



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Khider – BISKRA

Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'informatique

N° d'ordre : RTIC20/M2/2021

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de master académique en

Informatique

Parcours : Réseaux et Technologies de l'Information et de la Communication

(RTIC)

Algorithmes évolutionnaires pour la gestion dynamique du spectre radio

Par :

CHAIMA MAHMOUDI

Soutenu le 07/07/2021 devant le jury composé de :

Hamida Ammar

MAA

Président

Mme. ZOUIOUCHE Amina

MAA

Rapporteur

Aloui Imen

MCB

Examineur

Année universitaire 2020-2021

Remerciements

D'abord, nous remercions Dieu le tout puissant. C'est grâce à lui que nous avons eu le foie et la force pour accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire, Madame ***Zouiouche Amina*** . Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je remercie mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi.

Je remercie mes sœurs et mes frère pour leurs encouragements.

Mes profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui m'a aidé et soutenue et participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire. J'espère que vous trouverez à travers ces lignes, les sentiments de ma profond reconnaissance.

je ne peux pas achever ce projet sans exprimer ma gratitude à tous mes enseignants pour leurs aides multiformes et enseignements reçus lors de mes cycles de formation.

Enfin, je remercie mon amie Raouane qui a toujours été là pour moi. son soutien inconditionnel et ses encouragements ont été d'une grande aide.

Merci

Dédicace

Je dédie ce travail à la mémoire de mon grand-père TAHER disparu.

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes grand-mère Masouda et Hania

A mes chères sœurs ,Wafa,Asma et Maroia ,pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A mes chers frères, Mohamed el Amine et Ayoub, pour leur appui et leur encouragement.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

mes tantes : Aicha , Samia , Nawara et mes oncles :Makki ,Ammare, Mohamed,Yazide et Djeber .

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études , mes aimables amis, collègues d'étude.

Chaima Mahmoudi

Résumé

La rareté du spectre est connue pour être le principal obstacle à la mise à l'échelle de la capacité du réseau sans fil. Le partage du spectre est une solution à ce problème. La bande ISM sans licence est de plus en plus encombrée par les utilisateurs et les appareils WLAN et WPAN.

Cependant La rapidité d'évolution des technologies sans fil entraîne une forte demande en termes de ressources spectrales et pour cela il faut une bonne gestion du spectre et donc une utilisation plus efficace et une exploitation opportuniste de celui-ci.

Le partage du spectre au sein des appareils du même réseau n'est pas un problème. Mais la coexistence du WLAN et du WPAN (par exemple: WiFi et ZigBee) est un problème difficile. Le partage du spectre entre ces réseaux améliorera sûrement l'utilisation du spectre .WiFi et ZigBee utilise la bande ISM 2,4 GHz.

Mots clés

Gestion du spectre, WiFi , Zigbee, Coexistence, WiseBee

Abstract

Spectrum scarcity is known to be main obstacle to scaling of wireless network capacity. Spectrum sharing is a solution to this problem. The unlicensed ISM band is getting crowded by WLAN and WPAN users and devices.

However, the rapid development of wireless technologies leads to a high demand in terms of spectral resources and for this we need good spectrum management and therefore more efficient use and opportunistic exploitation of it.

Spectrum sharing within the devices of same network is not a problem. But coexistence of WLAN and WPAN (eg: WiFi and ZigBee) is a challenging problem. Spectrum sharing among these networks will surely improve spectrum utilization WiFi and ZigBee uses 2.4 GHz ISM band.

Keywords

spectrum management , WiFi , Zigbee , Coexistence,WiseBee

Contents

List de Figure	V
List de Tableau.....	VI
Introduction Générale.....	1
Chapitre I :La Gestion du Spectre	4
I.1 Introduction.....	4
I.2 Spectre radio	4
I.2.1 Gestion d'un spectre	4
I.2.2 Objectifs de la gestion du spectre	5
I.3 Radio cognitive	5
I.3.1 Définition	5
I.3.2 Composantes de la radio cognitive	6
I.3.3 Fonctions de la Radio Cognitive	7
I.4 Accès dynamique au spectre.....	8
I.4.1 Techniques d'accès dynamique au spectre.....	10
I.4.2 Avantage et Inconvénients des Techniques d'Accès au Spectre.....	13
I.5 Espaces Blancs TV (TV White Space) TVWS.....	13
I.5.1 Définition TVWS	13
I.5.2 Gestion du spectre dans TVWS	14
I.6 Conclusion	15
II.1 Introduction.....	17
II.2 Les grenouilles naturelles.....	17
II.3 Algorithme des sauts de grenouilles (SFLA)	18
II.3.1 Présentation	18
II.3.2 Principes de SFLA.....	19
II.3.3 Domaines d'utilisation de SFLA	22
II.3.4 Faiblesses de SFLA	23
II.4 Conclusion	24
Chapitre III : Coexistence Zigbee-WiFi Pour la Gestion du Spectre.....	26
III.1 Introduction.....	26
III.2 La norme IEEE 802.11	26
III.2.1 L'évolution de la normes IEEE 802.11	27
III.2.2 Fonctionnalités d'un réseau WiFi.....	27
III.2.3 Les équipements d'un réseau WiFi.....	28
III.2.4 La topologie du réseau WiFi	30

III.2.5 L'Architecture du WiFi	32
III.2.6 Méthodes d'accès au support de la norme 802.11.....	38
III.2.7 Les avantages et les inconvénients de WiFi	39
III.2.7.1 Les avantage	39
III.3 La norme IEEE 802.15.4.....	40
III.3.1 Généralités sur Zigbee.....	40
III.3.2 les objectifs de Zigbee	41
III.3.3 Domaine d'application	41
III.3.4 Topologies de Zigbee.....	42
III.3.5 L'architecture de la norme IEEE 802.15.4	44
III.3.6 La pile zigbee	46
III.3.7 Les avantages et les incontinents de Zigbee	47
III.4 WiFi Vs Zigbee	48
III.5 Coexistence entre WiFi et Zigbee.....	50
III.6 Conclusion	51
Chapitre IV : Conception du Système	53
IV.1 Introduction	53
IV.3.2 Module principal du système.....	54
IV.3.3 Sorties du système	56
IV.3.3 Travaux Connexes	56
IV.4 Conclusion	62
Chapitre V : Implémentation.....	64
V.1 Introduction	64
V.2 Environnement et outils de développement	64
V.2.1 Environnement de développement	64
V.2.2 Outils utilisés	65
V.2.3 Les algorithmes	65
V.3 Conclusion	68
Conclusion générale	70
Bibliographie.....	IV

List de Figure

Figure I.1 : Composantes de la radio cognitive [5]	6
Figure I.2 : Accès au spectre coopératif et non-coopératif. [6]	8
Figure I. 3: Exemple d'accès dynamique au spectre . [15]	9
Figure I.4: Organigramme représentant les types d'enchères [9].	10
Figure II.1: la morphologie d'une grenouille . [18]	17
Figure II.2: Règle du saut de grenouille. [1]	18
Figure II.3: Pseudo code de l'algorithme SFLA [1].	19
Figure II. 4: Organigramme de SFLA .[52]	21
Figure III.2 : Carte WIFI PCMCIA et Carte Compact Flash [33].	29
Figure III.3 : Carte WIFI USB et PCI [33].	29
Figure III.4 : Exemples de point d'accès [31].	30
Figure III.5 : Réseau WIFI en mode infrastructure [21].	31
Figure III.6 : WiFi en mode Ad-Hoc . [24]	32
Figure III.7: Description des couches IEEE 802.11 . [25]	33
Figure III.8: Le Direct Sequence Spread Spectrum . [28]	35
Figure III.9 : Fonctionnement de la couche LLC. [47]	37
Figure III.10 : Fonctionnement de la couche MAC 802.11 [28]	38
Figure III.11 : Application de Zigbee .[34]	42
Figure III.12 : Représentation de la topologie en étoile [36]	43
Figure III.13: Représentation de la topologie point à point [36]	43
Figure III.14: Architecture ZigBee/IEEE 802.15.4 [37]	44
Figure III.15 : Couche physique du protocole Zigbee [37].	45
Figure III.16 : Pile de protocoles ZigBee [38]	47
Figure III.17 : Les canaux WiFi et Zigbee dans la bande 2,4 GHz [45] .	50
Figure IV.1 : Architecture globale du système.	53
Figure IV.2 : Bloc Simulink pour Zigbee	54
Figure IV.3 : Bloc de Simulink pour l'interférence Zigbee avec WiFi	54
Figure IV.4 : Algorithme WiseBee.	55
Figure IV.4 : Les canaux WiFi et Zigbee dans la bande 2,4 GHz [56]	62

List de Tableau

Tableau I.1: Avantage et inconvénients des techniques d'accès au spectre [4]	13
Tableau III.1: Différentes révisions de la norme 802.11 [26,31].	27
Tableau III.2 : Comparaison entre WiFi et Zigbee[50,51]	50



Introduction Générale

Introduction Générale

Où que nous allons, la plupart d'entre nous prenons pour acquis des possibilités jadis inimaginables. Nous pouvons non seulement parler, envoyer des SMS, Email, naviguer en ligne et se connecter à des médias sociaux en déplacement, nous suivons également nos pas, cartographions nos itinéraires et visionnons des vidéos et des longs métrages. Pendant tout ce temps, nous empruntons un chemin dont nous connaissons sérieusement l'existence, car il est invisible pour nous: c'est ce qu'on appelle le spectre.

Les besoins des utilisateurs ont connu une croissance remarquable dans le secteur de télécommunication en général et les réseaux sans fil en particulier. En raison de cette croissance rapide, la demande du spectre sans fil a augmenté rapidement. Pour résoudre ce problème il faut une bonne gestion du spectre et donc une utilisation plus efficace et une exploitation opportuniste de celui-ci.

Deux de ces réseaux, WiFi (IEEE 802.11) et ZigBee (IEEE 802.15.4), le WiFi est devenu très populaire, mais son application est limitée en raison de sa consommation d'énergie élevée et de l'absence de capacités de réseau maillé standard pour les appareils à faible consommation. Pour ces raisons, de nombreux fabricants ont choisi Zigbee pour développer des dispositifs de domotique sans fil. Et avec la diversité de l'utilisation de réseaux sans fil dans la même bande 2.4GHz ISM (Industrial-Scientific-Medical). Cette diversité pourrait poser des problèmes de coexistence entre ces réseaux.

Dans ce projet, nous présentons l'algorithme WiseBee qui permet de gérer l'interférence entre le WiFi et le Zigbee la conception du système. Où WiseBee est un noeud Zigbee dont la puissance d'émission est de 5 à 20 dB plus forte que le signal Zigbee en zone à risque d'interférence entre le WiFi et le Zigbee. Son rôle est d'écouter la communication dans le canal et de détecter une éventuelle interférence (collision) entre le signal Zigbee et le signal WiFi. Lorsque le WiseBee détecte une collision, il récupère l'ensemble des paquets transmis. Il annule ensuite les informations du WiFi et extrait la trame Zigbee et déterminer le meilleur canal adapté à la transmission.

Notre objectif est l'utilisation des méthodes d'optimisation stochastiques (SFLA) pour garantir une meilleure solution, pour une gestion dynamique plus efficace du spectre avec une meilleure qualité de service, dans le cadre d'une cohabitation entre WIFI(802.11) et ZigBee(802.15.4).

Notre mémoire se compose de cinq chapitres: dans le premier chapitre, nous définissons le problème de la gestion dynamique du spectre radio et les différentes techniques existantes pour résoudre ce problème.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons l'algorithme SFLA et son domaine d'application .

Dans le troisième chapitre, nous présentons deux technologies WiFi et Zigbee, et nous présentons la coexistence entre elles.

Le quatrième chapitre, représentera la conception de notre système qui sera basée sur l'algorithme de gestion de spectre WiseBee pour la coexistence des technologies Zigbee et Wifi.

Dans le cinquième chapitre, nous allons essayer d'implémenter l'algorithme WiseBee en utilisant MATLAB et l'intégrer dans notre système de simulation, et combiner cet algorithme avec l'algorithme SFLA pour améliorer la gestion du spectre et la qualité de service.

A yellow banner with a wavy, ribbon-like shape, centered on the page. It has a thin gold border and a slight gradient from light to dark yellow.

Chapitre I
La Gestion du Spectre

Chapitre I : La Gestion du Spectre

I.1 Introduction

La rapidité d'évolution des technologies sans fil entraîne une forte demande en termes de ressources spectrales. Pour résoudre ce problème il faut une bonne gestion du spectre et donc une utilisation plus efficace et une exploitation opportuniste de celui-ci. En effet, il existe des bandes inutilisables dans lesquelles il est possible de profiter pour augmenter le nombre d'utilisateurs et pour mieux répartir les ressources disponibles

Dans ce chapitre, nous allons présenter le problème de la gestion dynamique du spectre radio et les différentes techniques existantes pour résoudre ce problème.

I.2 Spectre radio

Le spectre radioélectrique est la partie du spectre électromagnétique allant de 1 Hz à 3000 GHz (3 THz). Les ondes électromagnétiques de cette gamme de fréquences, appelées ondes radio, sont devenues largement utilisées dans la technologie moderne, en particulier dans les télécommunications.

Le spectre est divisé en différentes bandes de fréquences, et chaque bande a été attribuée pour une application spécifique allant des communications aéronautiques et maritimes aux stations de radio AM et FM.

La demande de haut débit sans fil a explosé en raison de l'innovation technologique, comme les services mobiles 3G et 4G, et de la croissance rapide des services Internet sans fil. Avec l'explosion des technologies nécessitant l'utilisation du spectre radioélectrique, les gestionnaires du spectre cherchent des moyens d'augmenter la disponibilité du spectre pour le haut débit et de maintenir les services essentiels.

I.2.1 Gestion d'un spectre

La gestion d'un spectre signifie le processus qui détermine le mode et les conditions d'exploitation du spectre par certains systèmes. Ces conditions varient selon la couverture radioélectrique du système, qui dépend de :

- La situation de l'émetteur (dans un bâtiment, dans la rue, sur un point haut, en orbite..).
- La directivité de l'émission (émission omnidirectionnelle ou sectorielle) et de la puissance du signal émis.

- La puissance électrique de l'émetteur.
- Caractéristiques du système antenne.
- Caractéristiques de propagation des bandes utilisées qui ne sont pas homogènes selon les gammes de fréquences : en vue directe, les bandes basses subissent moins de réflexions sur l'ionosphère et des atténuations atmosphériques. [3]

I.2.2 Objectifs de la gestion du spectre

L'objectif principal de la gestion du spectre consiste à obtenir un taux maximum de l'exploitation globale du spectre radio et ceci en autorisant l'accès aux utilisateurs efficaces autant que possible tout en garantissant que les interférences entre différents utilisateurs restent gérables.

- Garantir une plus grande facilité d'utilisation du spectre.
- Rationaliser l'usage du spectre, même dans un environnement où la fréquence n'est pas encore une ressource rare.
- Garantir la disponibilité des fréquences.
- Répondre au besoin de développement des télécommunications et des radiocommunications nationales.
- Répondre aux besoins de la sécurité et de la défense nationale.

I.3 Radio cognitive

I.3.1 Définition

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

Le principe de la RC, repris dans la norme IEEE 802.22 et IEEE 802.16h [4] nécessite une gestion alternative du spectre qui est la suivante : un utilisateur 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 (SU pour Secondary User) devra les céder une fois le service terminé ou une fois qu'un utilisateur primaire (PU pour Primary User) aura montré des velléités de connexion. [2]

I.3.2 Composantes de la radio cognitive

Les différentes composantes d'un émetteur/récepteur radio cognitive qui mettent en œuvre ces fonctionnalités sont présentées dans la figure I.1.

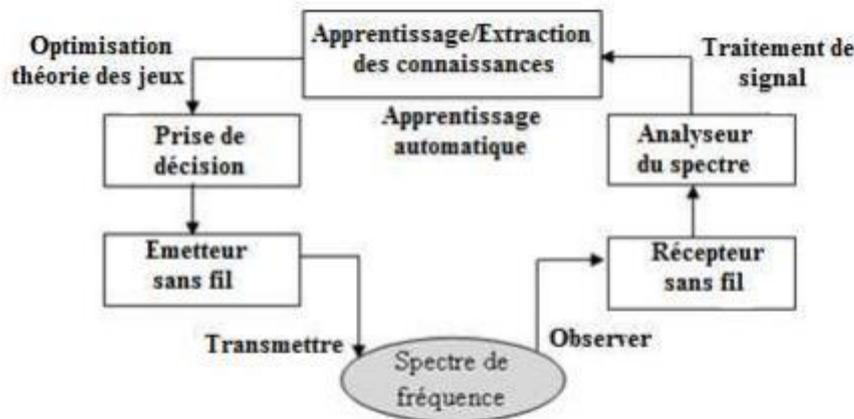


Figure I.1 : Composantes de la radio cognitive [5]

- ❖ **Emetteur / 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. [5]

I.3.3 Fonctions de la Radio Cognitive

Les principales fonctions de la RC sont les suivantes :

I.3.3.1 Détection du spectre (Spectrum sensing)

C'est la fonctionnalité de base, détection des portions du spectre vides par détection de signaux d'utilisateurs sous licence, elle consiste à :

- Détecter le spectre non utilisé.
- Partager le spectre sans interférence avec d'autre utilisateur.

L'objectif de cette fonction est de détecter des interférences pour obtenir l'état du spectre (libre/occupé) par SU. [4]

I.3.3.2 Gestion du spectre

Capter les meilleures fréquences disponibles pour répondre aux besoins de communication des utilisateurs. Les RCs devraient décider de la meilleure bande de fréquence pour répondre aux exigences de qualité de service sur toutes les bandes de fréquences disponibles, donc les fonctions de gestion du spectre sont nécessaires pour les RCs. Ces fonctions de gestion peuvent être classées comme suit [2] :

a) Analyse du spectre

Analyser les résultats de la détection du spectre pour estimer la qualité du spectre (la disponibilité des espaces blancs du spectre, durée moyenne). [5]

b) Décision sur le spectre

Prise de la décision pour l'accès au spectre dépend des résultats de l'analyse du spectre. Partage des portions du spectre détectés avec d'autres utilisateurs ou coexistant avec eux sur la même bande par des techniques comme d'optimisation stochastique. Dans un système RC coopératifs/non coopératifs, il existe deux utilisateurs (PU et SU) qui peuvent être influé sur 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 de sorte que leur

débit individuel soit maximisé. Au cours de cette opération, 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'un des outils les plus appropriés pour obtenir la solution d'équilibre pour ce problème dans un tel scénario.

Dans un environnement coopératif, les RCs 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 . [7]

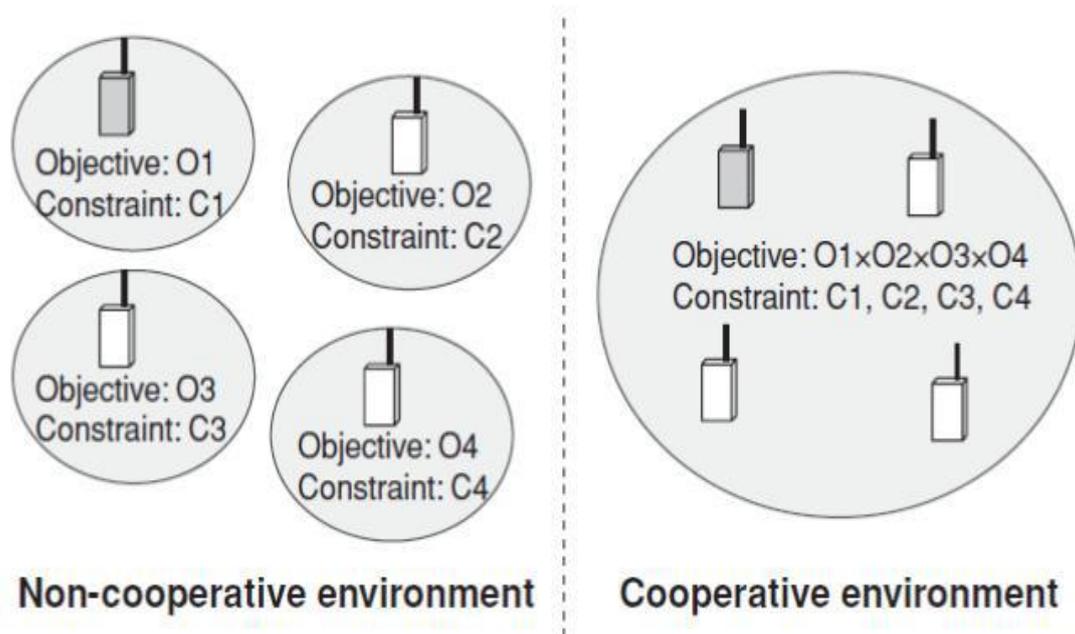


Figure I.2 : Accès au spectre coopératif et non-coopératif. [6]

I.3.3.3 Mobilité du spectre

C'est le processus qui permet à l'utilisateur de la RC de changer sa fréquence de fonctionnement. Les réseaux RC utilisent le spectre de manière dynamique en permettant à des terminaux radio de fonctionner dans la meilleure bande de fréquence disponible, de maintenir les exigences de communication transparentes au cours de la transition à une meilleure fréquence. [4]

I.4 Accès dynamique au spectre

Le principe de l'accès dynamique au spectre est d'arriver à une utilisation plus efficace des fréquences. L'existence de fréquences non utilisées dans quelques bandes - des "white spaces" ou "spectrum holes" a justement été signalée à plusieurs reprises.

En effet, l'utilisateur primaire n'utilise pas toujours et partout les fréquences qui lui ont été assignées. Le DSA (Dynamic Spectrum Access) permet ici l'implication d'un utilisateur secondaire en mesurant l'occupation du spectre (Spectrum sensing) ou en interrogeant une base de données sur internet, celui-ci peut déterminer si des fréquences sont disponibles à un endroit donné pour une utilisation secondaire. [14]

Donc, deux principaux types d'acteurs dans un réseau à radio cognitive sont distingués : des utilisateurs secondaires et des utilisateurs primaires.

- ❖ **Utilisateur Secondaire (Secondary User ou SU)** : c'est l'utilisateur à radio cognitive qui ne possède pas de licence et souhaite utiliser les parties libres du spectre.
- ❖ **Utilisateur Primaire (Primary User ou PU)** : c'est l'utilisateur qui possède une licence pour opérer dans une bande de fréquence bien spécifique. Il est donc prioritaire pour l'utilisation de cette bande de spectre.

Les SU peuvent accéder aux bandes de spectre inoccupées durant l'absence des PU et libèrent le canal dès qu'un PU veut y accéder mais peuvent également continuer à utiliser ces bandes sous réserve d'obtention de l'accord du PU.

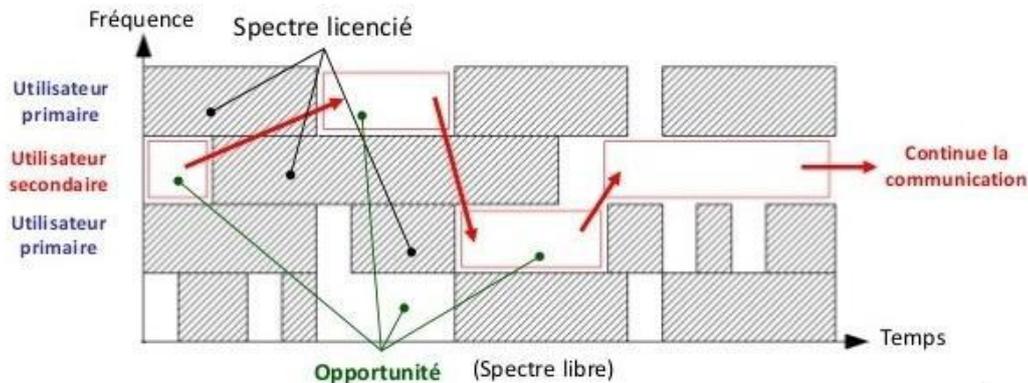


Figure I. 3: Exemple d'accès dynamique au spectre . [15]

Pour qu'une radio cognitive (utilisateur secondaire) établie une communication sur un réseau licencié (primaire) il observe l'activité de transmission des utilisateurs primaires pour prendre une décision quel spectre choisir en se basant sur certaines connaissances (disponibilité, coopération de l'utilisateur primaire, taux d'erreur, etc.).

I.4.1 Techniques d'accès dynamique au spectre

I.4.1.1 Accès au spectre en utilisant les Enchères

Les enchères se sont appuyées sur le concept de vente et d'achat des biens ou de services. La visée majeure de l'usage de ces enchères dans les RRC est l'apport d'une motivation aux utilisateurs secondaires de manière à optimiser pleinement l'utilisation du spectre. [8]

Il existe plusieurs formes d'enchères, notamment :

- Enchères anglaises : enchère publique au premier prix ascendante.
- Enchères hollandaises : enchère publique au premier prix descendante.
- Enchères scellées au premier prix.

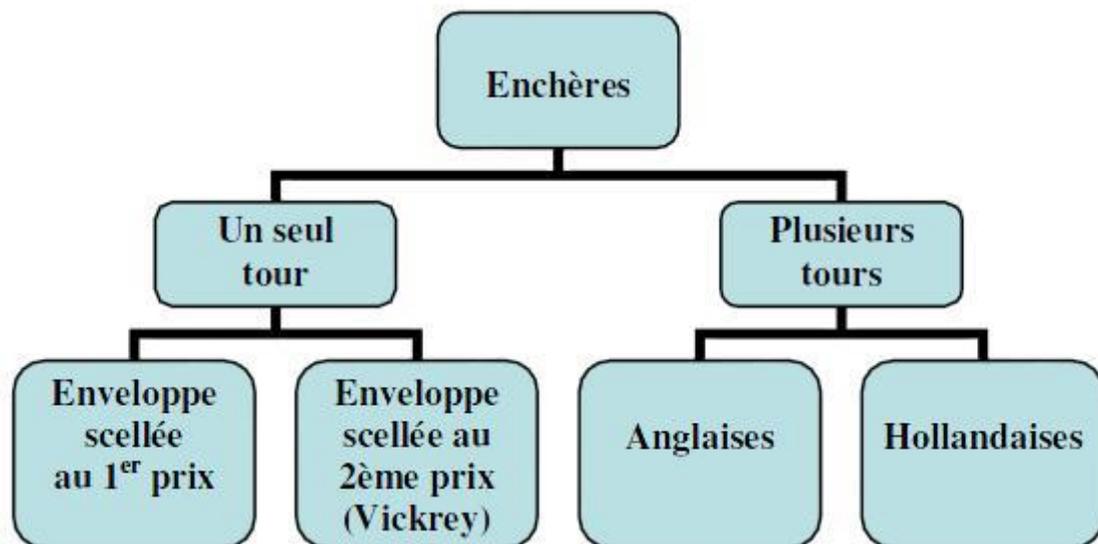


Figure I.4: Organigramme représentant les types d'enchères [9].

I.4.1.2 Accès au spectre en utilisant la Théorie des jeux

Un cadre mathématique qui comporte des modèles et des techniques utilisées pour analyser le comportement itératif des personnes s'occupant exclusivement de leur propre bénéfice là où elles ont tiré profit, telle pourrait être l'explication de la théorie des jeux. Ces jeux sont fréquemment partagés en deux types [10] : jeux coopératifs et jeux compétitifs.

❖ **Jeux coopératifs** : tous les joueurs s'intéressent plutôt aux gains globaux, par contre ils ne sont guère soucieux de leur gain personnel. Quelques travaux modernes utilisent la théorie des jeux coopératifs dans le but d'amoindrir la puissance de

transmission des utilisateurs secondaires, pour s'éloigner de toute interférence avec les transmissions des utilisateurs primaires.

❖ **Jeux compétitifs** : chaque utilisateur se dit compétitif et égoïste car il est singulièrement préoccupé par son gain personnel. Ainsi, toutes les décisions qu'il peut prendre se feront de manière individualiste. Nous avons pu remarquer dans la littérature existante que les concepts théoriques du jeu ont été amplement utilisés pour des attributions de fréquences dans les RRC, ou le moment où les utilisateurs primaires et secondaires prennent part à un jeu, ils ont un comportement rationnel pour sélectionner les stratégies et techniques qui optimisent leurs propres gains. [8]

I.4.1.3 Accès au spectre en utilisant les chaînes de Markov

Les approches de la théorie des jeux ne conçoivent pas de modèle théorique pour ce qui concerne l'interaction entre les utilisateurs secondaires et primaires pour l'abord au spectre. Cette modélisation peut être accomplie en se servant parfaitement des chaînes de Markov [11].

D'insuffisantes recherches ont été exécutées dans ce domaine, par exemple, dans [12], un modèle de Markov est exposé, où tout utilisateur secondaire choisit par pur hasard sa propre chaîne plutôt que de communiquer des messages de contrôle avec les utilisateurs secondaires voisins. Ou bien dans [13], les auteurs se sont servis du modèle de Markov pour prévoir et annoncer les comportements du canal.

I.4.1.4 Accès au spectre en utilisant les Systèmes Multi Agents (SMA)

L'approche multi-agents présente une solution qui convient parfaitement aux spécifications des systèmes à radio cognitive, ainsi que, plusieurs travaux de recherche adoptent les systèmes multi-agents (SMA) pour la gestion du spectre dans ces réseaux.

L'idée principale de l'utilisation des SMA dans le contexte des RRC est de gérer de manière équitable et décentralisée des ressources radio partagées entre les utilisateurs, afin d'améliorer l'exploitation générale des ressources spectrales.

Un système multi-agents est donc un ensemble organisé d'agents qui interagissent pour atteindre un but dépassant leurs capacités individuelles. Ainsi, les agents peuvent communiquer, coopérer, former des coalitions, planifier et coordonner leurs actions. Ils peuvent également négocier et apprendre de nouveaux comportements et actions de manière tout à fait autonome. Le choix des actions à entreprendre dépend des intérêts de l'agent.

Les SMA sont extensibles et adaptatifs, ils sont connus aussi par leur rapidité car les agents peuvent travailler en parallèle pour proposer des solutions réactives et robustes à des problèmes complexes.

En effet, SMA est un système distribué composé d'un ensemble d'entités réactives ou cognitives (suivant le problème traité), qui interagissent les uns avec les autres, situé dans un environnement commun. Dans L'objectif de faire fonctionner les agents simultanément pour résoudre une difficulté ou procéder à une tâche spécifique.

- **SMA et Radio Cognitive**

L'association des SMA avec la RC assure un futur remarquable pour la gestion optimale des fréquences dans laquelle la RC offre une solution équilibrée au problème de l'encombrement du spectre en permettant l'usage prioritaire au propriétaire du spectre, Dans le cas de l'utilisation des bandes sans licence, le terminal RC doit coordonner et coopérer pour un usage meilleur du spectre sans causer d'interférences. Les créateurs offrent une architecture basée sur les agents où chaque terminal RC est équipé d'un agent intelligent, il y a des modules pour joindre les informations à propos de l'environnement radio et bien sur les informations collectées seront stockées dans une base de connaissance partagée qui sera consultée par tous les agents.

L'approche proposée est basée sur les SMA coopératifs (les agents ont des intérêts en commun). Ils collaborent en partageant leurs connaissances pour augmenter leur gain individuel ainsi que collectif.

Pour gérer intelligemment les ressources radio, des algorithmes de négociation et de coopération issus du domaine multi agents sont à exploiter afin d'assurer une répartition plus efficace du spectre. [16]

I.4.2 Avantage et Inconvénients des Techniques d'Accès au Spectre

Technique	Avantages	Inconvénients
Théorie des Enchères	- Simplicité - Equitables et transparentes	- Parfois coûteuse
Théorie des jeux	- Lecture aisée des issues des stratégies - Modélise le comportement d'un agent face à des situations de choix	- Coût important - Ne permet pas de faire un choix rationnel
Modèles de Markov	- Modélisation des processus	- Ne prennent pas en compte les états cachés - Ne peut pas prendre en charge un très grand nombre d'états
Systèmes Multi Agents	- Modularité - Rapidité - Fiabilité et flexibilité	- Coût élevé - Manque de support logiciel - Manque de méthodes

Tableau I.1: Avantage et inconvénients des techniques d'accès au spectre [4]

I.5 Espaces Blancs TV (TV White Space) TVWS

I.5.1 Définition TVWS

est première mise en oeuvre et test d'approches d'accès dynamique au spectre étaient des TVWS. L'innovation était principal objectif politique lors de la mise au point de cette nouvelle méthode d'autorisation de l'accès aux parties inutilisées du

précieux spectre de fréquences basses dans la bande 470 à 790 MHz. La mise en oeuvre une approche dynamique à plusieurs niveaux permettant aux appareils TVWS exemptés de licence, qui répondent à une spécification technique minimale et sont autorisés ou contrôlés par une base de données, de tirer parti du spectre inutilisé. Cette approche répond à l'objectif de permettre à de nouveaux acteurs d'innover et à une utilisation partagée du spectre [19].

I.5.2 Gestion du spectre dans TVWS

Afin d'éviter tout brouillage préjudiciable aux services primaires et d'atteindre une qualité de service moyenne dans TVWS, les WSD (White Space Devices) doivent avoir une connaissance du statut d'occupation du spectre.

L'approche de la base de données de géo-localisation a déjà fait l'objet de Discussions approfondies dans le contexte des principales évolutions réglementaires Récentes. L'approche par base de données pose des défis pour protéger les utilisateurs Autorisés de la DTT (Digital Terrestrial Television) et des acteurs non enregistrés de la production de programmes et des événements spéciaux PMSE (Programme Making and Special Events) dans les scénarios de villes urbaines, et pour détecter le PMSE sans licence coexistant à proximité.

Afin de réaliser la gestion dynamique du spectre sur TVWS, le banc d'essai TD-LTE activé par CR, avec capacité de détection du spectre et modification de la pile des protocoles. L'algorithme de détection du spectre utilisé dans le banc d'essai est d'abord présenté. En outre, la modification de protocole proposée pour le banc d'essai est présentée en tant que clé pour une utilisation efficace du spectre dans TVWS, le Cognitive eNodeB (CeNB) a été proposé pour exploiter la détection du spectre dans le système TD-LTE activé par la CR, ce qui présente deux avantages. Premièrement, il est possible de minimiser le temps occupé par le spectre et la surcharge de signalisation pour l'échange d'informations entre utilisateurs CR et CeNB. Deuxièmement, la consommation d'énergie pour la détection du spectre par les utilisateurs CR peut être économisée. [17]

I.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le problème de la gestion dynamique du spectre radio et les différentes techniques existantes pour résoudre ce problème.

Dans le prochain chapitre nous allons présenter le principe de l'algorithme SFLA et leur application.



Chapitre II
Shuffled Frog-Leaping
Algorithm (SFLA)

Chapitre II : Shuffled Frog-Leaping Algorithm

II.1 Introduction

Le SFLA est une nouvelle méthode d'optimisation méta-heuristique inspirée de l'évolution mimétique naturelle d'un groupe de grenouilles lors de la recherche de l'emplacement qui a le maximum de nourriture disponible. Le SFLA combine les avantages des algorithmes mimétiques basés sur la génétique et des algorithmes d'optimisation des essaims de particules basés sur le comportement social. Récemment, des techniques d'optimisation globale utilisant SFLA ont été appliquées avec succès à divers domaines de l'analyse des systèmes électriques tels que l'engagement des unités, le flux de puissance optimal dynamique et les problèmes de flux de puissance réactive optimal.

En raison de la grande capacité du SFLA à résoudre des problèmes d'optimisation à grande échelle, Dans ce chapitre, nous allons présenter le principe de la méthode SFLA.

II.2 Les grenouilles naturelles

Les grenouilles sont des mammifères amphibiens bondissants, dits vertébrés à peau nue, qui vivent à la fois sur la terre et dans l'eau.

On les trouve la plupart du temps dans les étangs, les lacs, les marais et les baignoires. Elles habitent toutes les régions du monde mais surtout les régions chaudes et tempérées comme le Pôle Sud . [18]

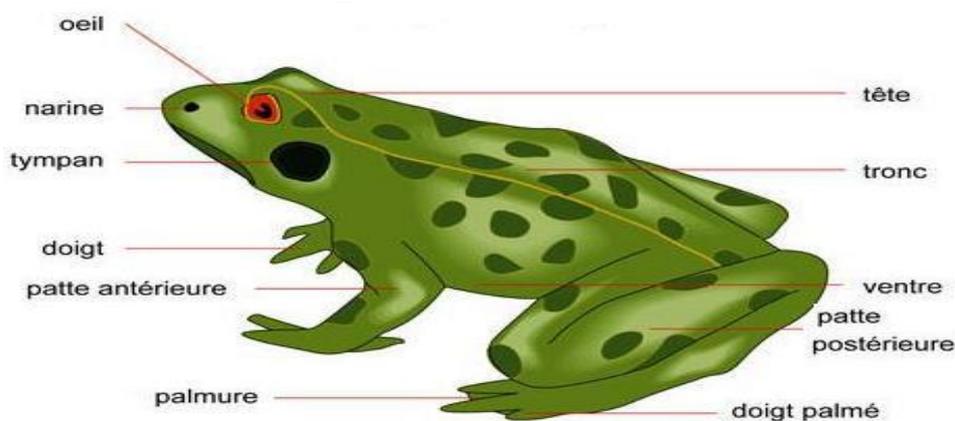


Figure II.1: la morphologie d'une grenouille . [18]

II.3 Algorithme des sauts de grenouilles (SFLA)

II.3.1 Présentation

L'algorithme par saut de grenouilles « Shuffled Frog-Leaping Algorithm » (SFLA) a été développé pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire. Le SFLA est un algorithme de recherche coopérative basé sur la population, il est inspiré par les systèmes naturels. Il se compose d'un ensemble de grenouilles (chacune représente une solution au problème) partitionnées en différents groupes. Les grenouilles peuvent communiquer entre elles et améliorer leurs solutions par contamination (passant l'information).

L'algorithme contient des éléments de recherche locale effectuée dans chaque groupe avec un échange d'information globale. L'information entre les différentes communautés circule par l'intermédiaire d'un processus de saut. Dans chaque communauté, les grenouilles fournissant la meilleure solution X_b et la plus mauvaise X_w . La grenouille donnant la meilleure solution dans la population entière est notée par X_g . Pendant l'évolution d'une communauté, c.-à-d., pendant l'exploration locale, la plus mauvaise grenouille effectue un saut vers la meilleure X_b selon la règle suivante :

$$S = r \times (X_b - X_w) \quad (0 < r < 1)$$

$$X_w' = X_w + S \quad S < S_{max}$$

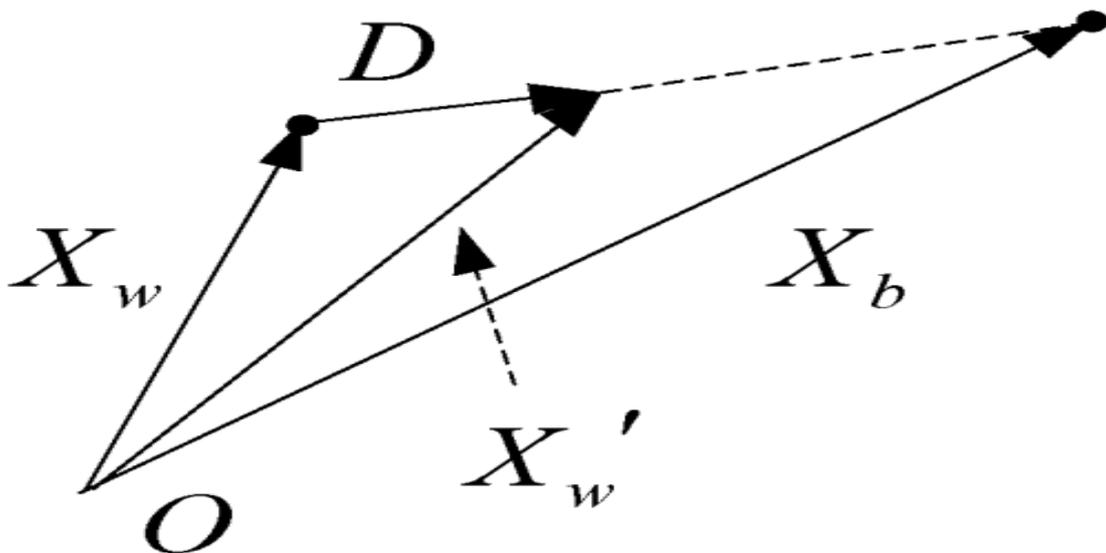


Figure II.2: Règle du saut de grenouille. [1]

Afin d'assurer l'exploration globale, les communautés sont mélangées et réorganisées à nouveaux pour former une nouvelle population, ce mécanisme est répété jusqu'à satisfaire un critère d'arrêt. [1]

II.3.2 Principes de SFLA

Le SFLA se déroule sur 7 étapes comme suit:

Etape 1 : Fixer la taille F de la population, le nombre q de communauté et le nombre d'itérations

Etape 2 : Générer aléatoirement une population de F solutions et évaluer chaque solution

Etape 3 : Trier la population et déterminer la meilleure solution X_g

Etape 4 : Partitionner la population en q communautés contenant chacune p grenouille

Etape 5 : Recherche Local

Pour chaque communauté

Répéter pendant N itération

- Déterminer la meilleure solution X_b et la mauvaise X_w
- Calculer la solution X_{New} à partir de X_b
- Si X_{New} est meilleur que X_w alors
Remplacer X_w par X_{New}
- Sinon calculer X_{New} à partir de X_g
Remplacer X_w par X_{New} si elle est meilleure
- Sinon générer une solution aléatoire meilleure que X_w

Fin si

Fin pour

Etape 6 : Regrouper les m communautés pour former à nouveau la population

Etape 7 : Aller à l'étape 3 si le critère d'arrêt n'est pas atteint

Figure II.3: Pseudo code de l'algorithme SFLA [1].

- **Génération d'une population virtuelle:** Créez au hasard une population de grenouilles P dans l'espace réalisable. Pour les problèmes de dimension D , la position de la i ème grenouille est représentée comme un vecteur $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$.
- **Classement :** Calculez la valeur de fitness de chaque grenouille en fonction de sa position. Triez les grenouilles P par ordre décroissant en fonction de leur forme physique. Déterminez la meilleure position de grenouille, P_g , dans toute la population.
- **Partitionnement :** Divisez la population entière en m memplexes, chacun contenant n grenouilles (c'est-à-dire, $P = m n$). Dans ce processus, le rang 1 va au memplex 1, le rang 2 va au memplex 2, le rang m va au memplex m et le rang $m+1$ va au memplex 1.
- **Évolution mémétique :** Faites évoluer chaque memplex pour un nombre spécifique d'itérations évolutives. Une fois les memplex évolués, l'algorithme

revient à la recherche globale pour mélanger les memeplex. Les détails de la recherche locale pour chaque memeplex sont décrits ci-dessous.

- ✓ **Étape 1** : Identifiez la meilleure et la pire grenouille. Dans le ième memeplex, les grenouilles avec la meilleure et la pire condition physique sont respectivement identifiées comme P_{bi} et P_{wi} . De plus, la grenouille avec la meilleure forme physique mondiale est identifiée comme P_g .

- ✓ **Étape 2** : Améliorer la position de la pire grenouille, La position de la grenouille P_{wi} est ajustée comme suit : Changement de position de la grenouille :

$$p = \text{rand()} \cdot (P_{bi} - P_{wi}) \quad (1)$$

Nouvelle position:

$$x_{wn+1} \text{ id} = x_{widn} + \Delta p_{id} \quad -D_{\max} \leq x_{\max} \leq D_{\max} \quad (2)$$

Où $\text{rand}()$ est un nombre aléatoire compris entre 0 et 1, n est le nombre d'itérations et D_{\max} est le changement maximum autorisé dans un composant frog-positions. Si ce processus produit une meilleure solution, il remplace la pire grenouille. Sinon, passez à l'étape suivante.

- ✓ **Étape 3** : Répétez le calcul en (1) et (2) mais par rapport à la meilleure grenouille globale (c'est-à-dire que P_g remplace P_{bi}). Si aucune amélioration n'est possible dans ce dernier cas, passez à l'étape suivante.
- ✓ **Étape 4** : Générez une nouvelle solution aléatoire pour remplacer la pire grenouille P_{wi} . Passez à l'étape 4.1 et répétez le processus d'amélioration un nombre prédéfini de fois.

- **Mélangez les memeplexes : Mélangez** les memeplexes après un nombre défini d'étapes évolutives mémétiques au sein de chaque memeplex. Triez les grenouilles par ordre décroissant en fonction de leurs valeurs de fitness.

Et enfin revenez à l'étape de évolution mémétique, si le critère d'arrêt n'est pas satisfait.

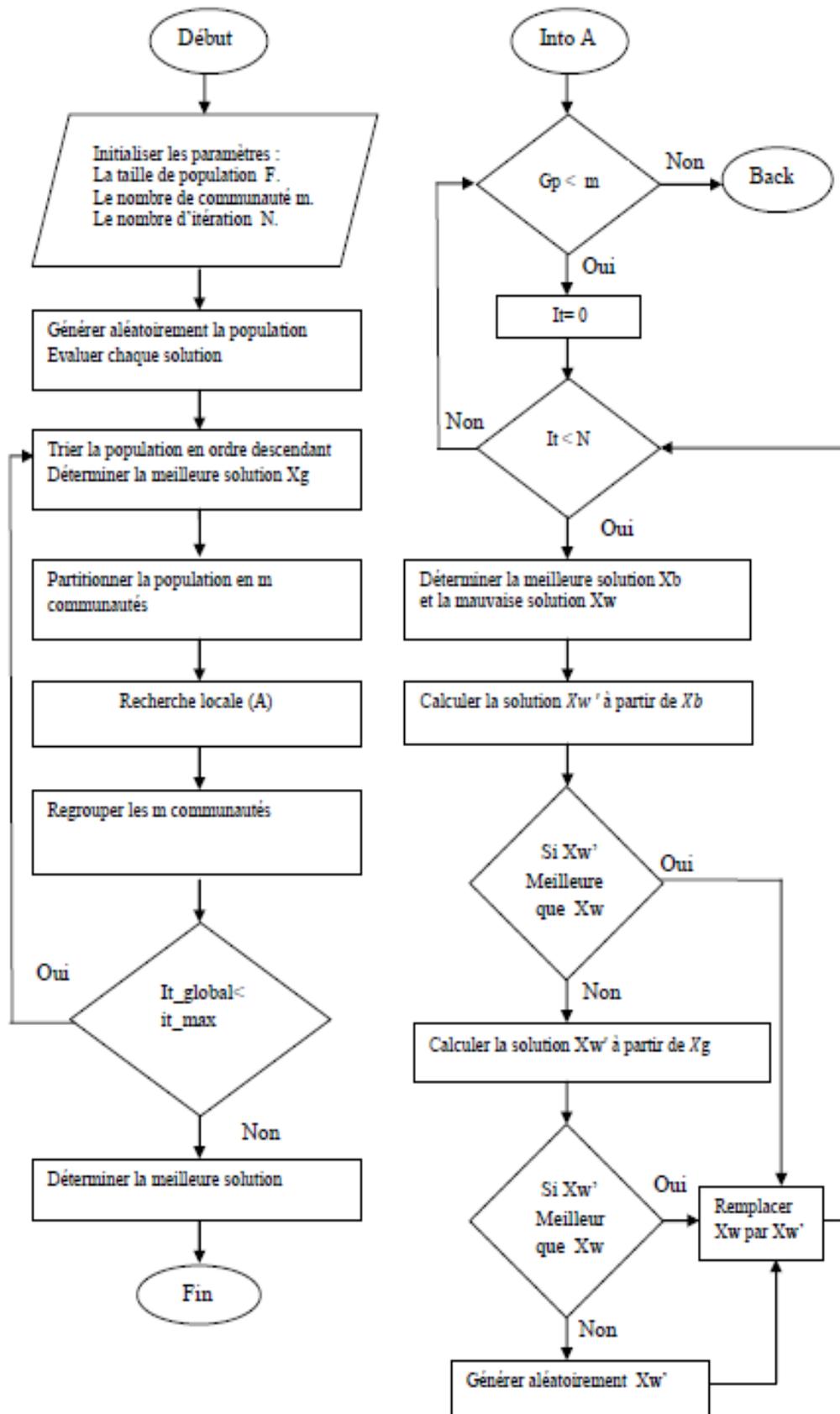


Figure II. 4: Organigramme de SFLA .[52]

II.3.3 Domaines d'utilisation de SFLA

Le SFLA est utilisé pour résoudre de nombreux problèmes. Il est relativement une bonne technique d'optimisation. Ainsi, il a l'avantage d'être facile à implémenter et ayant une vitesse rapide et une capacité d'optimisation globale.

Parmi ces problèmes nous citant :

II.3.3.1 Segmentation des Images

La segmentation d'image est l'opération la plus importante dans un système de traitement des images. Elle est située à l'articulation entre le traitement et l'analyse des images. La segmentation non supervisée vise à séparer automatiquement l'image en clusters naturels.

L'approche des sauts de grenouilles a récemment été utilisée pour déterminer le seuil optimal dans le domaine de la segmentation d'image exactement dans l'identification seuillage multi niveau.

Dans le contexte d'une segmentation non supervisée des images avec la méthode SFLA chaque grenouille est une solution du problème.

Par conséquent, un saut de grenouille donne plusieurs segmentations possibles de l'image représentant des solutions candidates. Donc la nécessité de les évaluer pour n'en garder qu'une, jugée comme meilleure selon une fonction objective prédéfinie. L'initialisation des paramètres d'entrées de la méthode SFLA influe fortement sur les résultats de la segmentation des images, et les choix des valeurs de ces paramètres dépendront des types des images à segmenter.

L'approche SFLA possède des caractéristiques intéressantes telles que la flexibilité et la robustesse ce qui rend cette démarche plus utile pour les problèmes difficiles tels que la segmentation. [18]

II.3.3.2 La QoS dans le contexte de radio cognitive

L'intérêt de l'algorithme SFLA est de garantir une meilleure solution (une bonne QoS) dans un contexte multi porteuses afin de satisfaire les exigences de l'utilisateur secondaire (SU).

Le SFLA a été en mesure pour améliorer la qualité de service et de répondre aux besoins de la radio cognitive, Il peut être un outil efficace pour résoudre les problèmes

d'optimisation de la qualité de service dans le contexte d'un réseau de radio cognitive. [1]

II.3.3.3 Planification de l'expansion de la production GEP

La planification de l'expansion de la production (GEP) est un problème pour déterminer quand, où, quel type et quelle capacité de nouvelles centrales électriques doivent être construites sur un horizon de planification à long terme pour répondre à la demande prévue selon des critères de fiabilité prédéfinis. Le GEP est une activité décisionnelle importante pour les entreprises de services publics. Le principal objectif du GEP est de minimiser les coûts totaux d'investissement, d'exploitation et de panne (énergie non servie) du système électrique.

En raison de la capacité élevée du SFLA à résoudre des problèmes d'optimisation à grande échelle, il était utilisé pour résoudre le problème du GEP. Le SFLA a été appliqué avec succès au problème de GEP à long terme. Il proposé pourrait également atteindre un ordre de grandeur d'amélioration, en particulier dans les problèmes de GEP à plus grande échelle. Par conséquent, il peut être utilisé comme un outil de planification pour la planification à long terme de l'expansion de la production à l'échelle du système réel. [19]

II.3.4 Faiblesses de SFLA

L'algorithme de saut de grenouille mélangé (SFLA) est l'un des algorithmes biologiques évolutifs basés sur l'intelligence des essaims. Il présente des caractéristiques telles qu'un concept simple, moins de paramètres, une vitesse de calcul rapide et des performances optimales puissantes.

Cependant, le SFLA présente également de nombreuses faiblesses telles qu'une faible précision d'optimisation lorsqu'il est utilisé pour optimiser certaines fonctions, un piégeage dans l'optimum local facilement, une vitesse lente, etc .

En raison des faiblesses du SFLA le FSFLA est mis en avant. La stratégie de mise à jour du SFLA est améliorée en permettant à chaque individu d'apprendre simultanément de l'extrême local du sous-groupe et de l'optimum global de l'ensemble de la population dans le nouvel algorithme, ce qui améliore l'efficacité d'apprentissage de l'algorithme. Tous les individus sont mélangés, triés et regroupés uniquement à un numéro d'itération fixe. En outre, la stratégie d'ajustement aléatoire améliorée maintient la plupart des composants en générant un petit nombre de composants avec

une certaine probabilité, et tire pleinement parti des informations bénéfiques de tous les individus. Les résultats expérimentaux montrent que le FSFLA a de meilleures performances. [20]

II.4 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le principe de l'algorithme SFLA, domaine d'application, les avantages et la faiblesse.

Dans le prochain chapitre nous allons présenter deux technologies Zigbee et WiFi.



Chapitre III
Coexistence Zigbee-WiFi
Pour la Gestion du Spectre

Chapitre III : Coexistence Zigbee-WiFi Pour la Gestion du Spectre

III.1 Introduction

La rareté du spectre est connue pour être le principal obstacle à la mise à l'échelle de la capacité du réseau sans fil. Le partage du spectre est une solution à ce problème. Le spectre ISM est tellement encombré qu'il est partagé par différents réseaux sans fil. Permettre le partage du spectre entre ces réseaux améliorera sûrement l'utilisation du spectre. Cependant, cela crée également un grand défi, en particulier la coexistence de protocoles MAC / PHY incompatibles.

Deux de ces réseaux, WiFi (IEEE 802.11) et ZigBee (IEEE 802.15.4), qui fonctionnent dans la bande sans licence 2,4 GHz ont reçu une attention considérable. Le WiFi est conçu pour l'accès Internet, le streaming vidéo, etc., tandis que ZigBee cible les applications de surveillance et de contrôle à faible cycle de service telles que la santé et l'automatisation domestique / industrielle. On s'attend à ce qu'ils fonctionnent simultanément à proximité, par exemple à l'intérieur d'un immeuble résidentiel, de bureaux ou d'hôpital. Cependant, des études de mesure récentes ont montré que les performances de ZigBee sont gravement dégradées en présence d'un trafic WiFi modéré à élevé. Cela peut provoquer de graves interférences et peut également réduire la fiabilité de la communication.

Dans ce chapitre nous allons détaillons deux technologies WiFi et Zigbee, et présenter la coexistence entre eux.

III.2 La norme IEEE 802.11

WiFi est un ensemble de protocoles de communication sans fil régis par les normes du groupe IEEE 802.11. Grâce aux normes WiFi, il est possible de créer des réseaux locaux sans fil à haut débit. Dans la pratique, le WiFi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA : **Personal Digital Assistant.**), des objets communicants ou même des périphériques à une liaison haut débit (de 11 Mbit/s théoriques ou 6 Mbit/s réels en 802.11b à 54 Mbit/s théoriques ou environ 25 Mbit/s réels en 802.11a ou 802.11g sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre une vingtaine et une cinquantaine de mètres) . [21]

III.2.1 L'évolution de la normes IEEE 802.11

Normes	Débit max	Fréquence	Date	Description
802.11	1 à 2 Mb/s	2,4 Ghz	1997	-Première norme WiFi
802.11a	54 Mb/s	5 Ghz	1999	-Haut débit sur 8 canaux -De 50Mbsjusqu 'à 70 m
802.11b	11 Mb/s	2,4 Ghz	1999	-Fixe un débit moyen maximum à 11 Mb/s théorique -Portée de 50m en intérieur à 300m en extérieur -Spécifie 3 canaux radio (1, 6 et 11)
802.11g	54 Mb/s	2,4 Ghz	2001	-Fixe un débit moyen maximum à 54 Mb/s théorique -Portée de 25m en intérieur à 75m en extérieur -Spécifie 3 canaux radio (1, 6 et 11)
802.11i			2004	Améliore la sécurité (authentification, cryptage et distribution des clés) en s'appuyant sur la norme Advanced Encryption Standard.
802.11n	1 à 2 Mb/s	2,4 Ghz ou 5 Ghz	2009	-Regroupement des canaux -Rgrégation des paquets de données
802.11s	1 Gb/s	5 Ghz	2012	-En cours de normalisation -Améliore 802.11n
802.11ac	1,3 Gb/s	5 Ghz	2014	-Jusqu'à 1 300 Mbit/s de débit théorique
802.11ah	4 Mb/s	900 Mhz	2017	-Consommation d'énergie réduite

Tableau III.1: Différentes révisions de la norme 802.11 [26,31].

III.2.2 Fonctionnalités d'un réseau WiFi

Les réseaux WIFI présentent une multitude de fonctionnalités qui viennent aussi bien du monde fixe que du monde mobile. Ces fonctionnalités les permettent d'être plus fiables et de faire bénéficier au maximum l'utilisateur de service.

Les principales fonctionnalités d'un réseau WIFI sont :

- La fragmentation et le réassemblage qui permettent d'éviter le problème de transmission d'importants volumes de données donc de diminuer le taux d'erreur.

- La gestion de la mobilité.
- La variation du débit en fonction de l'environnement radio
- L'assurance d'une bonne qualité de service. [49]

III.2.3 Les équipements d'un réseau WiFi

Il existe différents types d'équipements pour la mise en place d'un réseau sans fil Wifi :

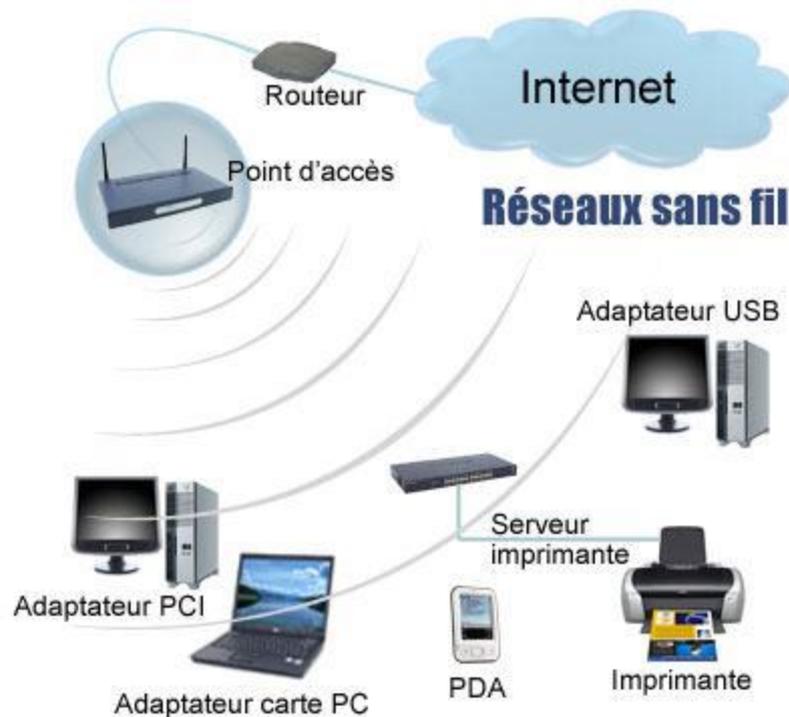


Figure III.1 : Equipement WIFI . [46]

III.2.3.1 Les cartes WiFi

Il existe deux types de cartes, la carte WiFi pour les stations mobiles et la carte WiFi pour les stations fixes. Avec leurs petites tailles les cartes pour stations mobiles sont les plus utilisées. Pour les ordinateurs portables on utilise les cartes au format **PCMCIA** alors que le format varie selon le nombre des assistants personnels **PDA** pour les organisateurs. La plupart des cartes PCMCIA, Ethernet ou USB, contiennent une antenne interne. Les cartes pour PDA utilisent le format Compact Flash. Ces cartes ont besoin d'un adaptateur. Il existe une autre carte PDA qui contient un slot SD utilisé pour le stockage mémoire et la connexion ; l'avantage est que sa taille est plus petite qu'une carte PCMCIA. [31]

la figure III.2 ci-dessous illustre une carte WiFi PCMCIA et Compact Flash.



Figure III.2 : Carte WIFI PCMCIA et Carte Compact Flash [33].

Les cartes pour stations fixes utilisées par les ordinateurs de bureau sont sous forme de trois types : la carte adaptatrice PCMCIA qui est la plus utilisée et qui représente le même type de cartes utilisées en station mobiles avec une interface PCI ou ISA pour son insertion, les interfaces USB qui sont très utiles puisque chaque ordinateur possède une entrée USB, et enfin la carte PCI qui est purement utilisée juste pour les stations fixes, contrairement aux autres cartes. [31]

Sur la figure III.3 on voit respectivement une carte Wifi USB et PCI.



Figure III.3 : Carte WIFI USB et PCI [33].

III.2.3.2 Les antennes

Une antenne peut être définie comme un système de conducteurs utilisé pour rayonner de l'énergie électromagnétique ou la récolter. Pour transmettre un signal, l'énergie électrique du transmetteur est convertie en une énergie électromagnétique

par l'antenne et est rayonnée dans l'environnement l'entourant (espace, eau, atmosphère).

La caractéristique la plus importante d'une antenne est son gain où le gain d'une antenne s'exprime en décibels isotropes (dBi).

III.2.3.3 Les points d'accès

C'est l'élément principal dans l'architecture Wifi. Il est relié au réseau local ou au réseau filaire. Pour fonctionner, le point d'accès sera configuré avec un ordinateur selon le réseau dont il appartient ; si le réseau géré est filaire le point d'accès est sous forme d'un routeur. [31]

Une photographie montrant des exemples de points d'accès sont montrés sur la figure III.4.



Figure III.4 : Exemples de point d'accès [31].

III.2.4 La topologie du réseau WiFi

La norme 802.11 définit deux modes de topologies : le mode infrastructure et le mode ad hoc.

III.2.4.1 Mode Infrastructure

En mode infrastructure chaque ordinateur station (notée STA) se connecte à un point d'accès via une liaison sans fil. L'ensemble formé par le point d'accès et les stations situés dans sa zone de couverture est appelé ensemble de services de base (BSS) et constitue une cellule.

Chaque BSS est identifié par un BSSID (**B**asic **S**ervice **S**et **I**dentifier), un identifiant de 6 octets (48 bits). Dans le mode infrastructure, le BSSID correspond à l'adresse MAC du point d'accès . [21]

Il est possible de relier plusieurs points d'accès entre eux (ou plus exactement plusieurs BSS) par une liaison appelée système de distribution (notée DS pour **D**istribution **S**ystem) afin de constituer un ensemble de services étendu (**E**xtendeds **S**ervice **S**et ou ESS).

Le système de distribution (DS) peut être aussi bien un réseau filaire : un câble entre deux points d'accès ou bien même un réseau sans fil comme le montre la Figure III.5.

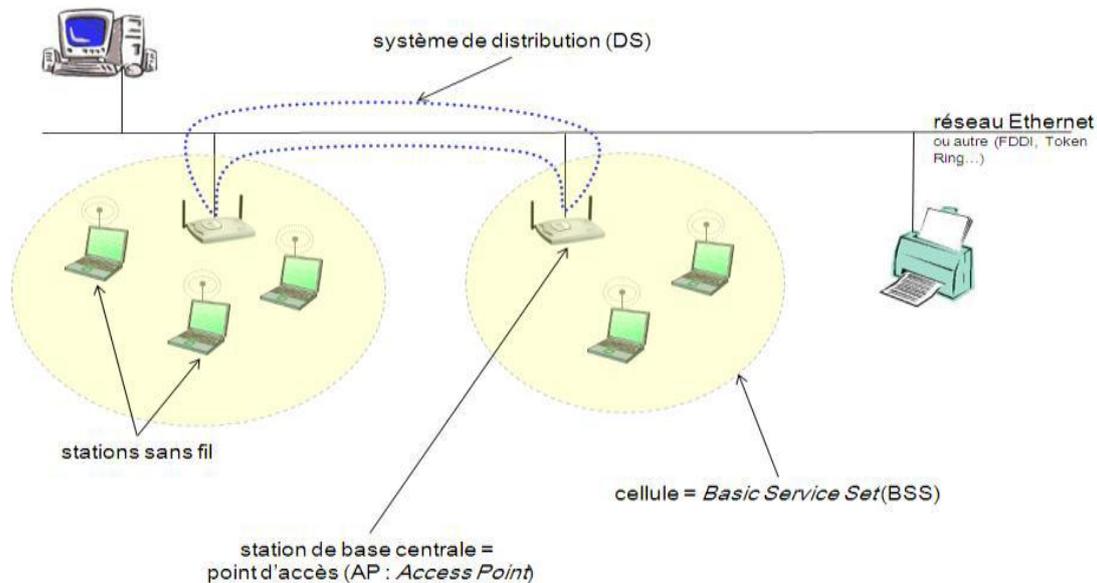


Figure III.5 : Réseau WIFI en mode infrastructure [21].

Lorsqu'un utilisateur nomade passe d'un BSS à un autre lors de son déplacement au sein de l'ESS, l'adaptateur réseau sans fil de sa machine est capable de changer de point d'accès selon la qualité de réception des signaux provenant des différents points d'accès. [22]

Les points d'accès communiquent entre eux grâce au système de distribution afin d'échanger des informations sur les stations et permettre dans le cas échéant de transmettre les données des stations mobiles. Cette caractéristique permettant aux stations de "passer de façon transparente" d'un point d'accès à un autre est appelé itinérance (en anglais roaming).

Les cellules d'un réseau ESS peuvent être disjointes ou recouvertes. Le recouvrement permet d'avoir un réseau plus dense que dans le cas de cellules disjointes ceci offre à l'utilisateur une possibilité de mobilité sans perte de connexion. Le recouvrement permet aussi de connecter un grand nombre d'utilisateurs puisqu'il permet d'augmenter l'étendue du réseau. [21]

III.2.4.2 Mode Ad-hoc

Le mode ad hoc (généralement baptisé point à point) représente simplement un ensemble de stations 802.11 sans fil qui communiquent entre elles sans avoir recours à un point d'accès ou une connexion à un réseau filaire à travers le système de distribution.

Chaque station peut établir une communication avec n'importe quelle autre station dans la cellule que l'on appelle cellule indépendante IBSS [23] : Independent Basic Service Set . [24]

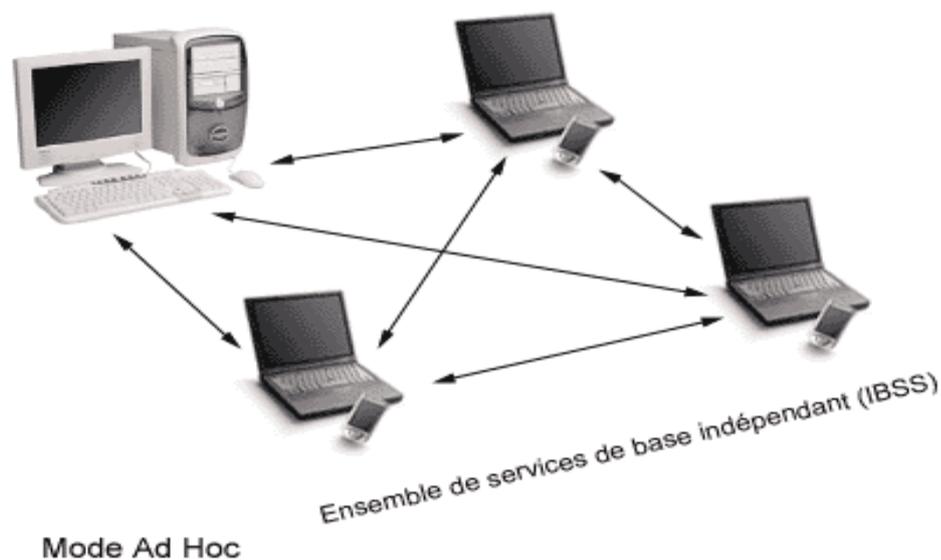


Figure III.6 : WiFi en mode Ad-Hoc . [24]

III.2.5 L'Architecture du WiFi

III.2.5.1 L'architecture en couche

La norme IEEE 802.11 définit les deux premières couches (basses) du modèle OSI, à savoir la couche physique et la couche liaison de données. Elle introduit des modifications sur la couche basse du niveau lien (donc niveau MAC) et sur le niveau physique avec le support de plusieurs méthodes d'accès radio (donc la définition de plusieurs couches physiques).

Il est à noter que la nouvelle couche MAC est commune à toutes les couches physiques. La figure 2.4 illustre l'architecture en couches de la norme IEEE 802.11 .[25]

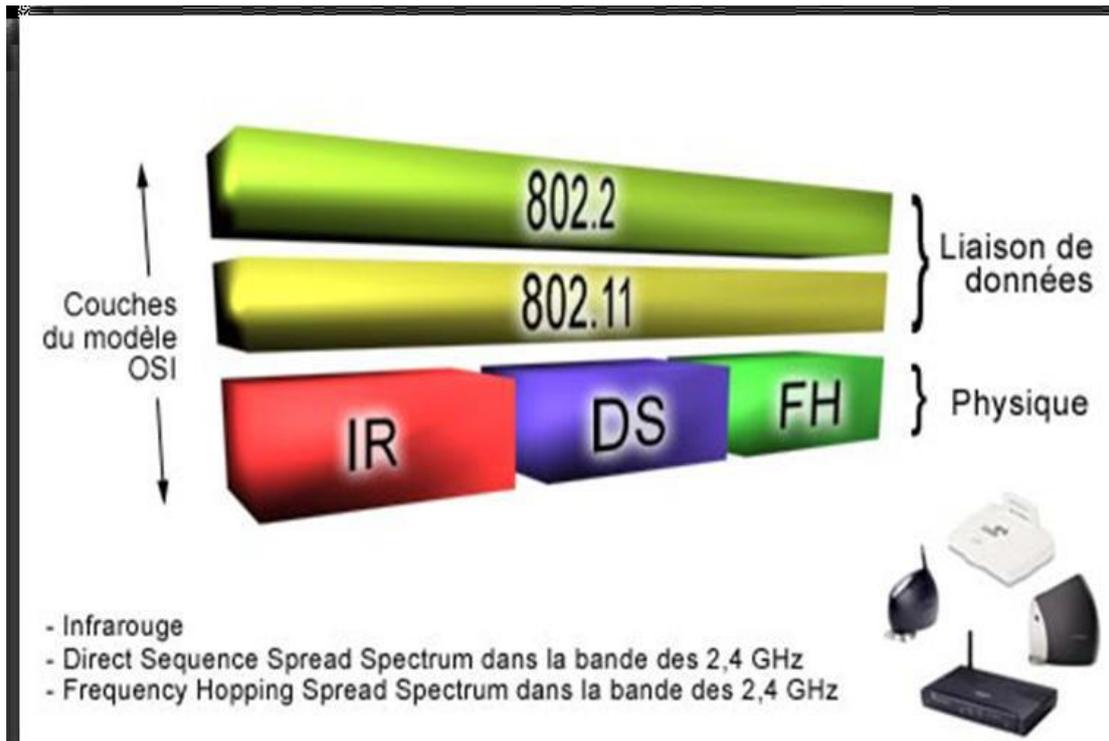


Figure III.7: Description des couches IEEE 802.11 . [25]

La couche physique définit la modulation des ondes radioélectriques et les caractéristiques de la signalisation pour la transmission de données, tandis que la couche liaison de données définit l'interface entre le bus de la machine et la couche physique, notamment une méthode d'accès proche de celle utilisée dans le standard Ethernet et les règles de communication entre les différentes stations .[26]

III.2.5.1.1 La couche physique

La couche physique des réseaux WIFI se décompose en deux sous-couches :

- PLCP (**P**hysical **L**ayer **C**onvergence **P**rotocol) .
- PMD (**P**hysical **M**edium **D**ependent).

La couche PMD gère la modulation et l'encodage des données à transmettre sur le support.

La couche PLCP écoute le support physique et indique à la couche MAC (**M**edium **A**ccess **C**ontrol) si le support est occupé ou non via un signal appelé CCA (**C**lear **C**hannel **A**ssessment). [27]

III.2.5.1.1.1 Les couches physiques de base

L'IEEE 802.11 définit quatre types de couche physique :

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), avec modulation DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) ;
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), avec modulations DBPSK et DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) ;
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), avec modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ;
- Infrarouge , avec une modulation PPM (Pulse Position Modulation).

Les deux premières couches sont utilisées par les réseaux 802.11 et 802.11b (bande de fréquences des 2.4 GHz), mais ne permettent pas d'obtenir des débits supérieurs à 11 Mbits/s.

L'OFDM est utilisé pour les réseaux dont les débits doivent être supérieurs à 11 Mbits/s, c'est-à-dire pour les réseaux 802.11a et 802.11g. Enfin, l'infrarouge est destiné aux réseaux à faible portée, et n'est, à notre connaissance, pas proposé commercialement . [27]

a) FHSS

Ce système est utilisé par les accessoires sans fil, tel que, claviers, souris,etc. La vitesse maximum est de 2Mbits/s. Il utilise 75 sous canaux de 1MHz sur la gamme de fréquences de 2,4GHz. Cette technique permet de réduire les interférences générées par des transmissions simultanées de plusieurs stations, mais, du fait de la faible largeur des sous canaux, limite le débit à 2 Mbits/s .[27]

b) DSSS

Le DSSS est la seconde couche physique utilisant une technique radio. Cette technique est différente de la précédente. La bande est divisée en seulement 14 sous canaux de 22MHz.

De plus, ces sous-canaux fournissent un signal très bruité, car les canaux adjacents (en cas d'utilisation de deux plages dans la même zone géographique) ont des bandes passantes qui se recouvrent partiellement et peuvent donc se perturber mutuellement .

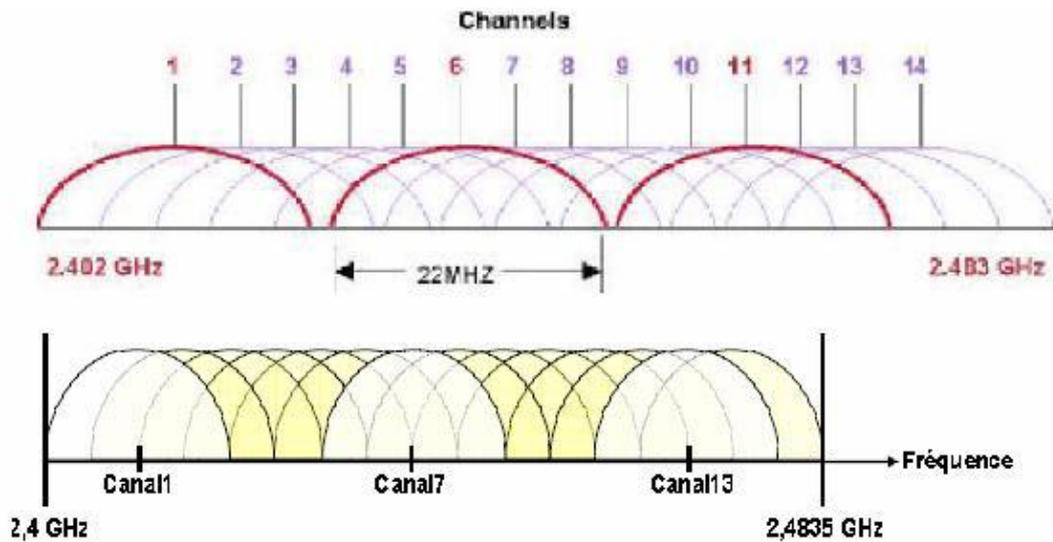


Figure III.8: Le Direct Sequence Spread Spectrum . [28]

Le faible nombre de canaux ne permet plus de faire, comme avec le FHSS, des sauts de fréquence et il est donc nécessaire d'introduire une très forte redondance dans le codage binaire . [27]

c) OFDM

Pour atteindre des débits de 54 Mbits/s, la norme 802.11 utilise la technique de l'OFDM, particulièrement efficace pour traiter les problèmes inhérents à la transmission multi chemins.

Son principe est d'effectuer un multiplexage fréquentiel de sous porteuses orthogonales. Le fonctionnement est le suivant : Le canal est décomposé en cellules temps/fréquence, que l'on transmet en les modulant selon une modulation QAM-64. Pour résoudre le problème d'interférence inter-symboles lié à la réception multiple d'une même information (transmission multi chemins), on insère un intervalle de garde entre chaque symbole, et l'on choisit correctement la durée d'un symbole par rapport à l'étalement de l'écho . [27]

d) IR

La couche IR de 802.11 s'appuie sur la lumière infrarouge diffusée, dont la longueur d'onde est comprise entre 850 et 950 nm (**nanomètre**) . Etant donné les propriétés réfléchives de l'infrarouge, les stations appartenant à un réseau 802.11 IR n'ont pas besoin d'être dirigées vers les autres. Malheureusement, la portée de l'infrarouge étant assez faible, les stations ne doivent pas être éloignées de plus de 10m. Un réseau 802.11 IR ne peut donc être localisé que dans un espace correspondant à une pièce .[27]

III.2.5.1.1.2 La modulation

➤ **PSK (Phase Shift Keying):**

Cette technique est utilisée par la norme 802.11b. Chaque bit produit une rotation de phase. Une rotation de 180° permet de transmettre des débits peu élevés (technique appelée BPSK) tandis qu'une série de quatre rotations de 90° (technique appelée QPSK) permet des débits deux fois plus élevés grâce à l'optimisation de l'utilisation de la bande radio . [26]

➤ **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing):**

OFDM est une méthode de codage appliquée aux normes 802.11a et g qui permet d'obtenir une meilleure bande passante. De ce fait, OFDM divise la bande de fréquence en bandes secondaires qui transmettent simultanément des fractions de données. Plus le nombre de canaux est élevé, plus les données transmises en parallèle sont nombreuses, plus la bande passante est élevée. Selon les conditions de bande passante, OFDM peut utiliser des méthodes de modulation de phase et d'amplitude. [26]

III.2.5.1.2 La couche liaison de données

Les fonctionnalités mises en oeuvre par la couche liaison de données sont les suivantes :

- Procédures d'accès au support ;
- Adressage des paquets ;
- Formatage des trames ;
- Contrôle d'erreur CRC (Cyclic Redundant Check) ;
- Fragmentation et réassemblage des trames.

Tout comme pour les autres normes de réseaux locaux de l'IEEE, la couche liaison de données des réseaux WIFI se décompose en deux sous-couches:

- LLC (Logical Link Control) ;
- MAC (Medium Access Control).

a) Sous-couche LLC

La couche LLC 802.11 est totalement identique à la couche LLC 802.2. Le rôle de cette couche est, entre autres, d'adapter les données venant des couches supérieures à

la couche physique. Il est ainsi tout à fait possible de connecter un réseau WLAN à tout autre réseau IEEE 802, filaire ou non.

La Figure II-5 illustre le fonctionnement de la couche LLC. Le paquet qui lui est remis par la couche réseau est encapsulé dans une trame LLC, laquelle contient un en-tête et une zone de détection d'erreur enfin de trame: le **F**orward **E**rreur **C**orrection (FEC)

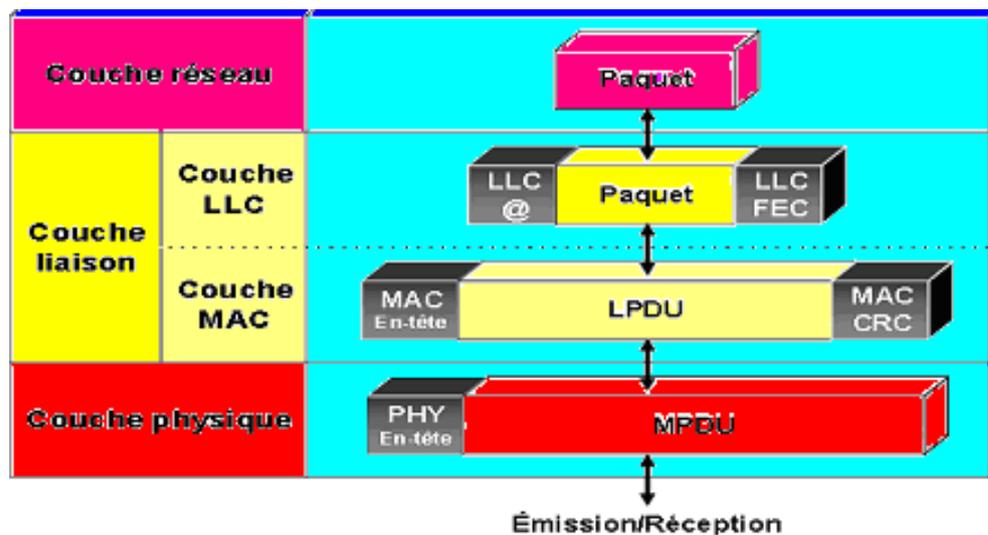


Figure III.9 : Fonctionnement de la couche LLC. [47]

b) Sous-couche MAC

Le fonctionnement de la couche MAC est similaire à celui de la couche MAC 802.3 : écouter le canal, attendre s'il est occupé, puis transmettre lorsqu'il sera libre.

La couche MAC 802.11 se distingue cependant de la couche MAC 802.3 dans le sens où elle intègre un grand nombre de fonctionnalités supplémentaires, comme la retransmission, l'acquittement ou la fragmentation de trames. La norme 802.11 introduit, de plus, deux méthodes d'accès au support physique fondamentalement différentes, le DCF (**D**istributed **C**oordination **F**unction) et le PCF (**P**oint **C**oordination **F**unctions) . [47] [48]

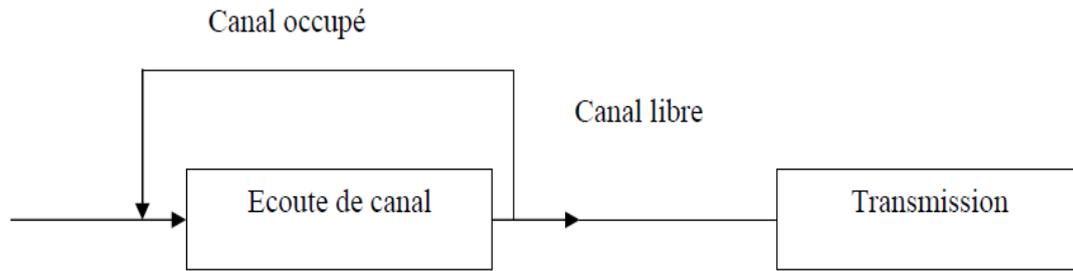


Figure III.10 : Fonctionnement de la couche MAC 802.11 [28]

III.2.5.2 L'architecture Cellulaire

WiFi est fondé sur une architecture cellulaire. Cette architecture peut s'apparenter à celle utilisée dans la téléphonie mobile, où des téléphones mobiles utilisent des stations de base pour communiquer entre eux.

Un réseau WIFI est composé d'un ou plusieurs points d'accès, auquel un certain nombre de stations de bases équipées de cartes WIFI s'associent pour s'échanger des données. Le rôle du point d'accès consiste à unifier le réseau et à servir de pont entre les stations du réseau et un réseau extérieur.

La taille de réseau dépend de la zone de couverture du point d'accès, aussi appelé cellule.

Cette zone peut varier, car le fait d'utiliser les ondes radio ne permet pas de couvrir constamment une même zone. Un grand nombre de facteurs peuvent varier la taille de zone de couverture du point d'accès, tels les obstacles, les murs ou personnes situés dans l'environnement où les interférences liées à des équipements sans fil utilisant les mêmes fréquences, ou encore la puissance du signal.

Cette unique cellule constitue l'architecture de base de WIFI, appelée BSS, ou ensemble de service de base [28].

III.2.6 Méthodes d'accès au support de la norme 802.11

Dans un réseau local Ethernet classique, la méthode d'accès utilisée par les machines est le CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect), permet de détecter les collisions et traite les collisions qui se produisent lorsque plusieurs stations accèdent au support, pour lequel chaque machine est libre de communiquer à n'importe quel moment.

Chaque machine envoyant un message vérifie qu'aucun autre message n'a été envoyé en même temps par une autre machine. Si c'est le cas, les deux machines patientent pendant un temps aléatoire avant de recommencer à émettre.

Donc, le CSMA/CD a été légèrement modifié pour aboutir au CSMA/CA (Carrier Sens Multiple Access/Collision Avoidance), qui a pour but de prévenir au maximum les collisions. Il essaye de réduire le nombre de collisions en évitant qu'elles se produisent, sachant que la plus grande probabilité d'avoir une collision est lors de l'accès au support.

Le CSMA/CA est une technique d'accès aléatoire avec écoute de la porteuse, qui permet d'écouter le support de transmission avant d'émettre. Le CSMA évite ainsi qu'une transmission ne soit faite que lorsque le support est libre. Cela réduit le risque de collision, mais ne permet pas de l'éviter complètement.

L'une des particularités de l'IEEE 802.11 est qu'il définit deux méthodes d'accès fondamentalement différentes au niveau de la couche MAC :

a) La Fonction de Coordination Distribuée (DCF) : Distributed Coordination Function) :

Cette méthode s'appuie sur le protocole CSMA/CA, cette méthode d'accès, assez similaire à celle d'Ethernet, est dite de contention. Elle est conçue pour supporter les transmissions de données asynchrones tout en permettant à tous les utilisateurs d'accéder au support. Il peut y avoir des collisions.

b) Le Point de Coordination Centralisée (PCF) : Point e C Coordination Function) :

En plus de la fonction de base de coordination distribuée (DCF), il y a la fonction optimale de coordination par point (PCF) qui peut être utilisée pour implémenter des services temps réel, comme la transmission de voix ou de vidéo, cette méthode par contre, est dite sans contention et ne génère pas de collision du fait que le système de transmission de données est centralisé.[21]

III.2.7 Les avantages et les inconvénients de WiFi

III.2.7.1 Les avantages

Mobilité : La connexion au réseau sans fil permet de se déplacer librement dans le rayon disponible. On peut ainsi emmener son laptop de la salle de réunion à l'atelier sans avoir à brancher/débrancher quoi que ce soit.

Facilité : Un réseau WIFI bien configuré permet de se connecter très facilement, à condition, bien sûr, de posséder une autorisation. Il suffit généralement de se trouver dans la zone de couverture pour être connecté.

Souplesse : La souplesse d'installation du WIFI permet d'adapter facilement la zone d'action en fonction des besoins. Si le point d'accès est trop faible, on ajoute des répéteurs pour étendre la couverture.

Coût : La plupart des éléments du réseau WIFI (point d'accès, répéteurs, antennes...) peuvent être simplement posés. L'installation peut donc parfois se faire sans le moindre outillage, ce qui réduit les coûts de main-d'oeuvre. Le budget de fonctionnement est similaire à un réseau filaire.

Evolutivité : La facilité d'extension ou de restriction du réseau permet d'avoir toujours une couverture WIFI correspondant aux besoins réels. [50]

III.2.7.2 Les inconvénients

-Qualité et continuité du signal : Un réseau Wifi bien installé et bien configuré est généralement fiable et d'une qualité constante. Cependant, il suffit parfois de peu pour perturber le signal : un radar de gendarmerie ou un émetteur Bluetooth, par exemple.

-Sécurité : Le Wifi étant un réseau sans fil, il est possible de s'y connecter sans intervention matérielle. Cela veut dire qu'il faut particulièrement étudier la sécurisation du réseau si l'on veut éviter la présence d'indésirables ou la fuite d'informations

-Portée limitée.

-Consommation énergétique importante. [50]

III.3 La norme IEEE 802.15.4

III.3.1 Généralités sur Zigbee

Le ZigBee est un protocole de communication sans-fil à courte portée et à faible consommation énergétique basé sur la norme IEEE 802.15.4. Il est maintenu par un consortium regroupant des entreprises, des universités et des organismes gouvernementaux connus sous le nom de ZigBee Alliance.

Zigbee est principalement destiné aux applications alimentées par batterie, où les principales exigences sont un faible débit de données, un faible coût et une longue durée de vie de la batterie. Dans de nombreuses applications Zigbee, la durée totale d'activité d'un périphérique sans fil est très limitée. L'appareil passe le plus clair de

son temps en mode d'économie d'énergie, également appelé mode veille. En conséquence, les appareils Zigbee enabled sont capables de fonctionner pendant plusieurs années avant que leurs batteries ne doivent être remplacées. [51]

III.3.2 les objectifs de Zigbee

Les objectifs visés par ZigBee peuvent être résumés dans les points suivants :

- Usage sans restriction géographiques
- Pénétration à travers les murs et plafonds
- Installation automatique/semi-automatique
- Possibilité de rajouter/retirer des dispositifs
- Coût avantageux
- Débit : 10kbps-115.2kbps
- Portée radio: 10-75m
- Jusqu'à 65k noeuds par réseau
- Jusqu'à 100 réseaux co-localisés
- Jusqu'à 2 ans de durée de vie de batterie standards Alkaline

III.3.3 Domaine d'application

- Home automation : Chauffage, ventilation, air conditionné, sécurité, éclairage, et contrôle d'objets.
- Industrielles : Détection de situation d'urgence, contrôle de machines
- Automotive : Contrôle de la pression des pneus, etc.;
- Agriculture : Mesure de l'humidité du sol, détection de situations pour l'usage des intrants, mesure de la salinité du sol, etc.
- Autres : Contrôle d'équipement électronique, communication entre PC et périphériques, etc. [35]

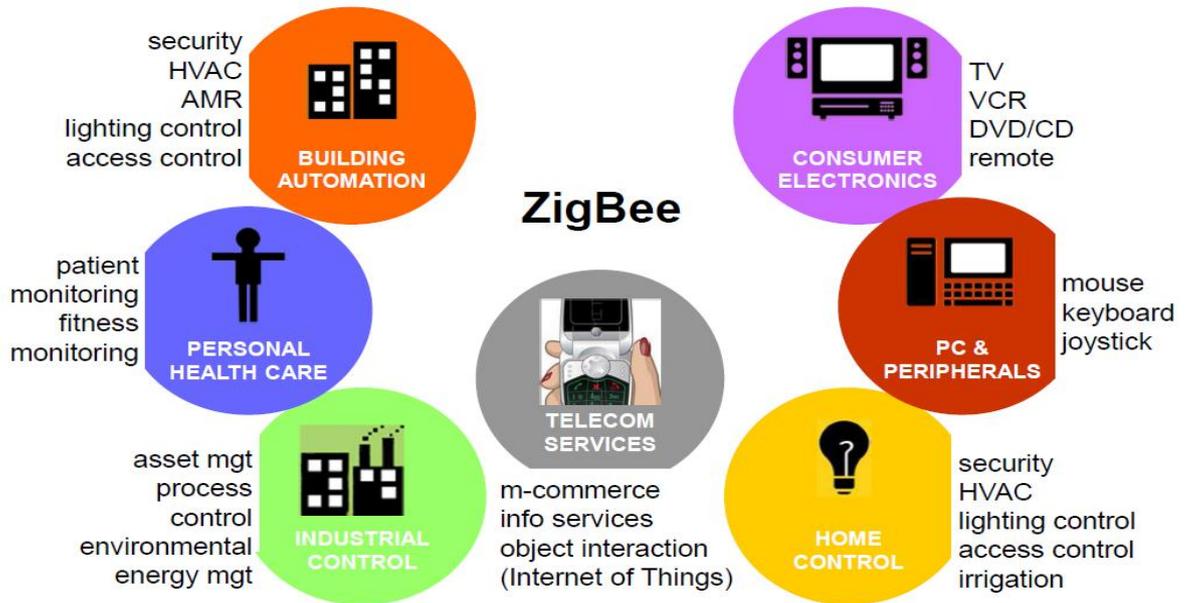


Figure III.11 : Application de Zigbee .[34]

III.3.4 Topologies de Zigbee

Selon les besoins de l'application, la norme IEEE 802.15.4 prévoit deux topologies : étoile (star) ou point à point (peer to peer). Le réseau formé est appelé PAN. Ces deux topologies sont représentées en figures 2.2 et 2.3. Au dessus de 802.15.4, la couche réseau de ZigBee permet la création de réseaux plus complexes comme les réseaux maillés (mesh) ou arborescents (tree) grâce à un routage automatique des paquets de niveau 3 (niveau réseau).

III.3.4.1 Topologie étoile

Dans la topologie étoile, les entités RFD sont connectées à un nœud FFD central appelé coordinateur 1 ; dans cette topologie, tous les messages sont relayés par le coordinateur, comme dans un Piconet Bluetooth avec le maître ou dans un réseau WiFi en mode infrastructure avec le point d'accès.

Les communications directes entre entités RFD sont impossibles. Notons que le rôle central du coordinateur implique de plus fortes dépenses énergétiques ; un coordinateur devra donc généralement prévoir une source d'alimentation non contrainte (batteries conséquentes, secteur) . [36]

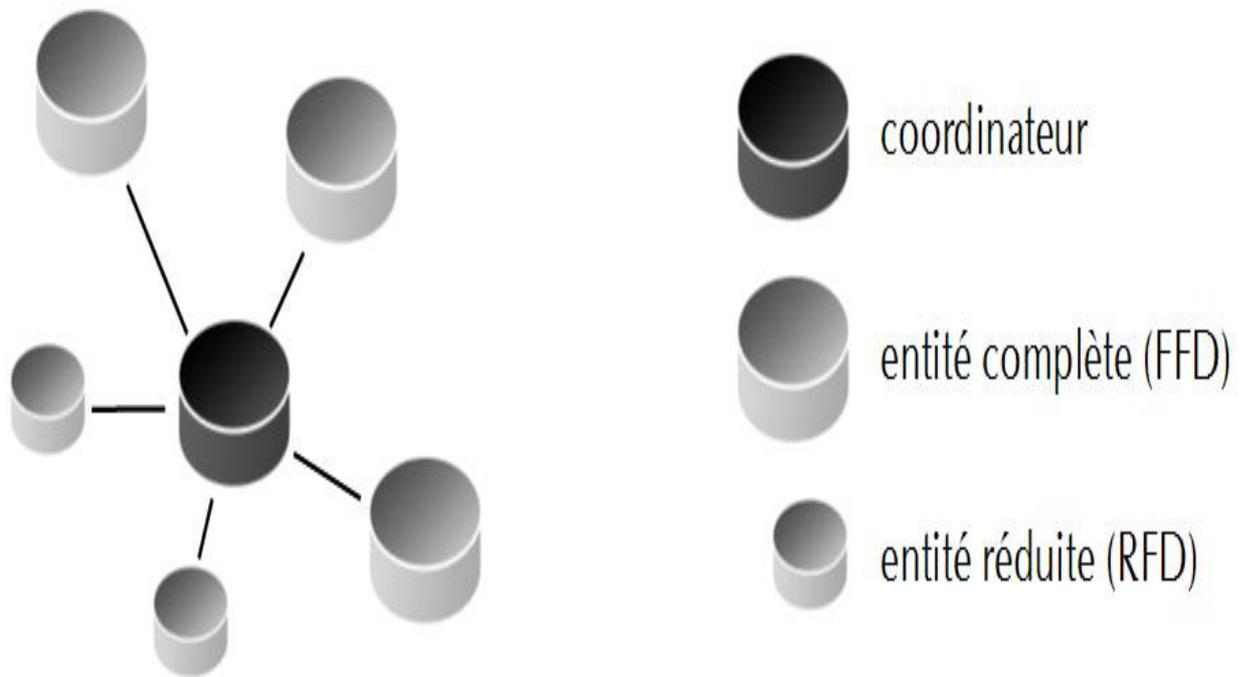


Figure III.12 : Représentation de la topologie en étoile [36]

III.3.4.2 Topologie point à point

Dans la topologie point à point (peer-to-peer), un FFD peut communiquer directement avec tout autre FFD si ils sont à portée radio l'un de l'autre. Dans cette topologie, on retrouve un coordinateur unique comme dans la topologie étoile.

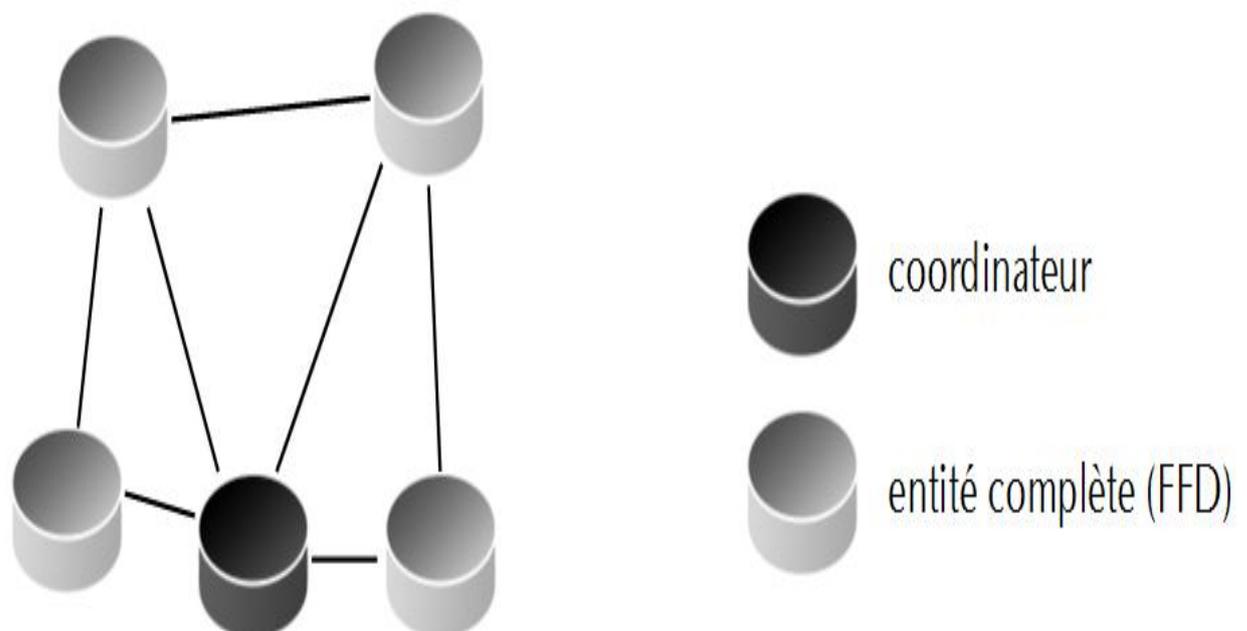


Figure III.13: Représentation de la topologie point à point [36]

III.3.4.3 Topologies plus complexes

Avec l'aide d'une couche réseau et d'un système de routage des paquets de données, il est possible d'élaborer des topologies plus complexes. La technologie ZigBee propose une couche réseau permettant de créer facilement de telles topologies grâce à des algorithmes de routage automatique tels que le cluster tree (arborescence de cellules) ou les réseaux maillés mesh . [36]

III.3.5 L'architecture de la norme IEEE 802.15.4

L'architecture du protocole Zigbee consiste en une pile de diverses couches, la pile du protocole Zigbee se compose de quatre couches: couche physique (PHY), couche de contrôle d'accès au support (MAC), couche de réseau (NWK), cette couche s'occupent de la création et de l'entretien du réseau, elles garantissent théoriquement le débit de transmission de données jusqu'à 250kbps, et couche d'application (APL) qui est responsable de la communication entre les dispositifs .[37]

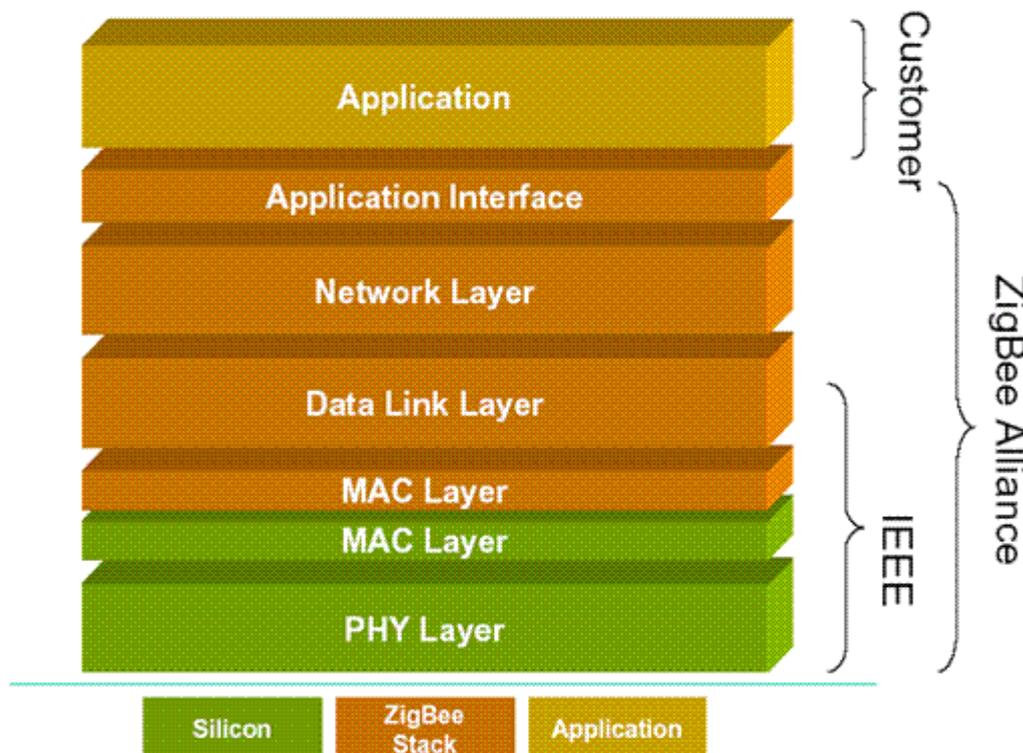


Figure III.14: Architecture ZigBee/IEEE 802.15.4 [37]

- **Couche physique** : cette couche effectue les opérations de modulation et de démodulation sur les signaux d'émission et de réception, respectivement. La

fréquence [39], le débit et le nombre de canaux de cette couche sont indiqués ci-dessous.

Les trois premières couches (pYH, MAC, et NWK) s'occupent de la création et de l'entretien du réseau, elles garantissent théoriquement le débit de transmission de données jusqu'à 250kbps.

BAND	COVERAGE	DATA RATE	CHANNEL NUMBERS	
2.4 GHz	ISM	Worldwide	250 kbps	11-26
868 MHz		Europe	20 kbps	0
915 MHz	ISM	Americas	40 kbps	1-10

Figure III.15 : Couche physique du protocole Zigbee [37].

- **Couche MAC :** cette couche est responsable de la transmission fiable des données en accédant à différents réseaux avec l'évitement de collision d'accès multiple par le sens de porteuse (CSMA). Cela transmet également les trames de balise pour la synchronisation de la communication.
- **Couche réseau :** cette couche s'occupe de toutes les opérations liées au réseau telles que la configuration du réseau, la connexion et la déconnexion du périphérique final au réseau, le routage, la configuration des périphériques, etc...
- **Sous-couche de support d'application :** cette couche permet aux services nécessaires aux objets de périphérique Zigbee et aux objets d'application d'interagir avec les couches réseau pour les services de gestion de données. Cette couche est chargée de faire correspondre deux périphériques en fonction de leurs services et de leurs besoins.
- **Cadre d'application :** Il fournit deux types de services de données : paire de valeurs clés et services de messagerie génériques. Le message générique est une structure définie par le développeur, alors que la paire clé / valeur est utilisée pour obtenir des attributs dans les objets de l'application. ZDO (Zigbee Device Object) fournit une interface entre les objets d'application et la couche APS des périphériques Zigbee. Il

est responsable de la détection, de l'initialisation et de la liaison d'autres périphériques au réseau. [37]

III.3.6 La pile zigbee

Zigbee est structuré en 4 couches : couche physique, couche MAC, couche réseau et couche application.

- ❖ La couche physique supporte la gestion des fréquences d'émission et de réception, le débit des données envoyées ou reçues, le type de modulation et le codage numérique des informations.
- ❖ La couche d'accès au médium ou MAC (Medium Access Control) s'appuie sur les ressources de la couche physique. C'est la couche principale pour les aspects logiciels qui définit la façon dont un nœud du réseau pourra dialoguer (transmettre ou recevoir). [40]
- ❖ La couche « Network » (NWK) est responsable de la topologie maillée (mesh networking) permettant à un nœud de communiquer à une autre grâce à un routage automatique. Elle fournit des mécanismes pour joindre, quitter et former un réseau, sécuriser le routage et la transmission des trames, identifier les chemins entre les équipements connectés, découvrir le voisinage réseau, la gestion des types de services applicatifs, etc. Les paquets de la couche réseau peuvent être envoyés en unicast, broadcast ou encore multicast ;
- ❖ La couche « Application » (APL) est associée à plusieurs éléments :
 - La sous-couche Application Support Sub-Layer (APS) assure l'interface entre la couche de réseau et la couche d'application à travers un ensemble de services. Elle gère le maintien des tables de routage, le transfert des messages entre les appareils reliés, le management des adresses, le mapping des adresses étendues de 64 bits en adresse de 16 bits pour la couche NWK, la fragmentation et réassemblage des paquets, ou encore dispose d'un mécanisme de multiplexage (cas de plusieurs applications sur la même adresse);
 - L'Application Framework (AF) qui accueille les différents profils d'application. Elle propose également des API pour les développeurs. Chaque application dispose d'une adresse sur le nœud Zigbee comprise entre 0 et 255 ;

- Le module Security Service Provider (SSP) qui s'occupe de fournir des services de sécurité aux couches NWK et APS ;
- Le module Zigbee Device Object (ZDO) qui est responsable du management des équipements notamment pour la définition du rôle (coordinateur, routeur), de la découverte ou encore des services d'applications du dispositif qui seront fournis.

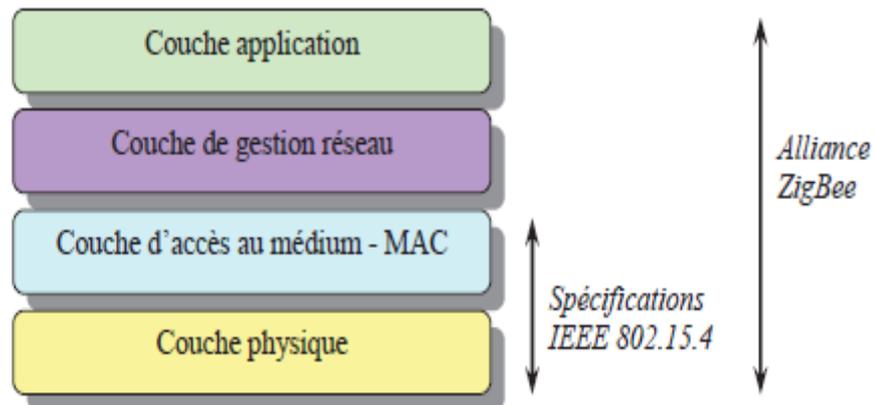


Figure III.16 : Pile de protocoles ZigBee [38]

III.3.7 Les avantages et les inconvénients de Zigbee

III.3.7.1 Les avantages

- La configuration du réseau est très simple et facile, il ne possède pas de contrôleur central et les charges sont réparties uniformément sur le réseau ;
- Le protocole Zigbee est capable d'organiser (reconfigurer) le réseau automatiquement ;
- Il est facile de surveiller et de contrôler les appareils ménagers à distance ;
- Facilitant l'intégration des équipements entre eux ;
- Il remplacera les dispositifs basés sur la technologie infrarouge existants. Cela permettra de réduire les coûts de remplacement de la batterie, car Zigbee utilise une batterie au lithium qui dure longtemps ;
- Le réseau est évolutif et il est facile d'ajouter un dispositif final Zigbee / distant au réseau ;
- Consommation électrique très faible, ce qui permet aux appareils qui ont sources par batterie: capteur, moniteur, contrôleur, etc., de durer plus longtemps [34] ;

- Supporte un nombre élevé de nœuds (plus que 65000 nœuds peuvent coexister dans un réseau Zigbee, ce qui suffit à une grande maison avec plein d'appareil et capteurs Zigbee) ;
- Grande autonomie (parfois mesurable en mois ou en années) ;
- Faible coût ;
- Le temps de latence de Zigbee est court, environ 15 ms à 30 ms, ce qui garantit la transmission de donnée pour une gestion en temps-réel. [37]

III.3.7.2 Les inconvénients

- La couverture est limitée et ne peut donc pas être utilisée comme système de communication sans fil extérieur. Il peut être utilisé dans les applications sans fil intérieures ;
- Faible débit de transmission de donnée (maximum 250 Kbps avec 2,4GHz) ;
- Faible portée ;
- La majorité des appareils Zigbee ne sont pas compatibles avec les autres protocoles de communication. [37]

III.4 WiFi Vs Zigbee

WiFi et ZigBee partagent la même bande de fréquences 2,4 GHz.

Ces technologies fonctionnent généralement à proximité et doivent coexister les unes avec les autres. Le WiFi utilise la même bande de fréquences que celle utilisée par ZigBee, mais le WiFi utilise un niveau de puissance plus élevé, par rapport à ZigBee. Les caractéristiques des deux diffèrent considérablement, ce qui entraîne un problème de coexistence asymétrique.

la puissance de sortie du périphérique 802.15.4 est aussi faible que 0 dBm alors que la puissance de sortie des périphériques 802.11 est de 15 dBm ou plus. Lorsque les deux sont utilisés ensemble, ZigBee produit une empreinte spatiale plus petite et donc moins visible au WiFi [39].

Ainsi, la présence de ZigBee n'est pas détectée par le WiFi et peut conduire à une collision. La fente de détection pour les réseaux 802.11 est de 20 μ s tandis que la fente de détection 802.15.4 est de 320 μ s.

Lors de la détection d'un canal occupé, ZigBee reprend son évaluation du canal d'arrêt et d'effacement, puis abandonne après cinq tentatives consécutives.

Le WiFi reste en mode backoff et détecte jusqu'à ce qu'il trouve un emplacement inactif pour la transmission. De plus, chaque interruption dans ZigBee se compose de deux fenêtres de contention, c'est-à-dire que l'émetteur assure un canal inactif pour deux emplacements avant d'envoyer des données alors que le WiFi n'a besoin que d'un seul emplacement inactif.

Étant donné que la durée d'évaluation du canal clair WiFi est beaucoup plus courte, l'émetteur WiFi peut facilement préempter ZigBee. Lorsque ZigBee et WiFi utilisent le canal en même temps, un problème d'interférence apparaît, ce qui entraîne une perte de données en cours de transmission. Cela entraînera une retransmission à la fois dans ZigBee et WiFi jusqu'à ce que la transmission réussisse [40].

Cela entraîne des retards et une atténuation du taux de livraison pour les deux technologies.

De plus, ZigBee doit attendre plus longtemps pour obtenir un support gratuit pour la transmission et avec la perte de paquets et la retransmission attendues, une vidange plus rapide de la batterie du capteur est attendue . [41]

L'interférence entre le WiFi et ZigBee a été largement étudiée à la fois dans l'industrie et dans les communautés de recherche. Sous un trafic WiFi léger, ZigBee souffre moins de collision avec le WiFi et peut récupérer les pertes par retransmission. Cependant, sous un trafic WiFi modéré à élevé, les performances de ZigBee sont gravement dégradées [42].

Avec la prolifération des appareils WiFi et des applications à haut débit, la quantité de trafic WiFi dans un environnement domestique ou d'entreprise typique continuera d'augmenter, affectant ainsi gravement la fiabilité des ZigBee WPAN pour la surveillance et le contrôle des applications.

D'autre part, ZigBee interfère rarement avec le WiFi car il cible les applications à faible cycle de service avec une faible occupation des canaux. De plus, le WiFi a une puissance de transmission beaucoup plus élevée, ce qui oblige les nœuds ZigBee à s'interrompre et peut dominer les interférences ZigBee.

	Wifi	Zigbee
IEEE	802.11.(a/b/g/n ...)	802.15.4
Mémoire	4-32 KB	+ 1 MB
Autonomie de la pile	Heures	1 Année (jusqu'à 2 ans duré de vie de batterie standard Alkaline)
Nombre de nœuds	32 nœuds	-Jusqu'à 65 000 nœuds par réseau -Jusqu'à 100 réseaux co-localisés (cluster)
Vitesses de transmission	Très haut (+Mb/s)	Moyen (250 kb/s)
Portée	Courte (300 m)	Courte (10-100 m)
Fréquence	2,4 GHz et 5 GHz	2,4 GHz
Sécurité	Authentication SSID, WEP	AES 128 bits et couche d'application définis par l'utilisateur
Avantage	Très Haut débit, qualité du signal assurée, connexion simple et rapide à la passerelle	Technologie peu consommatrice en énergie et s'intègre à bas coût dans les équipements
Inconvénients	Non adapté aux objets uniquement alimentés par batterie. Couverture réseau limitée à une faible zone autour de la passerelle. Une passerelle WiFi mal configurée expose le réseau à des failles de sécurité (man in the middle).	Couverture réseau limitée à une faible zone autour de la passerelle. Achat d'appareils spécifiques car la technologie n'est pas disponible dans les smartphones et ordinateurs.
Applications	Adapté aux applications de domotique, au contexte indoor.	Adapté aux applications de contrôle de commandes dans les contextes bureautique et domotique.

Tableau III.2 : Comparaison entre WiFi et Zigbee[50,51].

III.5 Coexistence entre WiFi et Zigbee

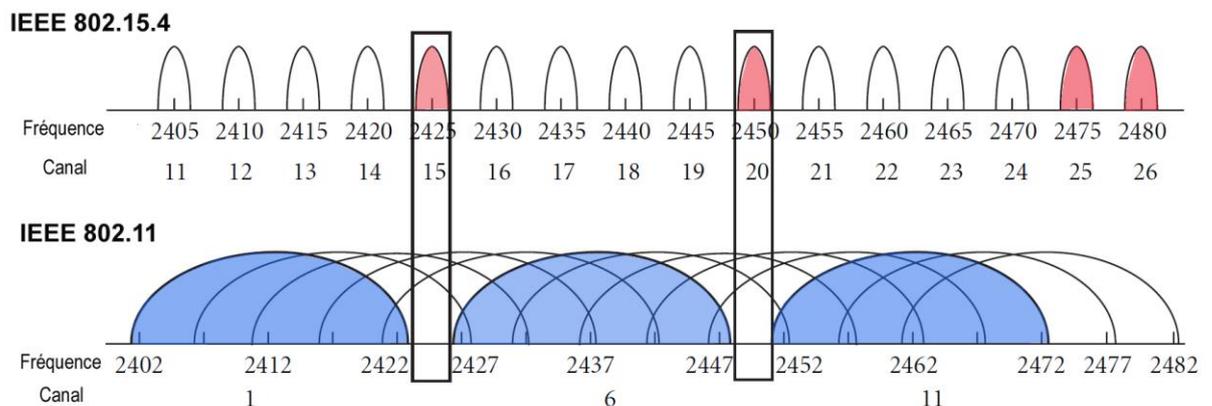
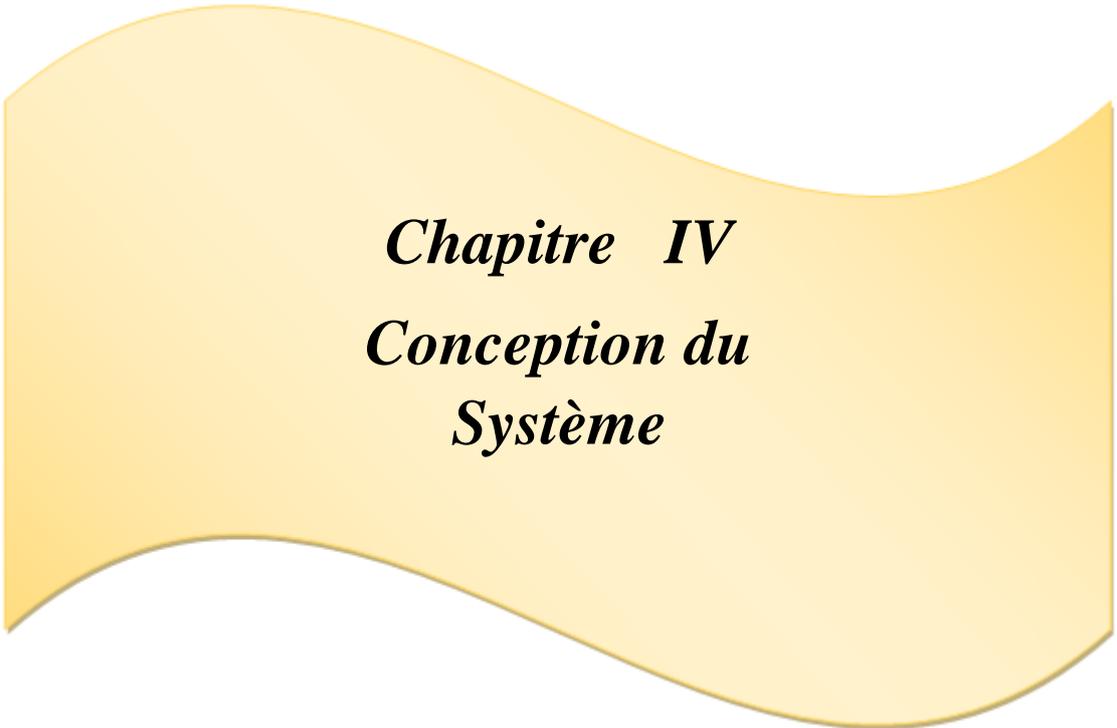


Figure III.17 : Les canaux WiFi et Zigbee dans la bande 2,4 GHz [45] .

III.6 Conclusion

Les réseaux sans fil en général, (le WIFI et le Zigbee) en particulier sont des technologies intéressantes et très utilisées dans de divers domaines ,et La coexistence de différentes technologies sans fil fonctionnant dans la zone commune est inévitable.

Dans le prochain chapitre, nous allons étudier un des algorithmes de gestion de spectre dans la coexistence Zigbee et Wifi et l'intégrer dans un système de simulation.



Chapitre IV
Conception du
Système

Chapitre IV : Conception du Système

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier la cohabitation des technologies WiFi et Zigbee à travers notre simulation basée principalement sur l'algorithme de gestion des interférences WiseBee et combiner le résultat avec l'algorithme SFLA pour améliorer la gestion du spectre et la qualité de service.

IV.2 La conception globale

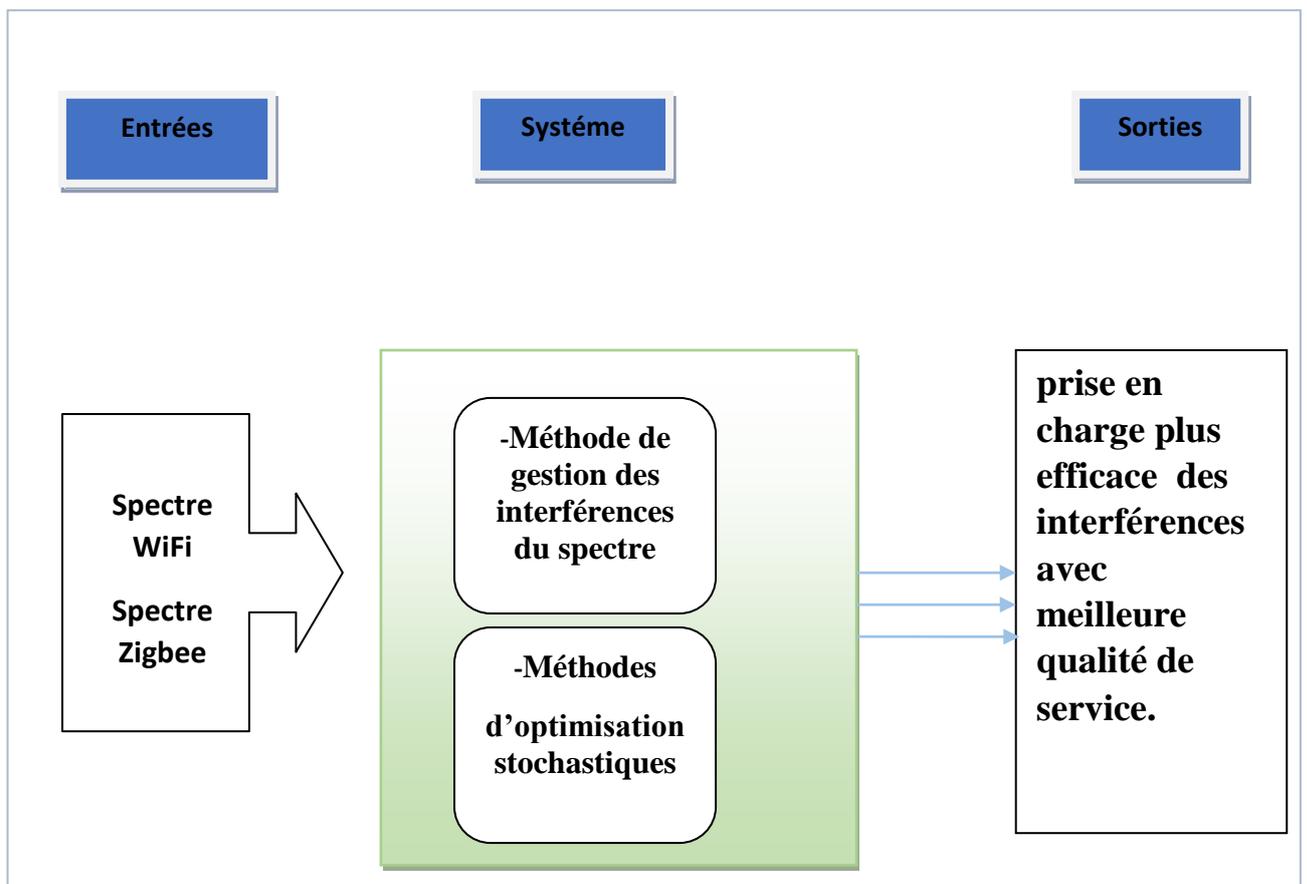


Figure IV.1 : Architecture globale du système.

IV.3 Conception Détaillée

IV.3.1 Entrées du système

L'entrée de notre système représente une simulation du spectre Zigbee et du spectre Wifi avec interférences cette simulation sera réalisée avec le logiciel de modélisation système multi-physique **simulink**.

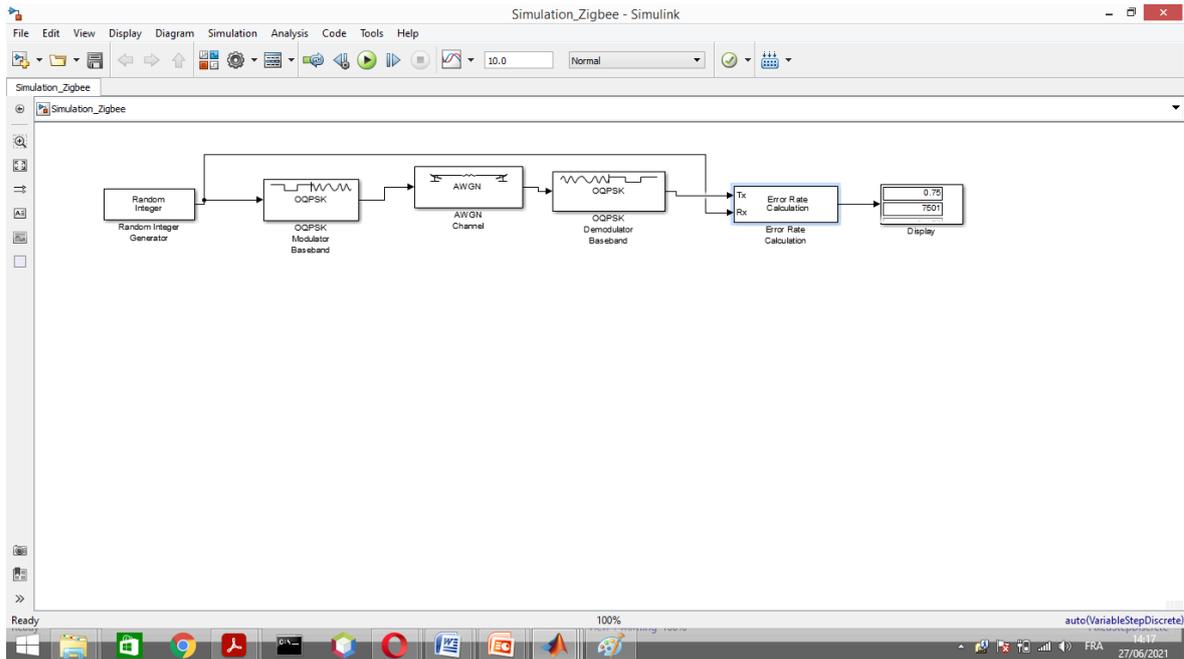


Figure IV.2 : Bloc Simulink pour Zigbee

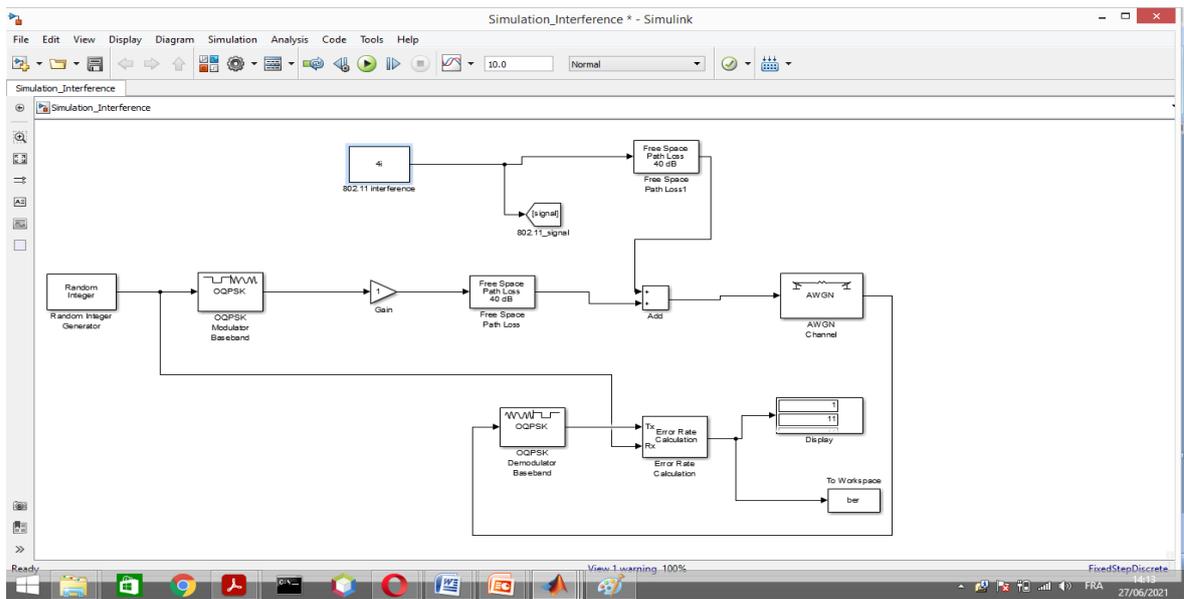


Figure IV.3 : Bloc de Simulink pour l'interférence Zigbee avec WiFi

IV.3.2 Module principal du système

Le module principal de notre système représente l’algorithme de gestion des interférences entre le WIFI (802.11) et Zigbee (802.15.4) WiseBee proposé dans les travaux de [53].

• **l’Algorithme WiseBee**

WizeBee est un noeud ZigBee dont la puissance d’émission est de 5 à 20 dB plus forte que le signal ZigBee en zone à risque d’interférence entre le WiFi et le ZigBee. Son rôle est d’écouter la communication dans le canal et de détecter une éventuelle interférence (collision) entre le signal ZigBee et le signal WiFi. Lorsque le WiseBee détecte une collision, il récupère l’ensemble des paquets transmis. Il annule ensuite les informations du WiFi et extrait la trame ZigBee. Enfin, il remet en forme les paquets ZigBee puis les retransmet sur le réseau.

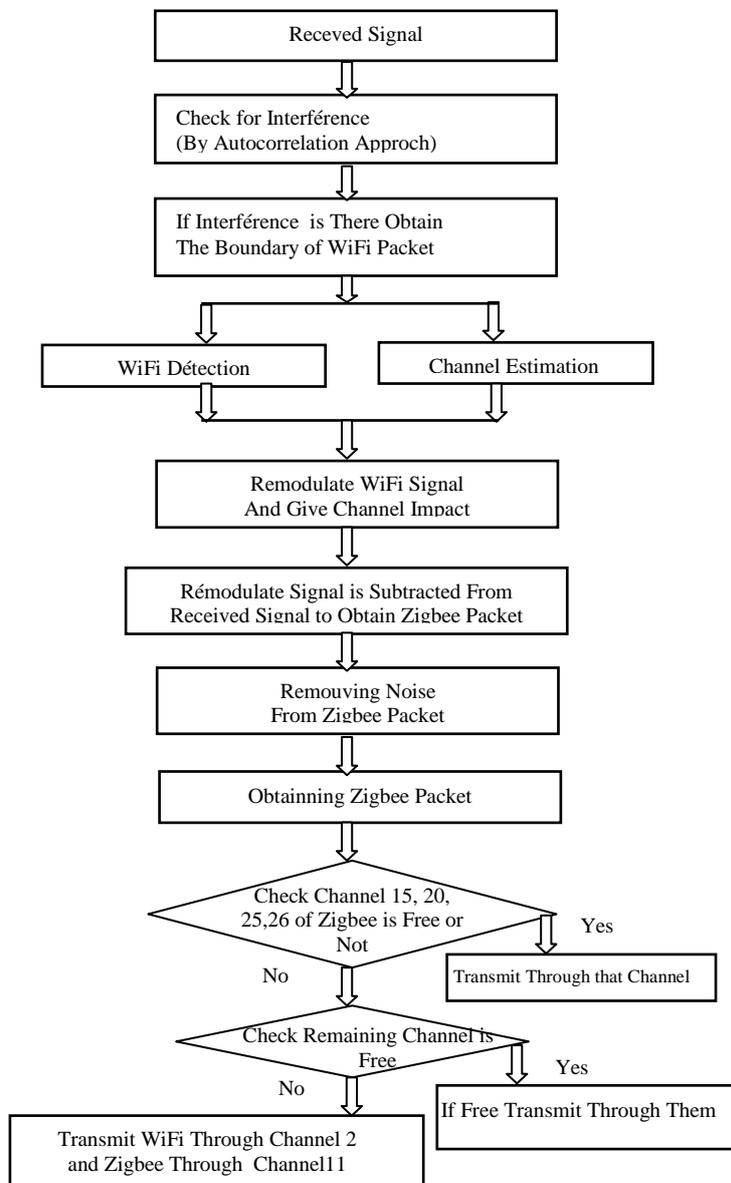


Figure IV.4 : Algorithme WiseBee.

IV.3.3 Sorties du système

Les sorties de notre système représentera une comparaison entre le BER(Bit Error Rate) et le SNR(Signal-to-Noise Ratio) du spectre Zigbee interférant avec wifi et le BER et SNR du spectre géré par l'algorithme WiseBee.

IV.3.3 Travaux Connexes

Différents mécanismes ont été adoptés pour améliorer la coexistence de ZigBee et du WiFi.

-En cas d'interférences symétriques dues aux activités ZigBee, l'émetteur WiFi s'arrêtera. Ici, l'en-tête du paquet ZigBee est endommagé. Dans la région symétrique, l'en-tête du paquet est endommagé. Pour compenser cette méthode simple peut être utilisée. Dans cette méthode, plusieurs en-têtes peuvent être transmis dans un seul paquet. Ainsi, même si le premier en-tête est endommagé, le deuxième en-tête sera reçu correctement. Dans la région asymétrique, le code de contrôle d'erreur direct peut être utilisé pour corriger les erreurs sur les bits. Le code RS est le meilleur contre les erreurs en rafale.

Ces techniques sont intégrées dans un protocole appelé Buzz-Buzz [54]. Il peut améliorer le taux de livraison des paquets d'environ 70% et réduit également le taux de retransmission des paquets. Ainsi, l'interférence de ZigBee avec le WiFi peut être réduite. Dans cette méthode, les interférences entre WiFi et ZigBee sont discutées au niveau du bit. Dans la FEC, l'émetteur applique un code de correction d'erreur aux données à transmettre. Le message est donc converti en une forme codée. Le récepteur applique ensuite la transformation inverse pour récupérer le message d'origine à partir du message codé.

- Une stratégie d'adaptation distribuée est proposée pour minimiser l'impact des interférences 802.11 [55]. Ici, un algorithme distribué est utilisé pour optimiser les performances de ZigBee sous des interférences 802.11 variables. Dans la première méthode utilisée ici, les nœuds choisissent au hasard un canal à chaque période.

Les paquets sont ensuite transmis à tout autre nœud dans la plage de communication qui a choisi le même canal. Dans la seconde méthode, une approche basée sur la numérisation est utilisée. Chaque fois que le canal actuel et le canal sélectionné au hasard sont pris en compte et ses performances sont accédées. Ensuite, la chaîne avec de bonnes performances

est toujours considérée. Dans la deuxième méthode, il doit balayer le canal actuel et un canal supplémentaire. Le coût de l'énergie est donc doublé.

-Un mécanisme appelé CCS est utilisé. CCS est synonyme de signalisation porteuse coopérative qui permet la coexistence de ZigBee et WiFi. Ici, un nœud séparé appelé signaleur est utilisé. Le signaleur a une puissance plus élevée que l'émetteur ZigBee normal. Ainsi, le WiFi peut détecter la présence de l'émetteur ZigBee en détectant la tonalité d'occupation. La tonalité d'occupation persiste pendant tout le trajet aller-retour des données et de l'accusé de réception. La principale difficulté du CCS est que la tonalité d'occupation des signaleurs doit se produire en même temps que la transmission de données. Pour surmonter cette difficulté, un mécanisme de saut de canal temporel est utilisé . [56], [57]

Dans notre travail, et pour résoudre le problème d'interférence entre le wifi et Zigbee on utilise l'algorithme après avoir identifié le paquet WiFi présent, et obtenir la limite du paquet WiFi. La frontière peut être facilement obtenue car la puissance du WiFi et du paquet Zigbee est très variable.

Une fois que la limite du paquet WiFi est obtenue initialement, nous considérons le signal Zigbee comme un bruit de fond et un décodeur WiFi standard est utilisé pour décoder le paquet WiFi. Ensuite, le signal WiFi est remodulé et l'impact de canal lui est appliqué. Le signal ainsi obtenu est ensuite soustrait du signal mélangé. À partir du signal restant, nous pouvons extraire les paquets Zigbee.

❖ Signal reçu

Nous supposons d'abord qu'il n'y a pas d'interférence WiFi lors de la communication de Zigbee.

Supposons que $X_z(t)$ soit la valeur échantillonnée du paquet Zigbee et que H_z soit le coefficient de canal correspondant de la transmission Zigbee.

$$\text{Alors nous avons } y(t) = H_z X_z(t) e^{j2ft} + n(t);$$

Où y est le signal de réception, et f le décalage de fréquence centrale entre le WiFi et le signal Zigbee intéressé, et $n(t)$ le bruit de fond.

La conception de découpage / combinaison de spectre comprend trois étapes: conversion de fréquence, filtrage FIR et ré-échantillonneur.

L'objectif de l'étape de translation de fréquence est de supprimer le décalage de fréquence f , ce qui peut être obtenu en multipliant le signal entrant par $e^{-j2\pi\delta ft}$. Nous pouvons utiliser $e^{-j2\pi\delta ft} y(t)$ pour extraire le paquet Zigbee. Pour améliorer le SNR du canal de réception Zigbee, nous avons ajouté un filtre FIR afin de filtrer les bruits indésirables hors de la bande.

Nous utilisons ensuite un bloc de ré-échantillonnage abaissant le taux d'échantillonnage pour améliorer la vitesse de décodage tout en conservant les informations de signal nécessaires.

❖ Vérifiez les interférences

Nous appelons le bloc d'annulation d'interférence uniquement s'il confirme que la transmission Wi-Fi commence.

Pour ce faire, nous adoptons l'approche standard d'auto-corrélation qui a été largement adoptée pour détecter les paquets WiFi pour la détection d'interférences WiFi. L'idée principale est d'exploiter des modèles répétés dans un symbole d'apprentissage court (STS) d'un paquet WiFi. L'auto-corrélation consiste à résumer les multiplications entre le signal reçu et sa forme retardée.

Soit r_t le t ème échantillon et L la longueur de la méta-répétition. La sortie d'auto-corrélation peut être représentée comme :

$$c_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k} r_{n+k+L}^*, \quad [56].$$

Où r_t^* est le conjugué du t ème échantillon.

Pour obtenir un résultat normalisé, nous avons besoin de calculer

$$p_n = \frac{\sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k+L} r_{n+k+L}^*}{\sum_{k=0}^{L-1} |r_{n+k+L}|^2}. \quad [56].$$

Le résultat final de l'auto-corrélation est $M_n = (C)^2 / (P)^2$, ce qui signifie essentiellement la corrélation des échantillons actuels avec les échantillons précédents. Ce n'est qu'à l'arrivée d'un paquet realWiFi que la sortie de corrélation automatique M_n est

sur le point d'approcher 1, car le paquet WiFi réel comprend dix séquences répétées. Sinon, le bruit randomisé ne donnerait pas une M_n élevée.

Pour la détection des limites de paquets WiFi, nous exploitons les informations de longueur de paquet incorporées dans le symbole SIGNAL au début d'un paquet WiFi. En outre, la diminution spectaculaire de puissance à la fin d'un paquet WiFi pourrait nous aider à vérifier la limite de paquets.

❖ L'estimation du canal

Est effectuée avec une approche de domaine de fréquence. L'estimation du canal peut être calculée comme suit:

$$\hat{H}_k = (R_{1,k} + R_{2,k})X_k^*$$

Où $R_{1,k}$ et $R_{2,k}$ sont les symboles de formation longs (LTS Long Training Symbols) reçus, X_k est le LTS transmis, X_k^* est la forme conjuguée de X_k et H_k est la réponse de canal de la sous-porteuse k .

❖ **La démodulation** : comprend le suivi d'erreur de phase, la décision de symbole, le décodage de Viterbi. Nous exploitons la "sous-porteuse pilote" pour le suivi d'erreur de phase. Une fois que le récepteur a effectué la synchronisation susmentionnée, nous utilisons une technique de décision souple pour déterminer quel est le symbole transmis le plus probable pour chaque symbole reçu.

Ensuite, le décodage de Viterbi est effectué pour obtenir les bits les plus probables.

Pour un décodage WiFi robuste, nous utilisons un algorithme de Viterbi. Il utilise des informations supplémentaires pour indiquer la confiance dans les décisions d'entrée et produit une estimation plus précise des codes transmis. Ce bon caractère nous permet de concevoir un décodage WiFi robuste.

Notez que, dans le domaine fréquentiel, le signal Zigbee ne peut interférer qu'une partie des sous-porteuses, et nous pouvons connaître les sous-porteuses exactes grâce au schéma de découpage précédent du spectre.

Profitant de ce mérite, nous attribuons différentes pondérations aux sous-porteuses. Pour les sous-porteuses interférées, le «bruit Zigbee» doit être évalué pour sa valeur SNR.

❖ Estimation précise du coefficient de canal WiFi

Pour estimer précisément H_w , nous utilisons les symboles de formation longs (LTS) connus au début d'un paquet WiFi.

L'algorithme d'estimation est appelé algorithme des moindres carrés, qui est largement utilisé en raison de sa faible complexité.

Notez que OFDM module les informations de bits dans le domaine fréquentiel (c'est-à-dire les sous-porteuses). Par conséquent, nous estimons la réponse en fréquence du canal en tant que valeur complexe pour chaque sous-porteuse. Supposons que

$$X_m = (X_m [0], \dots, X_m [n - 1])$$

Est le même symbole d'apprentissage utilisé dans les n sous-porteuses, et $Y_m[k]$ est la valeur correspondante de la $k^{\text{ième}}$ sous-porteuse.

La réponse en fréquence de chaque sous-porteuse k peut être représentée par:

$$\hat{H}_m [k] = \frac{Y_m [k]}{X_m [k]}$$

En pratique, plusieurs symboles sont utilisés pour l'estimation de canal et nous pouvons calculer la moyenne de toutes les estimations $\hat{H}_m [k]$

❖ Annulation d'interférence

La conception clé de WiseBee repose sur l'observation selon laquelle il est possible de décoder les paquets WiFi et Zigbee même quand ils accèdent au canal en même temps, car la force du signal du WiFi est supérieure de 5 à 20 dB à celle de Zigbee en raison de la puissance élevée, puissance d'émission.

Par conséquent, nous pouvons d'abord considérer le signal Zigbee comme un bruit de fond et appliquer un décodeur standard pour décoder les paquets WiFi. Avec suffisamment de SNR de signal WiFi, il est possible de décoder d'abord un paquet WiFi. Ensuite, nous remodulons le signal de transmission, ajoutons l'impact réel sur le canal et utilisons la technique de suppression des interférences (IC) pour soustraire le signal WiFi fort connu. Si nous pouvons atténuer le signal WiFi du signal mixte, nous pouvons utiliser le décodeur Zigbee standard pour extraire les paquets Zigbee.

Pour obtenir une précision plus grande de la récupération du signal, nous considérons le signal $y(t)$ mélangé (en collision) et le sous-échantillonnons en utilisant la

fréquence centrale avec la bande passante du système WiFi. Soit $x_w(t)$ le signal du WiFi et $x_z(t)$ la valeur du signal de Zigbee. Ensuite nous avons

$$y(t) = H_w x_w(t) + H_z x_z(t) e^{j2ft} + n(t);$$

où H_w et H_z sont respectivement le coefficient de canal du WiFi et de Zigbee, $n(t)$ est le bruit et f le décalage de fréquence centrale entre les signaux WiFi et Zigbee.

Lorsque $H_w x_w(t)$ est beaucoup plus grand que $H_z x_z(t)$, nous pouvons considérer $H_z x_z(t) e^{j2ft} + n(t)$ comme un nouveau bruit $N(t)$ et obtenir $x_w(t)$ à l'aide du décodeur standard WiFi. Ensuite, nous re-modulons le signal WiFi sous la forme $S_w = \hat{H}_w x_w(t)$ et configurons une nouvelle formule comme suit:

$$Y(t) = y(t) - S_w = H_z x_z(t) e^{j2ft} + n(t)$$

❖ Transmettre le paquet Zigbee

L'étape suivante consiste à transmettre le paquet Zigbee. La figure IV.3 montre les canaux WiFi et Zigbee dans la bande 2,4 GHz ISM. Les canaux 1, 6 et 11 sont les canaux WiFi les plus communs. Les canaux 15, 20, 25 et 26 de Zigbee sont ceux qui sortent des canaux qui ne se chevauchent pas. Nous vérifions donc initialement si ces chaînes sont libres ou non. Si l'un de ces canaux est libre, nous transmettons à l'aide de ce canal.

Si aucun de ces canaux n'est libre, nous vérifions les canaux restants de Zigbee, à savoir les canaux 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24. Si l'un de ces canaux est libre, nous transmettons à travers ces derniers, sinon nous adoptons une autre méthode. En plus du paquet Zigbee, nous avons aussi un paquet WiFi. Nous envoyons donc ce paquet WiFi via le canal 2 du WiFi.

Donc, le canal 1 du WiFi sera libre. Dans le canal 1 du WiFi se trouve le canal 11 de Zigbee. Ainsi, le paquet Zigbee peut être transmis via le canal 11 de Zigbee. Ici, nous avons sélectionné le canal 2 du WiFi car le nombre de canaux Wi-Fi qui se chevauchent est inférieur à celui obtenu si nous nous déplaçons au centre. Le principal avantage est que nous avons un paquet WiFi avec nous. Ainsi, il peut être utilisé pour transmettre le paquet Zigbee. Le paquet Wi-Fi servira de but de brouillage et permettra donc de transmettre le paquet Zigbee sans interférence WiFi.

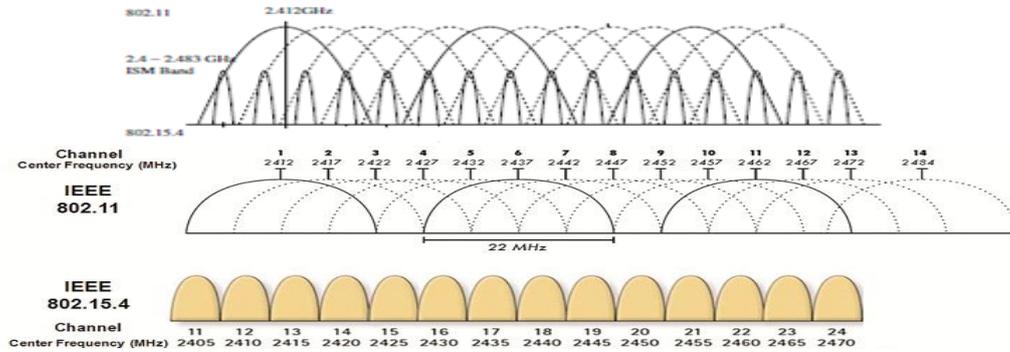
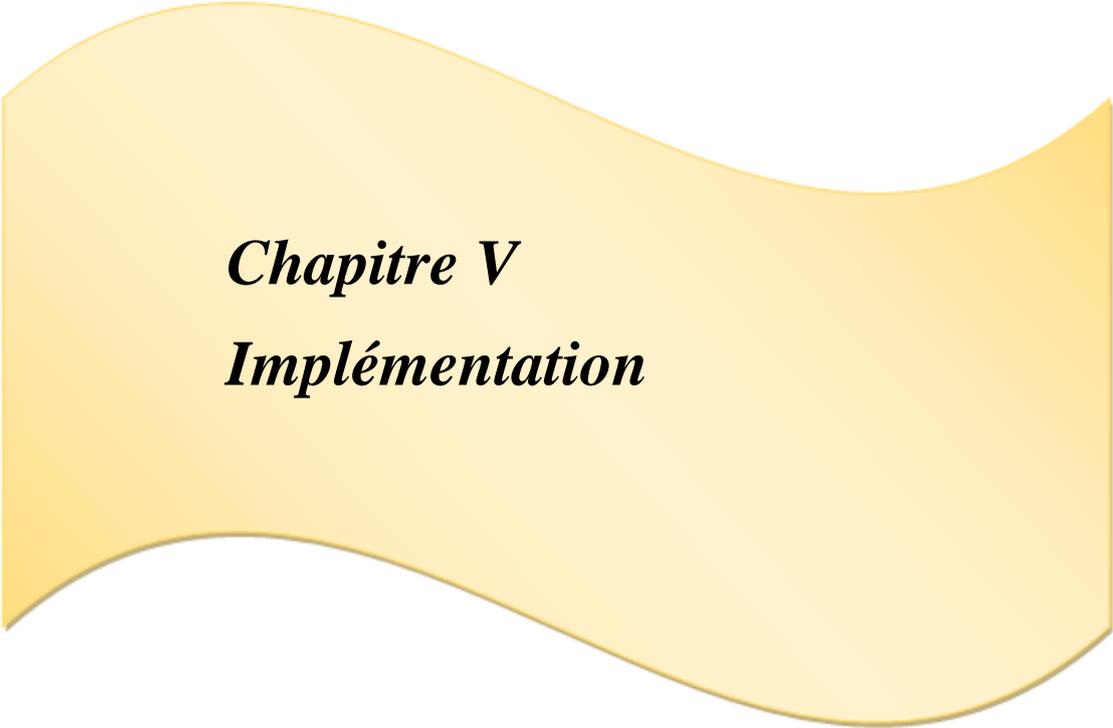


Figure IV.4 : Les canaux WiFi et Zigbee dans la bande 2,4 GHz [56]

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l’algorithme WiseBee qui permet de gérer l’interférence entre WiFi et Zigbee et son principe qui présenté la conception du notre système.



Chapitre V
Implémentation

Chapitre V : Implémentation

V.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter les étapes de l'implémentation de l'algorithme proposée .

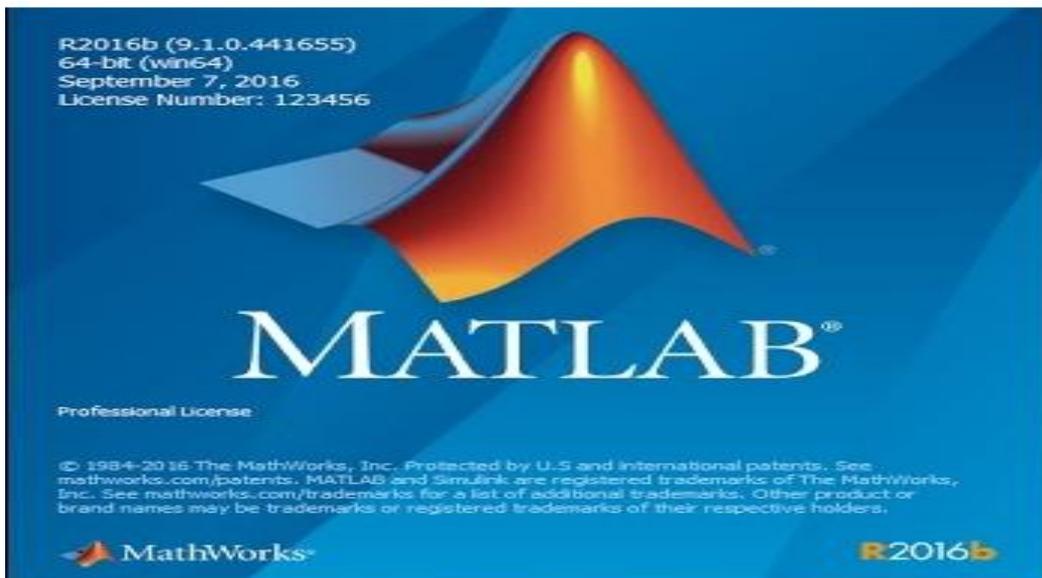
Nous avons présenter l' Environnement et outils de développement

L'implémentation de n'importe quel programme ou application nécessite un ensemble d'étape, qui joue un rôle très important à sa performance. L'une des étapes la plus importante l'environnement de travail, le choix de dernier doit être par conscience, selon les structures nécessaires à l'implémentation. Ainsi que les outils de travail qui facilitent la tâche de programmation et d'utilisation des données.

V.2 Environnement et outils de développement

V.2.1 Environnement de développement

Pour l'implémentation de l'algorithme du système WiseBee, nous avons choisi l'environnement MATLAB.



Matlab est un logiciel de calcul numérique commercialisé par la société MathWorks¹ . Il a été initialement développé à la fin des années 70 par Cleve Moler, professeur de mathématique à l'université du Nouveau-Mexique puis à Stanford, pour permettre aux étudiants de travailler à partir d'un outil de programmation de haut niveau et sans apprendre le Fortran ou le C.

Matlab signifie Matrix laboratory. Il est un langage pour le calcul scientifique, l'analyse de données, leur visualisation, le développement d'algorithmes. Son interface propose, d'une part, une fenêtre interactive type console pour l'exécution de commandes, et d'autre part, un environnement de développement intégré (IDE) pour la programmation d'applications.

Matlab trouve ses applications dans de nombreuses disciplines. Il constitue un outil numérique puissant pour la modélisation de systèmes physiques, la simulation de modèles mathématiques, la conception et la validation (tests en simulation et expérimentation) d'applications. Le logiciel de base peut être complété par de multiples toolboxes, c'est-à-dire des boîtes à outils. Celles-ci sont des bibliothèques de fonctions dédiées à des domaines particuliers. Nous pouvons citer par exemple : l'Automatique, le traitement du signal, l'analyse statistique, l'optimisation... [58]

V.2.2 Outils utilisés

Simulink est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation de systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal. Simulink est intégré à MATLAB, fournissant ainsi un accès immédiat aux nombreux outils de développement algorithmique, de visualisation et d'analyse de données de MATLAB. [58]

V.2.3 Les algorithmes

La réalisation de ce travail est faite à l'aide de plusieurs de l'algorithme.

Algorithme1 : Algorithme réception Signal

H_z : coefficient de canal

X_z : valeur échantillonné de paquet Zigbee

f : décalage de fréquence.

Début

Calcule signal

Fin

L'utilisation de cet algorithme permet calculer le signal Zigbee

Algorithme2 : Algorithme détecté interférence

Mn : auto corrélation

Début

Calcule (Mn)

Si $Mn \cong 1$ alors

WiFi existe

Finsi

Fin

L'utilisation de cet algorithme permet vérifier l'existence du signal WiFi

Algorithme3 : Algorithme Démodulation le signal WiFi**Début**

Fonction Viterbi

Fin

L'utilisation de cet algorithme permet décoder le signal de WiFi, le décodage de Viterbi est effectué pour obtenir les bits les plus probables.

Fonction VITERBI

INPUT

- The **observation space** $O = \{o_1, o_2, \dots, o_N\}$
- the **state space** $S = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$
- an array of initial probabilities $\Pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_K)$ such that π_i stores the probability that $x_1 == s_i$
- a sequence of observations $Y = (y_1, y_2, \dots, y_T)$ such that $y_t == i$ if the observation at time t is o_i
- **transition matrix** A of size $K \times K$ such that A_{ij} stores the **transition probability** of transitioning from state s_i to state s_j
- **emission matrix** B of size $K \times N$ such that B_{ij} stores the probability of observing o_j from state s_i

OUTPUT

- The most likely hidden state sequence $X = (x_1, x_2, \dots, x_T)$

```
function VITERBI(O, S, Π, Y, A, B) : X
  for each state i = 1, 2, ..., K do
    T1[i, 1] ← πi · Biy1
    T2[i, 1] ← 0
  end for
  for each observation j = 2, 3, ..., T do
    for each state i = 1, 2, ..., K do
      T1[i, j] ← maxk (T1[k, j - 1] · Aki · Biyj)
      T2[i, j] ← arg maxk (T1[k, j - 1] · Aki)
    end for
  end for
  zT ← arg maxk (T1[k, T])
  xT ← szT
  for j = T, T - 1, ..., 2 do
    zj-1 ← T2[zj, j]
    xj-1 ← szj-1
  end for
  return X
end function
```

Algorithme4 : Algorithme Annulation d'interférence

$X_w(t)$: valeur du signal WiFi

$X_z(t)$: valeur du signal Zigbee

H_w : coefficient de canal WiFi

H_z : coefficient de canal Zigbee

Début

Si $H_w X_w(t) \gg \gg H_z X_z(t)$ alors
 ré-modulons le signal WiFi
 trouver le signal Zigbee

Finsi

Fin

L'utilisation de cet algorithme permet d'annuler l'interférence et ré-module le signal WiFi et obtenue le signal Zigbee.

Algorithme5 : Algorithme Transmettre le paquet Zigbee

canal_w : canal WiFi

canal_z : canal Zigbee

Début

Si canal_{zi} ∈ {15,20,25,26} est libre alors

Transmettre le paquet Zigbee dans le canal_{zi}

Sinon

Si canal_{zi} ∈ {11,12,13,14,16,17,18,19,21,22,23,24} est libre alors

Transmit le paquet Zigbee dans le canal_{zi}

Sinon

Transmettre le paquet WiF dans le canal_{w2}

Transmettre le paquet Zigbee dans le canal_{z11}

Finsinon

Finsi

Finsinon

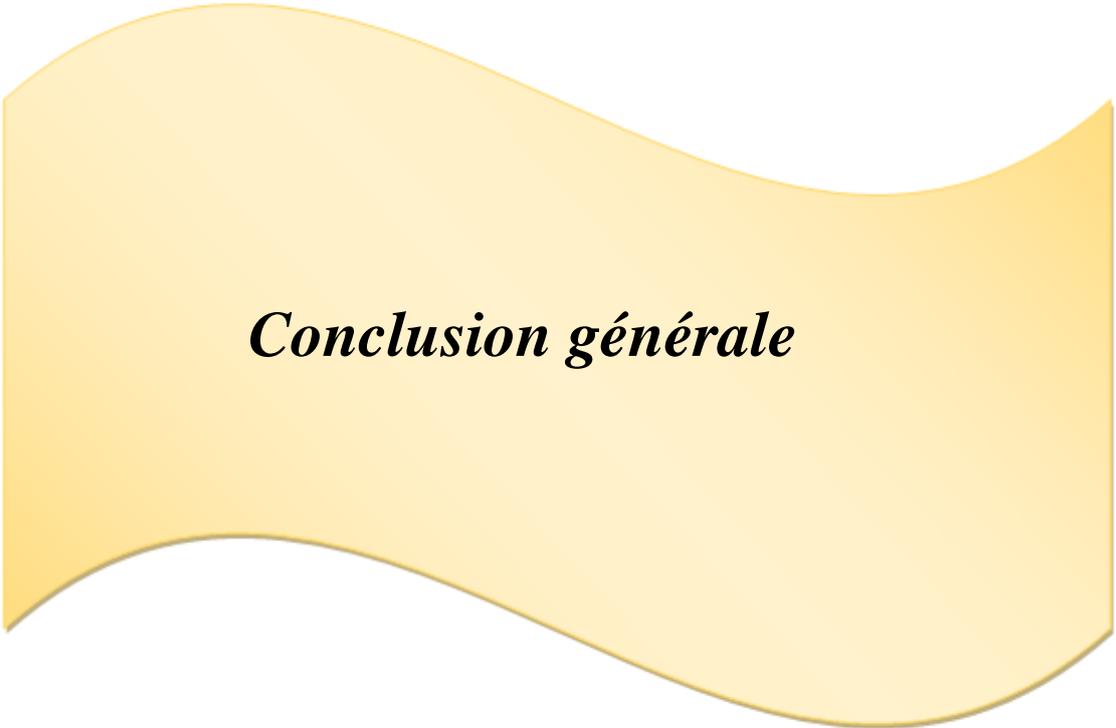
Finsi

Fin

L'utilisation de cet algorithme permet de déterminer le meilleur canal adapté à la transmission WiFi et Zigbee.

V.3 Conclusion

Afin d'éviter l'interférence entre WiFi et Zigbee dans ce chapitre nous avons simulé le paquet Zigbee et l'interférence entre le WiFi et Zigbee avec le logiciel Simulink et implémenté l'algorithme Wisebee pour comparer le BER et SNR du spectre zigbee interférant avec WiFi et BER et SNR du spectre géré par l'algorithme Wisebee.



Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire, l'utilisation des méthodes d'optimisation stochastiques (SFLA) pour garantir une meilleure solution, pour une gestion dynamique plus efficace du spectre avec une meilleure qualité de service, dans le cadre d'une cohabitation entre WIFI(802.11) et ZigBee(802.15.4).

Dans le cadre de la gestion du spectre, dans notre projet, nous avons présenté la conception du système qui est basé sur l'algorithme WiseBee qui permet de gérer l'interférence entre le WiFi et le Zigbee. Où WiseBee est un nœud Zigbee dont la puissance d'émission est de 5 à 20 dB plus forts que le signal ZigBee en zone à risque d'interférence entre le WiFi et le Zigbee. Son rôle est d'écouter la communication dans le canal et de détecter une éventuelle interférence (collision) entre le signal Zigbee et le signal WiFi. Lorsque le WiseBee détecte une collision, il récupère l'ensemble des paquets transmis. Il annule ensuite les informations du WiFi et extrait la trame Zigbee et déterminer le meilleur canal adapté à la transmission.

Nous avons tous d'abord présenté dans le premier chapitre le problème de la gestion dynamique du spectre radio et les différentes techniques existantes pour résoudre ce problème.

Ensuite, nous avons présenté l'algorithme SFLA, et nous avons choisi deux technologies WiFi et Zigbee, et nous avons présenté la coexistence entre eux.

Après, nous avons présenté notre système qui est basé sur l'algorithme WiseBee qui permet de gérer l'interférence entre WiFi et Zigbee, et qui travaille sur la Détermination du meilleur canal adapté à la transmission WiFi et Zigbee sans interférence pour une utilisation plus efficace du spectre.

Enfin , ce travail peut être amélioré en y combiner le résultat de l'algorithme Wisebee avec l'algorithme SFLA pour améliorer la gestion du spectre et la qualité de service.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Benmammar, B. **Optimisation de la QoS dans un réseau de radio cognitive en utilisant la métaheuristique SFLA (Shuffled Frog Leaping Algorithm) /2017**
- [2] Asma Amraoui, Badr Benmammar, Fethi Tarik Bendimerad. **Accès Dynamique au Spectre dans le Contexte de la Radio Cognitive**. 2ième édition de la conférence nationale de l'informatique destinée aux étudiants de graduation et de post graduation, Apr 2012, Alger, Algérie.
- [3] REBAH Asma, MEGHOUCHE Selma, **Méthodologie de la gestion d'un spectre et l'implémentation des points d'accès (AP) dans un réseau -Algérie Telecom Boumerdes**, Projet de fin d'étude En vue de L'Obtention Du Diplôme De Master En Recherche Opérationnelle, Université M'hamed Bougara Boumerdes,pp 27-32,2016.
- [4] AMRAOUI Asma, BENMAMMAR Badr, et BENDIMERAD,Fethi Tarik. **Utilisation des Enchères dans les Réseaux Radio Cognitifs pour l'Accès Dynamique au Spectre**. In : Première Conférence Nationale sur les Télécommunications" *CNT'2012*". 2012.
- [5] Benbrahim, Abdel Gheffar, and Clive Gareth Jieman. **Analyse d'une chaîne de communication d'un réseau basé sur la radio cognitive**, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou Bakr Belkaid,2013,pp 41-42
- [6] Ibtissam Larbi et Badr Benmammar, **Négociation de spectre dans les réseaux de radio cognitive**, Rapport de recherche, Laboratoire de Télécommunications de Tlemcen (LTT) Université Abou BekrBelkaid Tlemcen , pp 7- 13, Juin 2013.
- [7] Benmammar, Badr, and Asma Amraoui. **Radio Resource Allocation and Dynamic Spectrum Access**. Wiley-ISTE, 2012.
- [8] Bendella Med Saleh, **Gestion de spectre dans les réseaux de radio cognitive par la formation decoalitions**, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, pp 19-21, 2014.
- [9] Amraoui, A., Benmammar, B., Krief, F., & Bendimerad, F. T. (2012, October). **Négociations à base d'Enchères dans les Réseaux Radio Cognitive**. In NOTERE (Nouvelles Technologies de la Répartition)/CFIP (Colloque francophone sur l'ingénierie des protocoles)2012.
- [10] Elnourani, M. G. A. (2008). **Cognitive Radio and Game Theory: Overview And Simulation**. Blekinge Institute of Technology
- [11] Mir, U. (2011). Utilization of Cooperative Multiagent Systems for Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks. PHD theses, Sep, 17.

- [12] Xin, C., Song, M., Ma, L., Hsieh, G., & Shen, C. C. (2010, December). On random dynamic spectrum access for cognitive radio networks. In Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010 IEEE (pp. 1-5). IEEE.
- [13] Geirhofer, S., Tong, L., & Sadler, B. M.. Cognitive radios for dynamic spectrum access-dynamic spectrum access in the time domain: Modeling and exploiting white space. Communications Magazine, (2007), IEEE, 45(5), 66-72.
- [14] Gueye, Cheikh Ahmadou Bamba. Localisation géographique des hôtes dans l'Internet basée sur la multilatération. Diss. Paris 6, 2006.
- [15] Garhwal, Anita, and Partha Pratim Bhattacharya. "A survey on dynamic spectrum access techniques for cognitive radio." arXiv preprint arXiv:1201.1964, 2012.
- [16] HADJILA, Nour el Houda et HECHAM, Hanane. Optimisation de l'accès au spectre à base de SMA réactif , Thèse de doctorat, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen,2014-2015,pp 17-18.
- [17] DJEFFAL LEILA, Gestion dynamique du spectre pour l'Internet des objets (IoT), Projet de fin d'étude En vue de L'Obtention Du Diplôme De Master, Université Mohamed Khider – BISKRA,2019,pp 25.
- [18] TEHAMI, A. Conception d'une approche Bio-inspirée pour le traitement des données optiques ,,Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie-Mohamed Boudiaf d'Oran,2016/2017,pp 49-53.
- [19] JADIDOLESLAM, M., BIJAMI, E., AMIRI, N., et al. Application of shuffled frog leaping algorithm to long term generation expansion planning. International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol.4, No.2, April 2012, pp 115-119.
- [20] WANG, Lianguo et GONG, Yaxing. A fast shuffled frog leaping algorithm. Ninth International Conference on Natural Computation (ICNC). IEEE, 2013. p. 369-373.
- [21] BELABDELLI, Abdelheq et OUKAZ, Mokhtar. Dimensionnement D'un Réseau Sans Fil Wifi. Thèse de doctorat, Université Abou Beker Belkaid Tlemcen ,2012, p-8.
- [22] DIDI née LAHFA FEDOUA, « Qualité de Service dans les réseaux locaux sans fil de type IEEE 802.11», Mémoire de Doctorat d'Etat, UniversitéAbouBekrBelkaid, Tlemcen, Faculté de Technologie, 2010.
- [23] RIAHI, Mohammed Nadjib. CONCEPTION DES RESEAUX LOCAUX SANS FIL AVEC LOGICIEL OPNET. Thèse de doctorat, Université Abou Beker Belkaid Tlemcen,2014,p-36
- [24] Mokri Karima Ikram et Sidhom Zineb, Evaluation des performances du réseau wifi en utilisant le simulateur OPNET, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, pp 28-32, 2015.

- [25] KHERBACHE Zeynebet LARIBI Amina, Étude de la Qualité de Service (QoS) dans les réseaux WIFI, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du Diplôme de Master en Informatique, université Abou Baker BelkaidTelemcen, pp 20-32 , 2011.
- [26] Michel Duchateau : 2004- « Analyse et simulation du déploiement d'un réseau sans fil à l'ULB » Mémoire de fin d'études Presente en vue de l'obtention du grande d'ingenieur civil electricien specialite en telecommunication.
- [27] IEEE Std 802.11b-1999 Part 11 : “Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications”.
- [28] BELABDELLI, Abdelheq, and Mokhtar OUKAZ. Dimensionnement D'un Réseau Sans Fil Wifi. Diss. 2012.
- [29] BELKADI Salim et ABAIDIA Abdelmadjid, Planification des réseaux Wi-Fi par usage d'une apprche heuristique : Recherche Tabou, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du Diplôme de Master en Informatique, Université LarbiTebassi – Tebassa, pp 17-29, 2016.
- [30] ZHEN Zhao, Étude des protocoles de communication pour les systèmes de gestion dans le contexte des réseaux intelligents, mémoire présenté à l'université du QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES, pp 19-28, Mars 2017.
- [31] Wahiba BOUHALI, Optimisation D'une Chaîne de Transmission Vidéo sur Réseau IEEE 802.11g, Mémoire de Fin d'Etudes pour l'Obtention du Diplôme de Master Recherche, Université Abderahmane MIRA – BEJAIA, 2012.
- [32] Bouazzaoui Samira et Dekali Zahira, CONCEPTION DES RESEAUX SANS FILS IEEE 802.11 EN MODES INFRASTRUCTURE ET AD HOC, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunications, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, pp 24-43, 2016.
- [33] M. Kbida, “Etude, planification et dimensionnement d'un réseau d'accès WI-FI,” Ecole Supérieur des Communications de Tunis, 2005.
- [34] Tennina, Stefano, et al. IEEE 802.15. 4 and ZigBee as enabling technologies for low-power wireless systems with quality-of-service constraints. Springer Science & Business Media, 2013.
- [35] https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module_RCSF_43.html dernier visite 15/06/2021 23 :30
- [36] Van Den Bossche, Adrien. Proposition d'une nouvelle méthode d'accès déterministe pour un réseau personnel sans fil à fortes contraintes temporelles. Doctoral dissertation Université Toulouse le Mirail-Toulouse II, 2007.

- [37] ZHEN Zhao, Étude des protocoles de communication pour les systèmes de gestion dans le contexte des réseaux intelligents, mémoire présenté à l'université du QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES, pp 19-28, Mars 2017.
- [38] FRANCOMME, Jackson, VIROLLEAU, Férial, PANG, Jiamin, et al. ZigBee, de la théorie à la pratique: création d'un réseau ZigBee avec transmission de données. La Revue 3 E. I, 2013, vol. 71, p. pp. 1-18.
- [39] Howitt and J. Gutierrez, "IEEE 802.15.4 low rate wireless personal area network coexistence issues," in Proc. IEEE Wireless Commun.Netw. (WCNC 2003), pp. 1481–1486.
- [40] XinYu Zhang and Karang G. Shin, "Cooperative carrier signaling: Harmonizing coexisting WPAN and WLAN devices", IEEE Transactions on networking , vol.21, no.2, April 2013.
- [41] R.C Shah and L. Nachman , "Interference detection and mitigation in IEEE 802.15.4 networks," in Proc ACM/IEEE ISPN,2008, pp. 157
- [42] Peizhong Yi, Abiodun Iwayemi, Chi Zhou, "Developing ZigBee deployment guideline under WiFi interference for smart grid applications" IEEE Transactions on smart grid, Vol. 2 ,No.1, March 2011.
- [43] <https://www.domotique-info.fr/technologies-domotique/zigbee> dernier visite 16/06/2021 à 18:00.
- [44] <https://blog.xebia.fr/2018/08/29/iot-les-protocoles-de-communication-pour-les-reseaux-sans-fil-et-filaires-comment-choisir> dernier visite 16/06/2021 à 18:00
- [45] BIAOU, Ulrich. Étude et mise en oeuvre d'une plateforme hybride basée sur du sans fil pour l'efficience énergétique et le contrôle d'accès dans le train,Thèse de doctorat. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2017.
- [46] DIDI née LAHFA FEDOUA, « Qualité de Service dans les réseaux locaux sans fil de type IEEE 802.11», Mémoire de Doctorat d'Etat, UniversitéAbouBekrBelkaid, Tlemcen, Faculté de Technologie, 2010.
- [47] Bob O'Hara, Al Petrik, "IEEE 802.11 hand book", édition IEEE Standards Association.
- [48] Mathew Gast, "802.11 Réseaux sans fil" édition O'Reilly 2005
- [49] B.GUARET -DUPORT. « Les réseaux sans fil (Wi-Fi) ». Septembre 2004.
- [50] Kahoul kenza , Etude et simulation du standard de transmission de données sans fil : WIMAX par OPNET comparé avec WIFI, MÉMOIRE DE MASTER, Université Mohamed Khider de Biskra,2018 , pp-11.

[51] Shahin Farahani, ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Book, Printed in the United States of America, 2008. <http://www.chiaraburatti.org/uploads/teaching/ZigBee-Libro.pdf> dernier visite 25/06/2020 à 19 :20.

[52] BOUAFIA, Nouria et ABDELLAH, Berrehail Amina. Optimisation de la QoS dans le contexte de radio cognitive en utilisant la méthode SFLA (Shuffled Frog Leaping Algorithm). Thèse de doctorat,2018.

[53] Sunil Jacob, Priyanka Ravi, Enabling Coexistence of ZigBee and WiFi, Communications on Applied Electronics (CAE) – ISSN: 2394-4714 Foundation of Computer Science FCS, New York, USA Volume 2 – No.6, August 2015.

[54] C-J .M. Liang, N.B Priyantha, J. Liu, and A. Terzis, “Surviving WiFi interferences in low power ZigBee networks,” in Proc. ACM Sen Sys, 2010, pp.309-322.

[55] S. Pollin, M. Ergen, M. Ergen, M. Timmers, L. Van Der Perre, F. Catthoor, I. Moerman, and A. Bahai, “Distributed cognitive coexistence of 802.15.4 with 802.11,” in Proc Crowncom, 2006,pp.1-5.

[56] X. Zhang and K. G, Shin ,”Enabling coexistence of heterogeneous wireless systems: case for ZigBee and WiFi,” in Proc. ACM MobilHoc, 2011.

[57] XinYu Zhang and Karang G. Shin, “Cooperative carrier signaling: Harmonizing coexisting WPAN and WLAN devices”, IEEE Transactions on networking , vol.21, no.2,April 2013.

[58] Yassine Ariba et Jérôme Cadieux, Manuel de Matlab, la société The MathWorks, département GEI & Mécanique,pp

