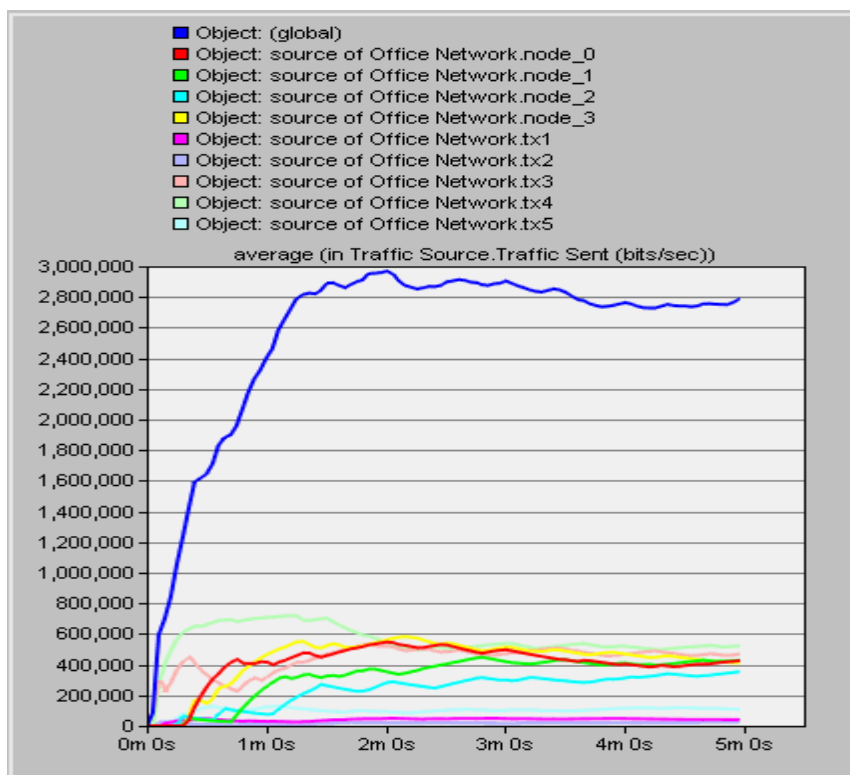


Figure III.23 : Le trafic total instantané (PU+SU)



La Figure III.24 : Le trafic total moyen (PU+SU)

Statistique	Moyenne	Maximum	Minimum
Le nombre de collisions de nœud CR 1 (paquets)	1	1	1
Le nombre de collisions de nœud CR 2 (paquets)	2.0478	3	1
Le nombre de collisions de nœud CR 3 (paquets)	6.7942	10	1
Le nombre de collisions de nœud CR 4 (paquets)	2.9083	3	1
Le nombre total de collisions de nœud CR (paquets)	12.7503	17	1
Le trafic envoyé (bits /s)	2, 747,793	5 ,021 ,784	0
Le trafic envoyé (paquets)	1,009.60	1,849.00	14

Tableau III.2 : Statistiques de scénario 1

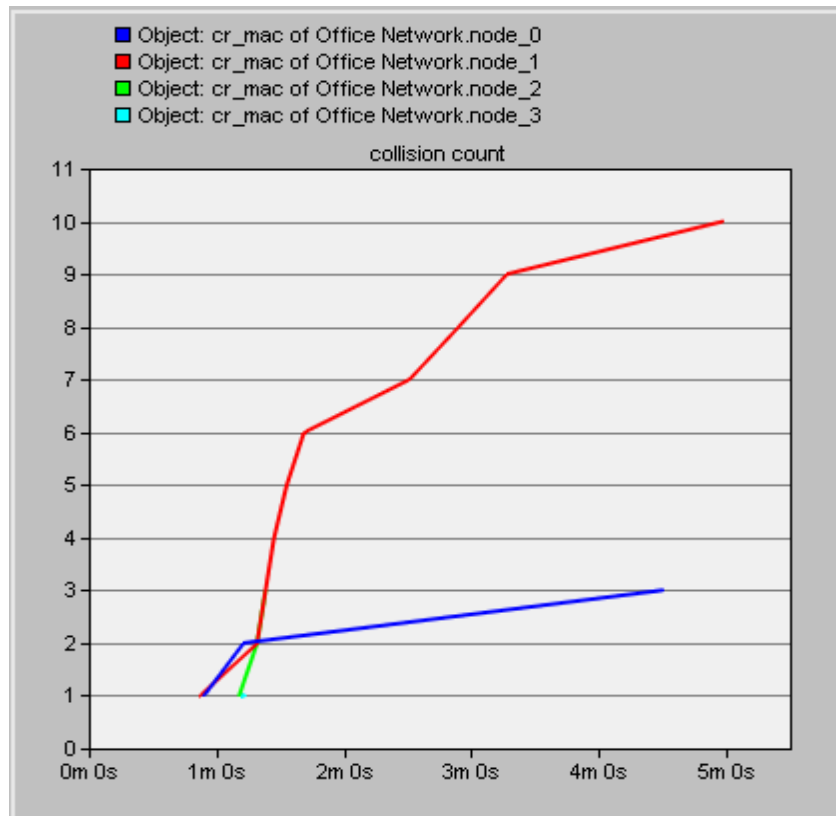


Figure III.25 : nombre de collision de nœuds CR

Le protocole de MAC détecte des trous de spectre et les utilise pour l'utilisateur secondaire. Un exemple d'utilisation de trou de spectre est montré dans les figures III.26 et III.27. Dans la figure III.26, la courbe rouge représente le trafic envoyé par le nœud PU et la courbe bleue représente le trafic envoyé par le nœud CR sur le même canal. Le nœud CR utilise la partie du spectre non utilisée par le nœud PU, augmentant ainsi l'utilisation globale du canal disponible.

La figure III.27 représente le temps occupé de l'émetteur radio. Là encore, la partie rouge représente le temps occupé de nœud PU et la couleur bleue représente le temps occupé de nœud SU sur le même canal.

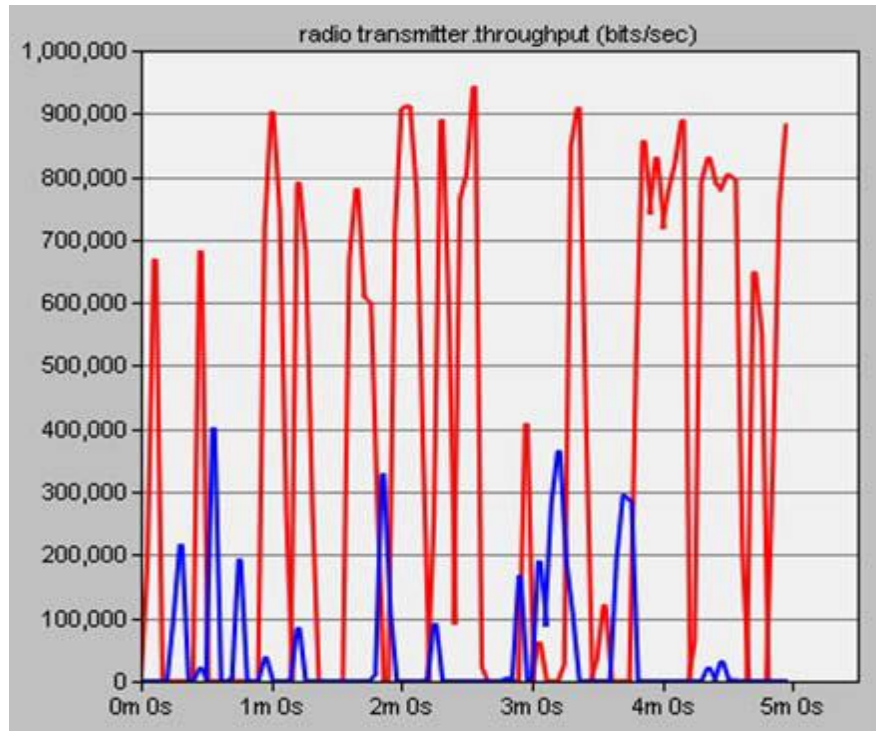


Figure III.26 Utilisation des trous de spectre

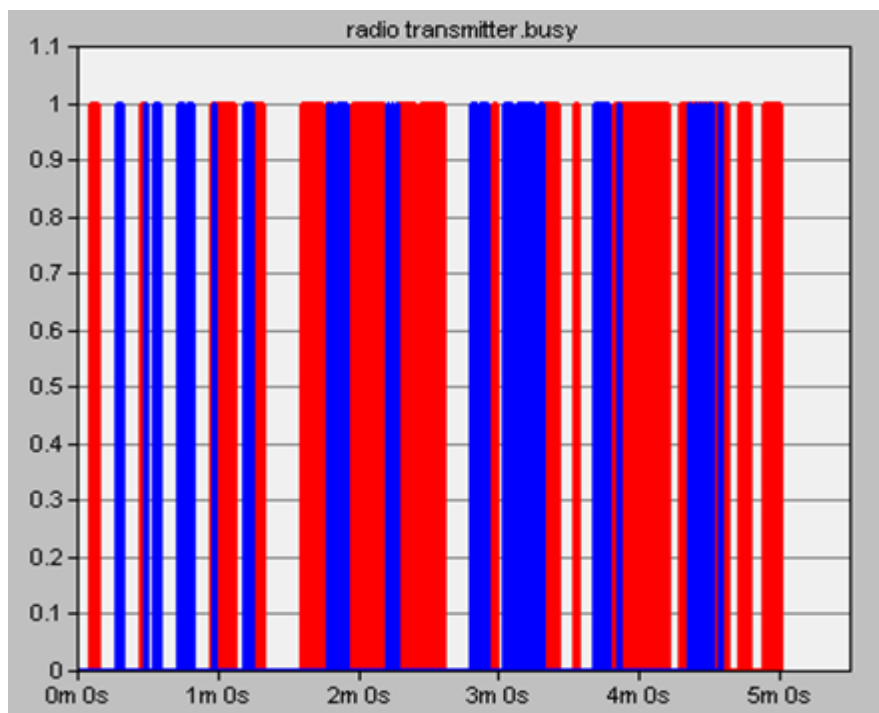


Figure III.27 le temps occupé de l'émetteur (**PU**+**SU**)

Quand seulement les nœuds PU utilisent le réseau le débit global est 0.898 Mbps. Quand on permet aux nœuds CR d'utiliser le réseau le débit global augmente à 2,62 Mbps à partir de 0.898 Mbps, comme indiqué sur la figure III.28. Ainsi, toute l'utilisation des canaux disponibles augmente par la présentation du Sus et le taux de collision est moins que le seuil spécifique.

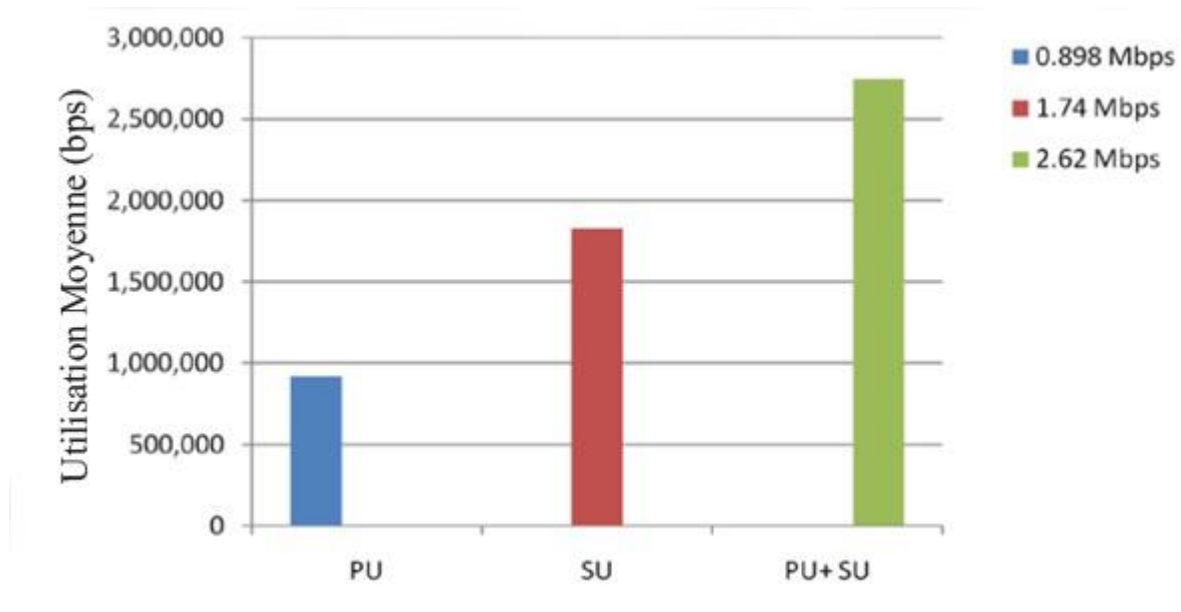


Figure III.28: Meilleure utilisation

III.12. 3 Deuxième scénario

Le protocole conçu de MAC permet également des réglages personnalisés pour chaque utilisateur. Cela signifie que le trafic maximum autorisé pour chaque utilisateur peut être réglée individuellement. Pour vérifier la fiabilité du protocole OC-MAC, sa performance est maintenant testée avec un autre scénario à fort trafic. Dans ce scénario la capacité de trafic envoyé à tous les SUS est augmentée à la limite possible maximale et le trafic de PUS est aussi augmenté et finalement des nouveaux résultats de simulation sont observés. Le réseau sans fil ad hoc peut gérer jusqu'à 11 Mbps de trafic à tout instant et à plus de 11 Mbps de trafic, de perte de paquets. La Figure III.29 montre le trafic total instantané et la figure III.30 montre le trafic total moyen envoyé lorsque seulement les utilisateurs primaires sont autorisés à utiliser le réseau.

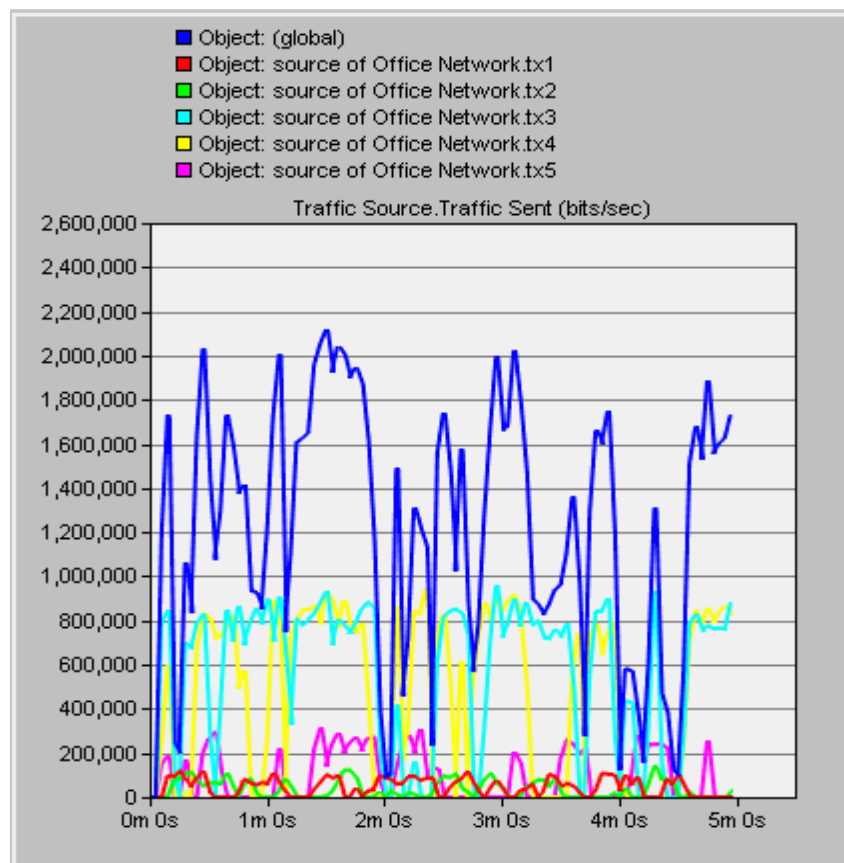


Figure III.29 : Le Trafic total instantanée (PU)

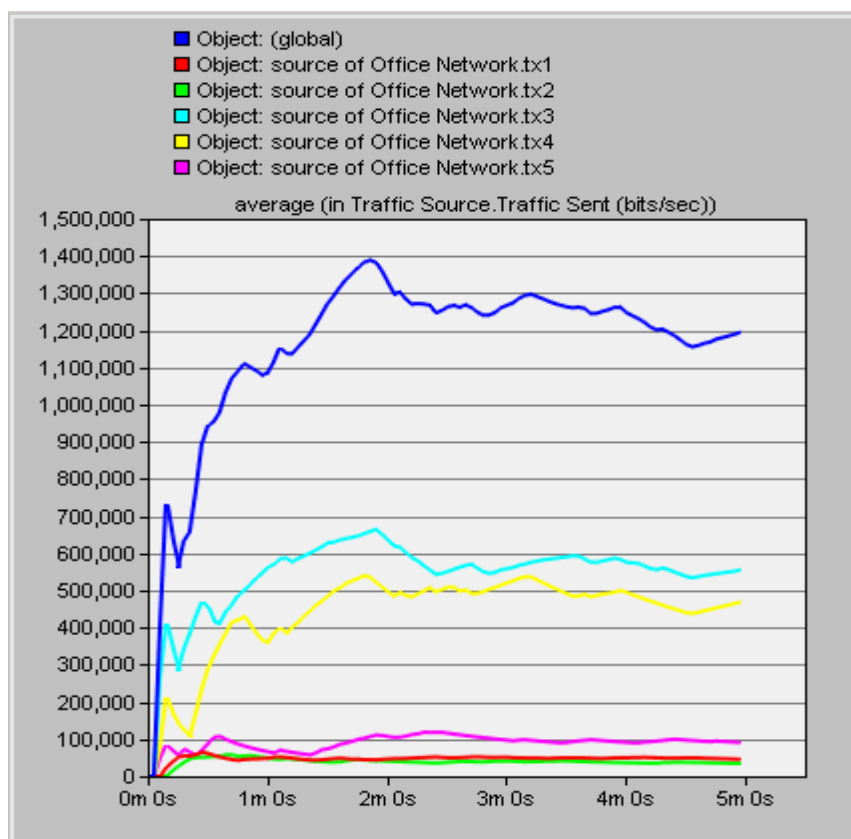


Figure III.30 : Le trafic total moyen (PU)

Maintenant, la Figure III.31 montre le Trafic total instantanée et la figure III.32 montre le trafic total moyen envoyé lorsque des utilisateurs primaires et secondaires sont autorisés à utiliser le réseau.

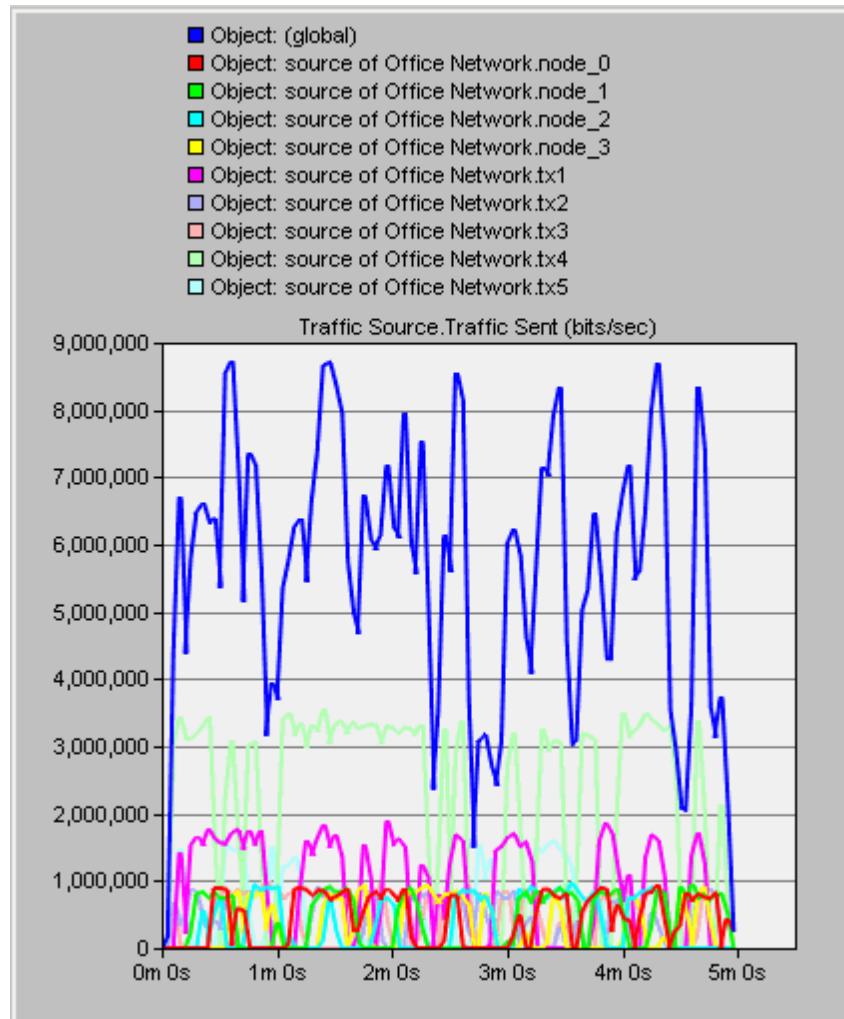


Figure III.31 : Le Trafic total instantanée (PU+SU)

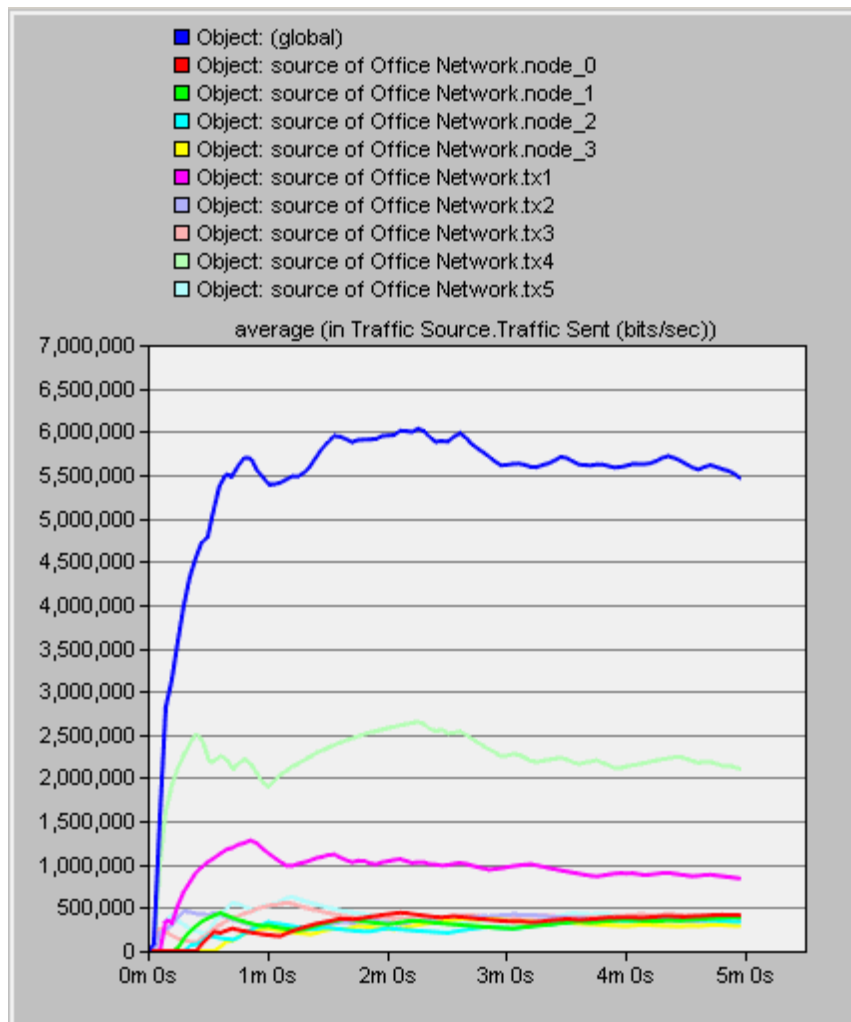


Figure III.32 : Le trafic total moyen (PU+SU)

Dans Les figures III.29, III.30, III.31, et III.32, La courbe bleue qui est sur le sommet représente le trafic total envoyé sur le réseau, les autres courbes représentent le trafic envoyé par les nœuds PU et SU. Le trafic moyen augmente maintenant à 5.20 Mbps à partir de 1,13 Mbps. Le taux de collision est inférieur aux tolérables dommages de 1%. Le nombre de collision de chaque nœud CR et le taux de transmission en bits / s et les paquets sont donnés dans le tableau III.3. Les paquets maximaux envoyés sont 3269 paquets et la collision totale de tous les nœuds de CR est avec 22 paquets seulement ce qui est inférieur au taux de collision permit de 1% comme indiqué dans le tableau III.3 et la figure III.33.

Statistique	Moyenne	Maximum	Minimum
Le nombre de collisions de nœud CR 1 (paquets)	3.8815	4	1
Le nombre de collisions de nœud CR 2(paquets)	5.1906	7	1
Le nombre de collisions de nœud CR 3 (paquets)	4.8231	6	1
Le nombre de collisions de nœud CR 4 (paquets)	4.076	5	1
Le nombre total de collisions de nœud CR (paquets)	17.9712	22	1
Le trafic envoyé (paquets)	2, 019.60	3,269.00	55
Le trafic envoyé (bits /s)	5,459.961	8, 740,192	0

Tableau III. 3 : Statistiques de scénario 2

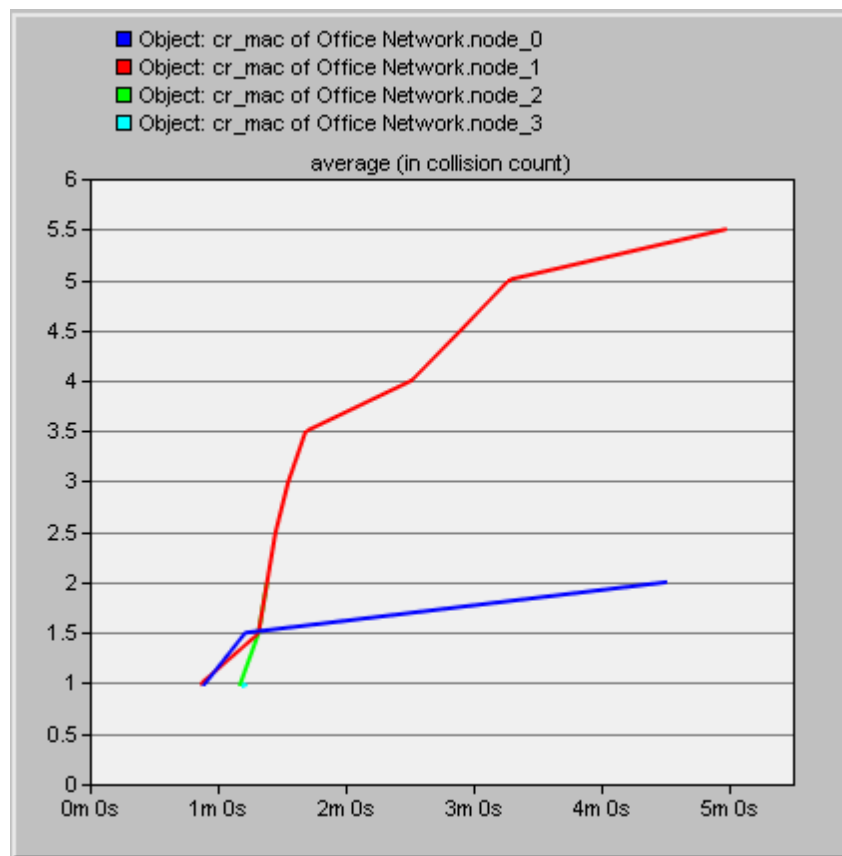


Figure III.33 : le nombre de collision de nœuds CR

Quand seulement les nœuds PU utilisent le réseau le débit global est de 1,13 Mbps et quand on permet aux nœuds CR d'utiliser le réseau les augmentations de débit à 5,20 Mbps à partir de 1,13 Mbps comme le montre la figure III.34. Ainsi, l'utilisation totale de canaux

disponibles augmente à nouveau en introduisant l'utilisateur secondaire et le taux de collision est inférieur au seuil donné.



Figure III.34 : Meilleure utilisation

III.13 Conclusions

- Le protocole d'OC-MAC satisfait le comportement variable de PUS par détection à chaque étape la communication. D'abord il sent le spectre puis transmet les données.
 - Le protocole OC-MAC convertit le temps d'accès au canal à deux fentes égales de période de temps, dans le premier, le demi-nœud envoie les données et dans la deuxième moitié le nœud attend la reconnaissance des données.
 - Le protocole d'OC-MAC résout le problème de contention de canal en attribuant le temps aléatoire pour accéder de nouveau au réseau en cas de collision est détecté.
- Le protocole OC-MAC utilise le concept de radio cognitive pour une meilleure utilisation du spectre utilisé en évitant les collisions d'utilisateur secondaire avec d'autres utilisateurs secondaires et entre l'utilisateur secondaire et utilisateurs primaire. Les collisions sont évitées par la détection à chaque étape de la communication et de l'attribution de temps aléatoire en cas de collision.
- Le protocole OC-MAC permet aux utilisateurs secondaires de décider quand et sur quel canal ils devraient utiliser pour émettre / recevoir des paquets d'utilisateur

secondaires sans affecter la communication entre l'utilisateur primaire. La décision est prise à l'aide de la RTS et le système de prise de contact CTS.

- Le protocole d'OC-MAC approvisionne à la synchronisation entre l'expéditeur secondaire et le récepteur à l'aide d'un canal de contrôle commun et en raison de la différence du canal disponible entre l'expéditeur secondaire et le récepteur.
- Le protocole d'OC-MAC résout le problème du terminal caché conventionnel à l'aide du paquet de CTS qui informe tous les voisins de l'expéditeur et le récepteur pour la prochaine communication et tous autres nœuds ne transmettent pas sur un canal particulier, au cours de la prochaine communication.

En conclusion, le protocole OC-MAC améliore la faible utilisation du spectre du réseau primaire en permettant aux utilisateurs secondaires d'utiliser le réseau sans affecter les utilisateurs primaires. Les résultats des simulations montrent que le protocole OC-MAC améliore l'utilisation clairsemée du réseau primaire de 0.898 Mbps à 2,62 Mbps dans le premier scénario lorsque le trafic est léger. Le protocole d'OC-MAC peut s'adapter dans des conditions de trafics différentes. Lorsque les utilisateurs primaire et secondaire transmettent à des taux plus élevés, l'utilisation de réseau augmente de 1,13 Mbps à 5,20 Mbps et le taux de collision reste inférieur au dommage admissible au réseau dans les deux scénarios.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous avons fait une étude détaillée sur l'usage du spectre. Le nouveau mécanisme de communication, à savoir la radio cognitive, permet à des utilisateurs secondaires à basculer dynamiquement sur les canaux libres sans causer des interférences aux utilisateurs primaires.

La radio cognitive est une technologie émergente récemment proposée pour mettre en œuvre une certaine forme d'intelligence permettant à un terminal d'avoir des capacités d'apprentissage : « sentir » l'environnement radio du terminal et s'y adapter. Cela offre aux utilisateurs un débit et une QoS accrus, globalement une augmentation du confort dans leurs communications.

Le développement de terminaux agiles en fréquence qui seraient capables de sentir les « trous » dans le spectre (plus exactement définis comme une disponibilité de fréquences en fonction des éléments de compatibilité des systèmes existants et nouveaux) et d'adapter leurs caractéristiques de transmission pour utiliser ces « trous » pourrait fournir un outil pour optimiser l'utilisation du spectre.. Une telle adaptation à l'environnement radio peut être exploitée bien au delà de la simple exploration du spectre et du partage des ressources spectrales.

Nous avons essayé un nouveau protocole pour appliquer la CR sur les réseaux ad hoc pour améliorer l'usage du spectre. A la fin de simulation sur différents scénarios, les résultats globaux sont :

- haute vitesse de communications,
- l'usage de spectre élevé
- et les collisions des paquets de données tolérable.

L'application de CR est bien un grand succès sur optimisation de l'usage du spectre et dans le futur, autres protocoles sera proposer en plus.

Références Bibliographiques et Webliographie:

- [1] B Benmammar "Réseaux de radio cognitive Allocation des ressources radio et accès dynamique au spectre", Publication LTT Laboratoire de Télécommunications Tlemcen, UABT, Algérie, Oct 4, 2012
- [2] wndw.net/pdf/wndw-fr/chapter2-fr.pdf
- [3] <http://www.pouf.org/documentation/securite/html/node25.html>
- [4] tavier.free.fr/serveur/infor/reseau/sansfils/sansfils.htm
- [5] http://www.icriq.com/en/productique_tfp.html/-/asset_publisher/MeX1/content/les-reseaux-sans-fil/maximized
- [6] http://www.ybet.be/hardware2_ch11/Reseau_sans_fil.htm
- [7] S. Mian, “ Wimax ou l’évolution des réseaux sans fil ”, Lex Electronica, vol. 11, no. 1, Spring 2006.
- [8] S. Pierre, “Introduction aux Réseaux Mobiles ”, Geninov Inc., 2008.
- [9] http://www2.ulg.ac.be/telecom/teaching/notes/total2/elen017/node159_mn.html
- [10] E. Tonye et L. Ewoussoua, "Séquence 2 : Architecture GSM, GPRS et UMTS", Plannification et ingenieurie des reseaux de telecoms presentation, Université de Yaounde I
- [11] J. Mitola and G. Maguire “Cognitive radio: Making software radios more personal”, IEEE Personal Communications August 1999.
- [12] A. Metref “Contribution à l’étude du problème de synchronisation de porteuse dans le contexte de la Radio Intelligente ”, Novembre 2010.
- [13] S. Haykin, “Cognitive radio: Brain empowered wireless communication”, IEEE journal on selected areas in communications, vol. 23 no. 2, February 2005.
- [14] E. Hossain, D. Niyan, Zhu Han, “Dynamic Spectrum Access and management in cognitive radio networks”, Cambridge University Press 2009.
- [15] J. Mitola, “Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio”, Ph.D. dissertation, KTH, 2000.
- [16] I. Ngom et L. Diouf, “la radio cognitive”, université Lille 1 USTL, 2008
- [17] C. Clancy and AI, “Applications of machine learning to cognitive radio networks”, IEEE Wirless Communications vol.14, no. 4 September 2007
- [18] N. Baldo and M. Zorzi, “Cognitive network access using fuzzy decision making”, IEEE International Conference on Communications (ICC), P 13-31 June 2007.

[19] A. Fehske and AI, “A new approach to signal classification using spectral correlation and neural networks”, IEEE International Symposium, November 2005.

[20] Jaror okol “Simulation and tools for telecommunications” 2008, Tietotalo, University of Oulu