

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A. Mira de Béjaïa  
Faculté des Sciences Exactes  
Département d'Informatique

Mémoire De Master Recherche  
En Informatique

Option :  
Réseaux et Systèmes Distribués

Thème :

*Evaluation des performances d'un mécanisme de  
fragmentation amélioré avec RTS/CTS dans un  
environnement bruité*

Présenté par :

M<sup>elle</sup> BOURICHE Loudjeina.

M<sup>elle</sup> MAMERI Lina.

Devant le jury composé de :

Président	M <sup>r</sup> A. ACHROUFENE	M.A.A	Université de Béjaïa.
Rapporteur	M <sup>me</sup> L. BOUALLOUCHE	M.C.A	Université de Béjaïa.
Rapporteur	M <sup>r</sup> M. YAZID	M.A.B	Université de Béjaïa.
Examinatrice	M <sup>elle</sup> S. TOULOUM	Doctorante	Université de Béjaïa.
Examineur	M <sup>r</sup> M. ATMANI	Doctorant	Université de Béjaïa.

Promotion 2011 - 2012

# Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions Dieu qui nous a donné du courage et beaucoup de volonté pour réaliser ce humble travail.*

*Nous tenons à remercier vivement notre encadreur Dr Louiza BOUALLOUCHE du département informatique, pour nous avoir proposé cet intéressant sujet et d'avoir accepté de nous encadrer tout au long du travail.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre co-encadreur Mr Mohand YAZID du département Recherche Opérationnelle, pour sa disponibilité, son aide, ses précieux conseils, ses explications et ses suggestions pertinentes et enfin, pour avoir apporté tant de soin à la réalisation de ce projet de fin d'étude.*

*Un grand merci à toutes nos familles, surtout nos parents pour leur encouragement et leur suivi avec patience du déroulement de notre projet.*

*Nous remercions également nos très chers amis, camarades et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Enfin, nous tenons à remercier les membres de jury qui ont accepté de juger notre travail.*

*Merci à tous.*

# Dedicaces

Je dédie ce modeste travail :

*À mes chères parents Hocine et Malika ainsi qu'à ma grand mère Taous qui m'ont apporté un grand soutien moral et financier tout au long de ma carrière d'étude.*

*À la mémoire de mes grands parents paternel Akli et maternel Hocine, ainsi qu'à ma grande mère maternelle Yamina que Dieu le tous puissant les bénissent et les accueillent en son vaste paradis.*

*À mes frères et soeurs : Djaffar, Yanis, Cylia et Yasmina ainsi qu'à sa petite fille Dalia qui m'ont soutenu quand j'en avais besoin, je leur souhaite une vie pleine de joie et de réussite.*

*À mes tantes et oncles, ainsi qu'à leurs enfants.*

*À mon binôme Loudjeina avec laquelle j'ai aimé travaillé durant ce semestre.*

*Je ne me permettrai surtout pas d'oublier Aroudj Mounir pour les sacrifices qu'il a accompli à mon égard, sa gentillesse, son soutien et ses précieux conseils sans lui je ne serai pas arrivé jusqu'au là.*

*À toute la promotion informatique 2012 de l'université de Bejaia.*

*Lina MAMERI*

# Dedicaces

Je dédie ce modeste travail :

*À mes chères parent Zaher et Zahia qui m'ont apportés un grand support pendant toute la durée de mes longues études.*

*À mon frère Houcine et mes soeurs Kahina et Lydia, qui m'ont soutenus durant toute la période d'élaboration de ce mémoire sans oublier de leur souhaiter un brillant succès dans leurs études.*

*À mon cher grand père paternel Mohamed.*

*À mes oncles et tantes, ainsi qu'à leurs enfants tout particulièrement ma tante Baya.*

*À mon binôme Lina avec qui j'ai aimé travailler durant cette année.*

*À la mémoire de mes grandes mères paternelle Zahoua et maternelle Baya, ainsi qu'à ma grand père maternelle Ahmed que Dieu le tous puissant les bénissent et les accueillent en son vaste paradis.*

*Je ne me permettrais surtout pas d'oublier Billal qui m'a beaucoup aidé lorsque j'en avais besoins.*

*Loudjeina BOURICHE*

# Table des matières

<b>Tables des matières</b>	<b>I</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>III</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>V</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>2</b>
<b>1 Généralités sur les réseaux <i>sans fil</i></b>	<b>5</b>
1.1 Introduction . . . . .	5
1.2 Définition d'un réseau sans fil . . . . .	5
1.3 Technologie des réseaux sans fil . . . . .	6
I.3.1. Réseaux corporels sans fil (WBAN) . . . . .	6
1.3.2. Réseaux personnels sans fil (WPAN) . . . . .	7
I.3.3. Réseaux locaux sans fil (WLAN) . . . . .	8
I.3.4. Réseaux métropolitains sans fil (WMAN) . . . . .	8
I.3.5. Réseaux étendus sans fil (WWAN) . . . . .	8
1.4 Modes de fonctionnement des réseaux sans fil . . . . .	8
I.4.1. Réseaux sans fil avec infrastructure . . . . .	9
I.4.2. Réseaux sans fil sans infrastructure (Ad Hoc) . . . . .	9
1.5 Communications dans un réseau sans fil . . . . .	10
I.5.1. Techniques de transmission sans fil . . . . .	10
I.5.2. Modèles de propagation . . . . .	10
I.5.3. Problématiques des transmissions sans fil . . . . .	11
I.5.3.1. Puissance du signal radio . . . . .	11
I.5.3.2. Phénomènes du monde radio . . . . .	11
I.5.3.3. Propagation du signal radio . . . . .	13

I.5.3.4. Bruits de l'environnement . . . . .	13
I.5.3.5. Interférences . . . . .	13
1.6 Conclusion . . . . .	14
<b>2 Présentation du standard IEEE 802.11</b>	<b>15</b>
2.1 Introduction . . . . .	15
2.2 La famille IEEE 802 et le standard 802.11 . . . . .	15
2.3 Description du standard IEEE 802.11 . . . . .	16
2.3.1 Normes sans fil concurrentes à IEEE 802.11 . . . . .	16
2.3.2 Extensions de la norme IEEE 802.11 . . . . .	17
2.3.3 Architecture des réseaux 802.11 . . . . .	18
2.3.4 Couches physiques (PHYs) de l'IEEE 802.11 . . . . .	19
2.3.5 Sous-couche de contrôle d'accès au médium (MAC) de l'IEEE 802.11 . . . . .	22
2.3.5.1 Modes de fonctionnement du protocole MAC 802.11 . . . . .	22
2.3.5.2 Protocoles de la sous-couche MAC du 802.11 . . . . .	23
2.4 Norme IEEE 802.11e . . . . .	29
2.4.1 Méthode avec contention (EDCA) . . . . .	30
2.4.2 Méthode sans contention (HCCA) . . . . .	32
2.5 Trames IEEE 802.11 . . . . .	32
2.6 Conclusion . . . . .	35
<b>3 Synthèse sur les travaux existants, problématique et proposition</b>	<b>36</b>
3.1 Introduction . . . . .	36
3.2 Synthèse sur les travaux existants . . . . .	36
3.2.1 Etude critique sur les travaux existants . . . . .	40
3.2.2 Définitions . . . . .	41
3.3 Organigrammes du protocole MAC 802.11 . . . . .	42
3.4 Motivations . . . . .	46
3.5 Proposition . . . . .	47
3.6 Conclusion . . . . .	49
<b>4 Simulation et Comparaison des Résultats</b>	<b>50</b>
4.1 Introduction . . . . .	50
4.2 Outils de simulation et logiciels . . . . .	50
4.3 Paramètres MAC et PHY utilisés . . . . .	51
4.4 Métriques d'évaluation de performances . . . . .	52
4.4.1 Débit effectif global . . . . .	52
4.4.2 Délai moyen de transmission . . . . .	52
4.5 Différents Scénarios à analyser . . . . .	52

4.6	Analyse des résultats et comparaisons . . . . .	53
4.6.1	Evolution du débit et du délai en fonction du BER . . . . .	53
4.6.2	Evolution du débit et du délai en fonction de la taille du paquet . . . . .	55
4.6.3	Evolution du débit et du délai en fonction du nombre de stations . . . . .	58
4.7	Conclusion . . . . .	60
	<b>Conclusion et Perspectives</b>	<b>61</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>63</b>

# Table des figures

1.1	Catégories des réseaux sans fil . . . . .	6
1.2	Exemple de réseau sans fil avec infrastructure . . . . .	9
1.3	Exemple de réseau sans fil sans infrastructure . . . . .	10
1.4	Ondes radio traversant différents milieux . . . . .	12
1.5	Réflexion d'un signal radio . . . . .	12
2.1	Famille IEEE 802 . . . . .	16
2.2	Couches et sous-couches OSI définies par le 802.11 . . . . .	19
2.3	(A) :Recouvrement des canaux dans ISM.(B) :Etalement de spectre par saut de fréquence . . . . .	20
2.4	Etalement du spectre par une séquence directe . . . . .	21
2.5	Canaux définis par OFDM . . . . .	21
2.6	Binary Exponential Backoff . . . . .	24
2.7	Accès au médium en mode CSMA/CA. . . . .	25
2.8	Accès au médium en mode RTS/CTS. . . . .	26
2.9	Mécanisme de fragmentation. . . . .	27
2.10	Fragmentation dans le mode DCF basique. . . . .	28
2.11	Fragmentation dans le mode DCF avec RTS/CTS. . . . .	28
2.12	Architecture de la norme 802.11e. . . . .	30
2.13	Un burst de paquets contrôlé par TXOPlimit. . . . .	31
2.14	Format général d'une trame 802.11 . . . . .	32
2.15	Format d'une trame 802.11 . . . . .	33
2.16	Format des trames de contrôle du standard 802.11 . . . . .	34
3.1	Format d'une trame AFR. . . . .	39
3.2	Format d'un frame body. . . . .	39
3.3	Format d'un fragment header. . . . .	40

3.4	Organigramme du protocole CSMA/CA. . . . .	42
3.5	Organigramme du protocole CSMA/CA avec RTS/CTS. . . . .	43
3.6	Organigramme du protocole CSMA/CA avec Fragmentation. . . . .	44
3.7	Organigramme du protocole CSMA/CA avec Fragmentation et RTS/CTS. . . . .	45
3.8	PER Vs BER. . . . .	46
3.9	Chronogramme du mécanisme de Fragmentation Amélioré avec RTS/CTS . . . . .	47
3.10	Organigramme du mécanisme de Fragmentation Amélioré avec RTS/CTS . . . . .	48
4.1	Débit effectif global vs BER. . . . .	53
4.2	Délai moyen de transmission vs BER. . . . .	54
4.3	Débit effectif global vs Taille du paquet. . . . .	56
4.4	Délai moyen de transmission vs Taille du paquet. . . . .	57
4.5	Débit effectif global vs Nombre de stations. . . . .	58
4.6	Délai moyen de transmission vs Nombre de stations. . . . .	59

# Liste des tableaux

2.1	Couches physiques du 802.11 commercialisées . . . . .	22
2.2	Intertrames et CW des différentes couches physiques. . . . .	29
2.3	Table de correspondance entre type d'application et ACs. . . . .	31
2.4	Différents champs de la trame MAC 802.11. . . . .	34
4.1	Paramètres de la couche PHY HR-DSSS et de la couche MAC 802.11. . . . .	51

# Introduction générale

De nos jours, les réseaux locaux informatiques connaissent deux évolutions importantes. D'une part, l'utilisation courante du réseau local chez les particuliers, due en grande partie à Internet, d'autre part, l'arrivée en masse des ordinateurs et autres matériels mobiles. Pour cela il faut trouver une technologie permettant de simplifier le câblage du réseau chez un particulier et offrir une mobilité pour les produits portables.

L'apparition de la technologie de WLAN (Wireless Local Area Network) vers la fin des années 90 a donné aux utilisateurs une meilleure mobilité et a rendu le réseau beaucoup plus flexible. Les réseaux sans fil WLAN sont devenus l'une des principales solutions de connexion pour de nombreuses entreprises. Le marché du sans fil se développe rapidement dès lors que les entreprises constatent les gains de productivité qui découlent de la disparition des câbles. Selon Frost and Sullivan [22], l'industrie du WLAN a dépassé les 300 millions de Dollars en 1998.

La norme IEEE 802.11 est un standard international s'adressant à la couche physique (PHY) et la couche contrôle d'accès au médium (MAC) du modèle de référence OSI. Son but est de faciliter l'interopérabilité entre les produits sans fil des grands constructeurs. Depuis lors, cette norme a connu des évolutions ou des améliorations donnant naissance à plusieurs variantes. Plusieurs révisions ont été apportées à la norme originelle dans le but d'optimiser le débit (c'est le cas des normes 802.11a, 802.11b et 802.11g) ou bien de préciser des éléments afin d'assurer une meilleure sécurité ou une meilleure interopérabilité. Cette norme détermine les spécifications de la couche MAC et des couches physiques des réseaux sans fil.

Les performances d'un réseau IEEE 802.11 sont, avant tout, liées au canal de transmission radio. Ceci est caractérisé par une forte atténuation du signal dans le médium, les réflexions multiples sur différents obstacles, le bruit du canal et les interférences diverses. En combinant ces différentes propriétés du canal radio, on obtient un médium très hostile. Pour cela, les trames

---

sont perturbées et quand elles arrivent à la destination, elles sont erronées. Les stations sont obligées d'attendre le temps de transmission de la trame de données, plus un temps IFS (Inter Frame Spacing).

Dans un réseau 802.11, la perte de paquets peut être causée soit par une collision (deux stations qui essaient de transmettre au même temps), soit par des erreurs introduites par le canal. Dans ces cas, le protocole CSMA/CA stipule que si une station émettrice ne reçoit pas un acquittement (ACK) au bout d'un certain temps (ACK-Time-Out), le paquet envoyé est considéré comme perdu et une procédure de retransmission doit être initialisée.

L'algorithme augmente la fenêtre de contention lors d'une nouvelle tentative de retransmission. Sous l'hypothèse que le canal de transmission est parfait et les pertes sont seulement dues aux collisions. Or, cette hypothèse n'est pas valable dans un réseau sans fil, car l'environnement radio influe considérablement sur la qualité du signal de transmission. Donc les paquets sont perdus à cause des erreurs de transmission et par conséquent, la fenêtre de contention est doublée pour la prochaine tentative de transmission, ce qui engendre une latence additionnelle.

Aussi, la dégradation des performances du protocole IEEE est proportionnelle à la taille de la trame de données émise. Afin de palier à ces problèmes, on a souvent recours à utiliser des paquets relativement courts (fragments), à des mécanismes de correction (FCS) ou à des retransmissions des paquets erronés. Ceci améliore considérablement la fiabilité du canal radio, avec un taux d'erreurs par paquet acceptable.

Dans ce projet de fin de cycle, notre objectif est de proposer une amélioration au mécanisme de fragmentation en utilisant le mode RTS/CTS. Ce mécanisme doit pouvoir distinguer les raisons de perte d'un fragment, pour que la fenêtre de contention CW ne soit doublée que s'il s'agit d'une collision, autrement si la station gagne l'accès au canal, elle persistera la transmission jusqu'à ce que le fragment soit transmis avec succès, ou le nombre maximum de retransmissions défini par le standard est atteint.

## **Organisation du document**

Notre mémoire est organisé comme suit :

Dans le premier chapitre, nous introduisons le concept des réseaux sans fil, en donnant dans un premier temps ses différentes technologies ainsi que ses modes de fonctionnement. Dans un second temps, nous présentons les différentes techniques de transmission sans fil et les problématiques liées à ces transmissions.

---

Le deuxième chapitre sera consacré à la description du standard IEEE 802.11, en détaillant les différents mécanismes permettant d'assurer la transmission des paquets de données.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons quelques travaux d'évaluation des performances du protocole IEEE 802.11, ainsi que les problèmes rencontrés dans le standard 802.11. Nous donnerons ensuite notre proposition pour pallier à ces problèmes.

Dans le dernier chapitre, nous allons analyser et comparer les performances du nouveau mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS proposé dans un environnement bruité par rapport à la fragmentation avec et sans RTS/CTS du standard IEEE 802.11.

# Généralités sur les réseaux *sans fil*

## 1.1 Introduction

Les technologies de communication sans fil ont connu ces dernières années un essor spectaculaire. Leur succès est pour l'essentiel dû à la vulgarisation des équipements mobiles à faibles coûts, à la commercialisation réussie et à la multiplication des services offerts. Ces derniers sont puissants, en terme de capacité de traitement et de stockage, et dotés de batteries leur garantissant une durée d'autonomie relativement longue. Ils peuvent également offrir une large gamme de fonctionnalités aux usagers, parmi elles, figurent les services de connexion [5].

Dans ce chapitre, nous allons d'abord introduire le concept de réseau sans fil, par la suite nous présenterons ses différentes technologies et ses modes de fonctionnement. Nous citerons ensuite les techniques de transmission sans fil ainsi que les problématiques liées à ces transmissions. Nous terminerons enfin par une conclusion.

## 1.2 Définition d'un réseau sans fil

Un réseau sans fil (*Wireless network*) est un réseau dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaison filaire. Les réseaux sans fil sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (radio et infrarouge) en lieu et place des câbles habituels, ils permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelque kilomètres. Ces réseaux sensibles aux interférences, sont soumis à une réglementation qui définit des plages de fréquences et les puissances auxquelles il est possible d'émettre pour chaque catégorie d'utilisation.

### 1.3 Technologie des réseaux sans fil

Dans cette section, nous allons donner une vue d'ensemble des réseaux de communication sans fil. Une classification suivant la portée de communication des différentes technologies ainsi que les différents modes de fonctionnement seront présentés [3].

Ces technologies peuvent être classées en cinq parties :

- Les réseaux corporels sans fil : WBAN.[18]
- Les réseaux personnels sans fil : WPAN.
- Les réseaux locaux sans fil : WLAN.
- Les réseaux métropolitains sans fil : WMAN.
- Les larges réseaux sans fil : WWAN.

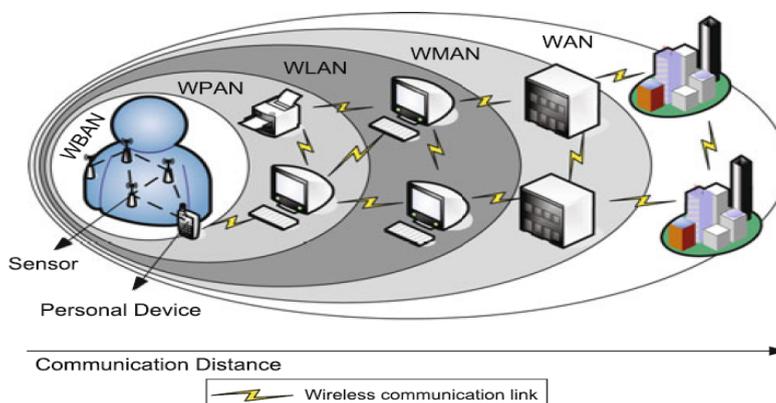


FIGURE 1.1 – Catégories des réseaux sans fil

#### I.3.1. Réseaux corporels sans fil (WBAN)

Le réseau corporel sans fil (WBAN, *Wireless Body Area Network*) est implanté à l'intérieur du corps du patient. Ce réseau gère les paramètres vitaux du corps humain et il est constitué d'un ensemble de composants communicants avec des technologies sans fil (Bluetooth, ZigBee). Ces composants consistent en un ensemble de capteurs reliés entre eux et connectés à un appareil de retransmission appelé noeud-maître. Celui-ci transmet les données collectées par l'ensemble des capteurs vers un serveur central situé dans un hôpital ou auprès du médecin traitant, via une liaison ADSL, par exemple. Une telle plate-forme combine plusieurs technologies sans fil et les données des patients seront transmises d'une manière sécurisée vers le serveur central.

### 1.3.2. Réseaux personnels sans fil (WPAN)

Le réseau personnel sans fil appelé également réseau individuel sans fil ou réseau domestique sans fil ( WPAN *Wireless Personal Area Network*) concerne les réseaux sans fil d'une faible portée : de l'ordre de quelque dizaines de mètres.

Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques,...) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans liaison filaire ou bien à permettre la liaison sans fil entre deux machines très peu distantes. Il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN.

- **Bluetooth** : Lancé par Ericsson en 1994, Bluetooth propose un débit théorique de 1Mbps pour une portée maximale d'une trentaine de mètres. Bluetooth, connu aussi sous le nom IEEE 802.15.1, possède l'avantage d'être très peu gourmande en énergie, ce qui le rend particulièrement adaptée à une utilisation au sein de petits périphériques.
- **HomeRF** : HomeRF (pour *Home Radio Frequency*), a été lancé en 1998 par HomeRF Working Group( formé notamment par les constructeurs Compaq, HP, Intel,Siemens,Motorola et Microsoft). Elle propose un débit théorique de 10 Mbps avec une portée d'environ 50 à 100 mètres sans amplificateur. La norme HomeRF soutenue notamment par Intel, a été abandonnée en Janvier 2003, car les fondateurs de processeurs sont mis désormais sur les techniques Wi-Fi.
- **ZigBee** : Se base sur le standard IEEE 802.15.4, permet d'obtenir des liaisons sans fil à très bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégrée dans de petits appareils électroniques (appareils électroménagers, jouets,...), la technologie ZigBee opérant sur la bande de fréquence de 2,4GHz et sur 16 canaux, permet d'obtenir des débits pouvant atteindre 250 Kbps avec une portée maximale de 100 mètres environ.
- **Infrarouge** : Elle permet de créer des liaisons sans fil de quelque mètres avec des débits pouvant monter à quelque mégabits par seconde à des coûts relativement faibles. Cette technologie convient aux réseaux à faible portée. De plus, les bandes passantes disponibles sont très larges et non réglementées. Les infrarouges pénètrent à travers le verre, mais pas à travers les murs ou tout obstacle opaque, donc les communications se font dans la même pièce ; ceci facilite la sécurité.

### I.3.3. Réseaux locaux sans fil (WLAN)

Le réseau local sans fil (WLAN, *Wireless Local Area Network*) est principalement constitué des normes IEEE 802.11x. Ce type de réseau permet de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Il existe plusieurs technologies concurrentes comme [19] :

- **Wi-Fi (802.11)** : Soutenu par l'alliance WECA, (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) elle offre des débits allant jusqu'à 54 Mbps sur une distance de plusieurs centaines de mètres.
- **HyperLAN** : (*High Performance Radio LAN*) Est une norme européenne élaborée par l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Elle est développée pour les réseaux locaux sans fil totalement ad hoc, Opérant avec un débit théorique maximum de 23,5 Mb/s dans une bande passante dédiée comprise entre 5,1 GHz et 5,3 GHz, cette norme a proposé deux versions : HyperLAN1 et HyperLAN2.

### I.3.4. Réseaux métropolitains sans fil (WMAN)

Le réseau métropolitain sans fil (WMAN, *wireless Metropolitan Area Network*) est connu sous le nom de boucle locale radio (*BLR*). Il est basé sur la norme IEEE 802.16.

La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunications.

La norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue est le WiMAX, permettant d'obtenir des débits de l'ordre de 70 Mbit/s sur un rayon de plusieurs kilomètres.

### I.3.5. Réseaux étendus sans fil (WWAN)

Le réseau étendu sans fil (WWAN, *Wireless Wide Area Network*) est également connu sous le nom de réseau cellulaire mobile. Il s'agit des réseaux sans fil les plus répandus puisque tous les téléphones mobiles sont connectés à un réseau étendu sans fil. Les principales technologies sont GSM (*Global System for Mobile Communication* ou *group Special mobile*), GPRS (*General Packet Radio Service*) et UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*).

## 1.4 Modes de fonctionnement des réseaux sans fil

Les réseaux sans fil sont conçus pour fonctionner en deux modes. Le premier s'agit bien d'un schéma centralisé qui gère toutes les communications entre les noeuds du réseau. Alors que le deuxième est totalement distribué (auto-organisé), où chaque noeud joue le rôle d'un émetteur et d'un routeur.

Dans ce paragraphe, nous allons donner une description de ces deux modes de fonctionnement avec quelques une de leurs spécificités.

#### I.4.1. Réseaux sans fil avec infrastructure

Les réseaux sans fil avec infrastructure sont également appelés réseaux cellulaires se composent de deux types de terminaux : les stations de base ou points d'accès et les terminaux mobiles ou noeuds mobiles (voir la figure 1.2). Les points d'accès sont des terminaux fixes reliés en général à une source d'énergie illimitée et chargés de relayer les informations qui circulent dans leur cellule. Ils jouent le rôle de serveur pour chaque terminal mobile présent dans la cellule. Les terminaux mobiles se déplacent librement mais ne communiquent jamais directement les uns avec les autres. Toutes les communications se font systématiquement vers le point d'accès le plus proche qui se charge ensuite de les relayer à la destination.

Les réseaux sans fil avec infrastructure sont souvent retenus pour leur simplicité d'administration. En effet comme les points d'accès sont fixes et n'ont pas de problème d'énergie, la topologie du réseau demeure dans l'ensemble assez stable.

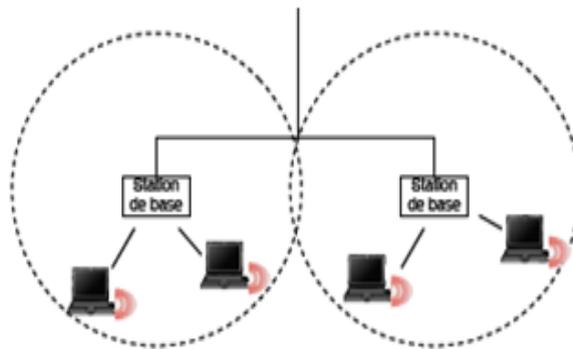


FIGURE 1.2 – Exemple de réseau sans fil avec infrastructure

#### I.4.2. Réseaux sans fil sans infrastructure (Ad Hoc)

les réseaux sans fil sans infrastructure sont également appelés réseaux *Ad Hoc* se composent d'un ensemble de noeuds mobiles communiquant entre eux sans fil et sans infrastructure (voir Figure 1.3). Dans un tel réseau, les mobiles sont dynamiquement et arbitrairement éparpillés d'une manière où l'interconnexion peut changer à tout moment.[2]

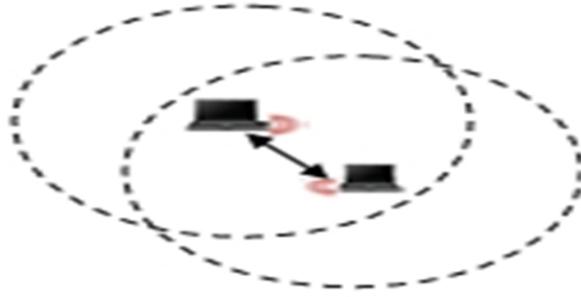


FIGURE 1.3 – Exemple de réseau sans fil sans infrastructure

## 1.5 Communications dans un réseau sans fil

### I.5.1. Techniques de transmission sans fil

Deux différents médias peuvent être utilisés : les liaisons infrarouges et les radiofréquences. Les liaisons infrarouges sont utilisées dans les communications courtes et en vue. Les ondes radio sont plus utilisées et offrent une meilleure pénétration des obstacles, des débits et des portées plus importants que les liaisons infrarouges [21].

- **Liaisons infrarouges** : Les systèmes infrarouges sont simples, peu réglementés et peu coûteux. Ce médium convient aux réseaux à faible portée. Les émetteurs et récepteurs à infrarouge sont capables de fournir des débits élevés à des coûts relativement faibles. De plus, les bandes passantes disponibles sont très larges et non réglementées. Les infrarouges pénètrent à travers le verre, mais pas à travers les murs ou tout obstacle opaque, donc les communications se font dans la même pièce ; ceci facilite la sécurité [21].
- **Radiofréquences** : Le principe est d'émettre des ondes électromagnétiques qui constituent la porteuse du signal à transmettre. Le spectre radio est découpé en bandes de fréquences divisées en canaux.

### I.5.2. Modèles de propagation

Trois modèles complémentaires existent et permettent de prédire avec une certaine probabilité la puissance du signal captée par un récepteur et ce, en connaissant quelques éléments géométriques ou propriétés simples du milieu de propagation [21].

- **Path loss (affaiblissement par la distance)** : Dans ce cas, la puissance du signal radio captée au niveau du récepteur est inversement proportionnelle à la distance dans l'espace libre.
- **Shadowing ou slow fading (masquage)** : Dans ce cas, en plus de l'affaiblissement par la distance, un affaiblissement probabiliste en fonction du milieu de propagation est introduit (contraintes liées aux obstacles).
- **Multipath fading ou fast fading (affaiblissement par multi-trajets)** : Il est lié au fait que l'onde émise peut emprunter plusieurs chemins avant de parvenir au récepteur qui reçoit alors plusieurs copies. L'affaiblissement y est également probabiliste et il est dû à des interférences entre les copies de l'onde reçue.

### I.5.3. Problématiques des transmissions sans fil

#### I.5.3.1. Puissance du signal radio

La puissance du signal radio est liée aux conditions de la couche physique du model OSI et dont la limite est fixée légalement et dépend de chaque pays [8]. Le signal reçu est différents du signal transmis étant données les dégradations (atténuation et modification) qu'il subit avant de parvenir à chaque station dans une zone géographique.

De plus la puissance mesurée est loin d'être constante et la zone de couverture est loin d'être circulaire [8].

#### I.5.3.2. Phénomènes du monde radio

La transmission d'un signal radio peut être fortement perturbée par l'environnement entre l'émetteur et le récepteur .

**Atténuation** : Une onde radio n'est pas envoyée à l'infini. Plus on s'éloigne de la source plus la qualité du signal diminuera. Le phénomène d'atténuation est dû à la dispersion spatial qui s'applique elle aussi à la lumière.

**Absorption** : Lorsqu'une onde radio rencontre un obstacle, son énergie se subdivise en trois parties : la première est absorbée et transformée en énergie, la deuxième continue à se propager de façon atténuée (affaiblie) et la troisième peut éventuellement être réfléchié. La vapeur d'eau (ou l'eau) et l'oxygène sont deux éléments intervenant fortement dans l'affaiblissement d'un

signal, en absorbant une partie de celui-ci [21].

**Réfraction** : Une onde électromagnétique traversant différents milieux change de direction et ce, proportionnellement à l'indice de réfraction (caractérise la vitesse de propagation de cette onde dans le milieu franchi) des milieux traversés (voir figure 1.4).

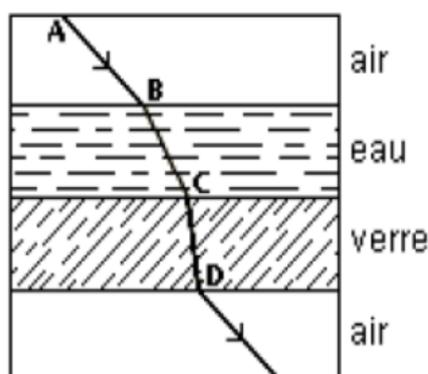


FIGURE 1.4 – Ondes radio traversant différents milieux

**Réflexion** : Lorsqu'une onde radio rencontre un obstacle, tout ou une partie de l'onde est réfléchi et repart dans le milieu de départ, avec perte de puissance (voir figure 1.5).

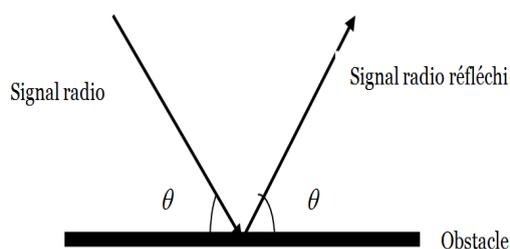


FIGURE 1.5 – Réflexion d'un signal radio

**Diffraction** : Elle se produit quand l'onde radio frappe le coin d'un obstacle plus grand que sa longueur d'onde. Des ondes se propagent alors dans différentes directions à partir de ce coin, provoquant ainsi une interférence entre l'onde directe de la source et l'onde réfléchi par l'obstacle (l'onde s'interfère elle-même).

**Transmission** : Elle caractérise le fait que l'onde radio, ou une partie de l'onde traverse la frontière d'un obstacle. En effet, une partie de l'onde sera réfléchiée, mais l'autre partie sera transmise.

### I.5.3.3. Propagation du signal radio

**En espace libre** : Dans un milieu sans obstacle, les signaux radios subissent un affaiblissement en fonction de la distance qu'ils parcourent.

**En environnement réel** : Certains phénomènes comme, la diffraction au passage des ouvertures, l'absorption par différents matériaux ou les réflexions contre les différents objets de l'environnement ont pour principal effet l'atténuation de la qualité du signal initial à la réception. La propagation en environnement complexe est communément approchée en considérant un affaiblissement en fonction de l'inverse de la distance à la puissance  $\alpha$  :

$$P_r = \frac{P_t}{d^\alpha}$$

$P_r$  est la puissance du signal à la réception,  $P_t$  est la puissance du signal de transmission et  $\alpha$  est une constante dépendante de l'environnement. Elle vaut 2 en espace libre, entre 2 et 5 en environnement urbain (Outdoor) et varie de 1.6 à 6 en intérieur (Indoor) [4].

### I.5.3.4. Bruits de l'environnement

En plus de l'affaiblissement qu'un signal subit, il est aussi perturbé par différentes source de bruit [21] :

**Bruit thermique** : Il est provoqué par la diaphonie, il s'agit d'un couplage perturbateur de trajets des signaux voisins.

**Bruit impulsif** : Il provient des perturbations extérieures comme la foudre.

### I.5.3.5. Interférences

Les interférences peuvent être causées par d'autres signaux émis simultanément avec le signal utile ou par un signal émis par un équipement électronique travaillant dans la même bande de fréquences.

## **1.6 Conclusion**

Ce chapitre a été consacré à la description générale des réseaux sans fil qui représentent le grand avantage d'avoir une extrême souplesse grâce à l'absence du câblage. Ainsi, nous avons mis l'accent sur les éléments de base qui constituent un réseau sans fil. Ce type de réseaux utilise les radiofréquences et des liaisons infrarouges pour la transmission des données qui sont à faibles bandes passantes. Ce qui les oblige à utiliser d'autres technologies que celles des réseaux filaires pour la gestion de la couche MAC et le codage ou le décodage des données. La technologie sans fil la plus utilisée est IEEE 802.11, la présentation de ce standard fera l'objet du chapitre suivant.

# Présentation du standard IEEE 802.11

## 2.1 Introduction

Le standard IEEE 802.11 et ses différentes extensions ont été conçus à l'origine, afin d'offrir un support de communication fiable, robuste et flexible pour bâtir des réseaux locaux sans fil WLAN (Wireless Local Area Network) administrés par une ou plusieurs stations de base. Grâce à son large déploiement et son faible coût, ce standard est devenu une solution incontournable dans le monde des réseaux sans fil.

Dans ce chapitre, nous présenterons d'abord le modèle OSI, puis nous décrivons en détail le standard IEEE 802.11, ensuite nous exposerons ses extensions les plus répandues et nous détaillerons plus particulièrement les différents mécanismes permettant d'assurer la transmission des paquets. Enfin, nous terminerons par une conclusion.

## 2.2 La famille IEEE 802 et le standard 802.11

Le 802.11 est issu de la famille 802, qui est une série de spécifications pour les réseaux locaux. La figure 2.1 montre la relation entre les différents composants de la famille 802 et leurs emplacements dans le modèle OSI [2].

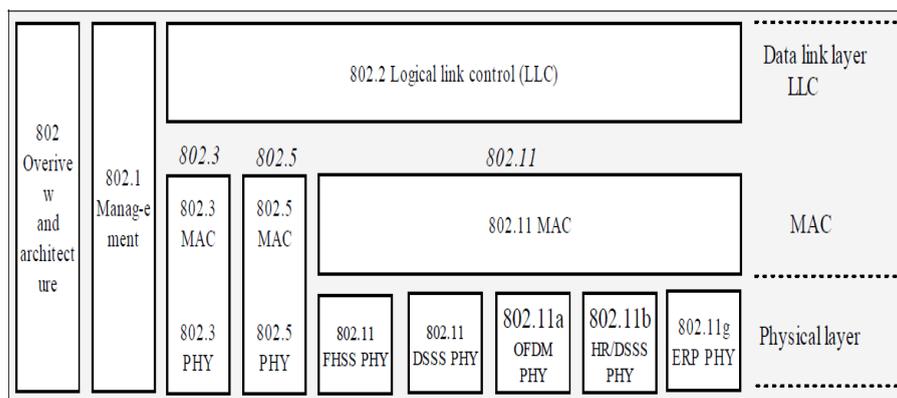


FIGURE 2.1 – Famille IEEE 802

## 2.3 Description du standard IEEE 802.11

C'est en 1997 que le groupe de travail 802.11 standardise, après plusieurs années de travaux d'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), sa définition des réseaux de type Wireless LAN. Ces spécifications couvrent les couches Physiques et Liaison de données du modèle OSI. Ce standard se décline désormais en plusieurs normes (802.11a, 802.11b,...) ayant des caractéristiques spécifiques.

### 2.3.1 Normes sans fil concurrentes à IEEE 802.11

Les principales normes sans fil concurrentes à IEEE 802.11 sont : HiperLAN-1, HiperLAN-2.

**HiperLAN-1** (*High Performance Local Area Network type 1*) : Cette norme a été conçue comme la version européenne de 802.11 par L'ETSI (*European Technical Standard Institute*). Elle décrit le fonctionnement d'équipements travaillant dans la bande des 5.15-5.30 GHz et permettant d'atteindre des débits de 23.5 mbps sur une distance d'environ 50 mètres. L'architecture d' HiperLAN-1 est de type décentralisé, il n'y a pas de notion de point d'accès. Cependant, commercialement HiperLAN-1 est resté à l'état de prototype et n'est jamais sorti des laboratoires de recherche.

**HiperLAN-2** : Cette norme est en concurrence directe avec 802.11, elle fonctionne sur la bande des 5GHz avec un débit de 54Mbits/s. Son architecture est de type centralisé avec un mode appelé réseau d'accès ressemblant au mode infrastructure Wi-Fi, où chaque terminal se rattache à un point d'accès et une architecture de type Ad-Hoc ; où une station appelée Central Controller (CC) devient le point d'accès.

### 2.3.2 Extensions de la norme IEEE 802.11

Actuellement au sein du 802.11 plusieurs groupes de travail ont été créés afin d'améliorer ou de proposer des nouveaux mécanismes régissant divers aspects. Des révisions donc ont été apportées à la norme originelle (avec un débit de 1 ou 2 Mbps) afin d'optimiser le débit (c'est le cas des normes 802.11 physiques à savoir les normes 802.11a, 802.11b, 802.11g) ou bien préciser des éléments afin d'assurer une meilleure sécurité ou une meilleure interopérabilité, les principales extensions proposées sont [2] :

**802.11 la version de 1999** : Elle remplace la bande de fréquences 900 MHz, utilisée en 1997, par la bande de fréquences libres ISM (*Industrial, Science and Medicine*) de 2.4 GHz. Elle peut atteindre un débit de 2 Mbit/s.

**802.11a** : Elle exploite la technique OFDM et opère dans la bande de fréquences U-NII (*Unlicensed National Information Infrastructure*) autour des 5 GHz. Elle autorise des débits allant jusqu'à 54 Mbit/s avec une portée n'excédant pas quelque dizaines de mètres.

**802.11b** : Elle propose des débits de 5.5 Mbit/s et de 11 Mbit/s en plus de ceux déjà supportés (1 Mbit/s et 2 Mbit/s), en utilisant la couche physique HR-DSSS. Elle est connue sous l'appellation Wi-Fi [21] (*Wireless Fidelity*). Elle est destinée à remplacer les cartes Ethernet (IEEE 802.3) qui sont utilisées dans les réseaux locaux câblés. Wi-Fi : c'est une certification délivrée par l'organisme WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) pour estampiller les produits 802.11b fabriqués par les différents constructeurs afin de garantir leur interopérabilité.

**802.11c** : Elle propose une modification de la norme 802.1d existante pour les réseaux filaires afin de la transposer à 802.11. Elle permet une normalisation de l'interconnexion de niveau 2 (pont) entre un réseau filaire et un réseau Wifi.

**802.11d** : Elle propose un protocole d'échange d'informations sur les fréquences et les puissances d'émission, en vue d'une utilisation dans chaque région du monde, quelque soit le pays d'origine du matériel.

**802.11e** : Elle vise à donner des possibilités en matière de qualité de service au niveau de la couche liaison de données. Ainsi, cette norme a pour but de définir les besoins des différents paquets, en termes de bande passante et de délai de transmission de manière à permettre une meilleure transmission de la voix et de la vidéo.

**802.11g** : Elle utilise la technologie OFDM, tout en restant dans la bande ISM afin de préserver la compatibilité avec 802.11b.

**802.11h** : Elle propose des améliorations pour pallier au futur problèmes de la sur-utilisation des fréquences dédiées à 802.11. Ce groupe de travail propose d'une part, une possibilité de sélection

dynamique de fréquence appelée DFS, qui permet de choisir le canal le moins perturbé et d'autre part, le contrôle de puissance TPC (Transmit Power Control), qui permet à l'émetteur de réduire sa puissance d'émission au minimum nécessaire.

**802.11i** : Elle améliore la première version du protocole de sécurité WEP de 802.11 et propose le standard dénommé Robust Security Networking. Sa principale contribution est d'empêcher l'intrusion d'utilisateurs indésirables sur le réseau.

**802.11n** : Elle a le but d'étendre le standard 802.11 pour atteindre un débit de 540 Mbit/s, tout en assurant une rétrocompatibilité avec les trois précédents amendements (a, b et g). Sa portée est d'une centaine de mètres, il utilise les deux bandes 2.4 et 5GHz.

**802.11x** : Elle assure la sécurité de divers médias, y compris le lien sans fil par le biais du mécanisme d'authentification fort et du serveur RADIUS avec une distribution dynamique des clés.

**802.11ac** : Cette extension est en cours de développement, elle permettra une connexion sans fil très haut débit de 1.3Gbit/s, elle utilise la bande de fréquence de 5GHz déjà exploitée par 802.11a, elle est mixée avec la plus récente norme 802.11n [27].

**802.11ad** : Elle est en cours de finalisation, elle permet des connexions sans fil très haut débit, elle exploite la bande de fréquence des 60 GHz et offre un débit théorique maximal de 7Gbit/s. Une valeur dix fois supérieure à ce qu'autorise en pratique la norme IEEE 802.11n.[28]

### 2.3.3 Architecture des réseaux 802.11

La norme 802.11 couvre les deux premières couches (basses) du modèle OSI, à savoir la couche physique (PHY), et la couche liaison de données qui est divisée en deux sous-couches : la sous couche MAC (*Medium Access Control*) et la sous couche LLC (*Logical Link Control*). La couche physique définit le mode de transmission des signaux et la couche liaison de données gère l'accès au support, l'adressage des paquets, le formatage des trames, ...etc. La couche MAC 802.11 offre des fonctions qui sont confiées aux protocoles supérieurs, comme la fragmentation et le réassemblage des trames, les retransmissions de paquet et les accusés de réception. En effet, dans un environnement de réseau local sans fil, il est nécessaire d'avoir des paquets de petites tailles, d'où l'obligation des fonctions de fragmentation et de réassemblage au niveau de la couche MAC.

La figure suivante illustre l'architecture du modèle proposé par le groupe de travail 802.11 comparée à celle du modèle OSI.

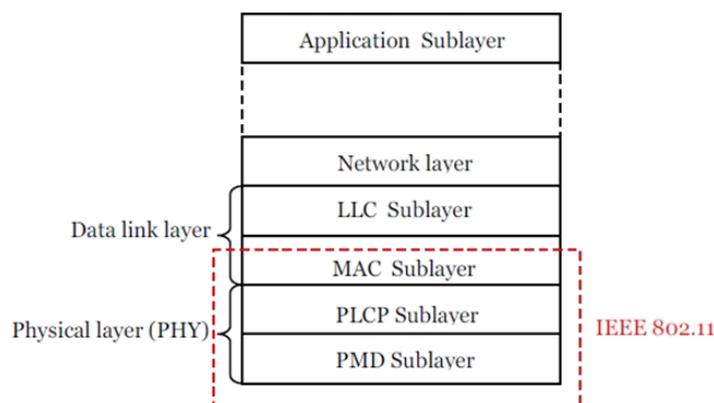


FIGURE 2.2 – Couches et sous-couches OSI définies par le 802.11

### 2.3.4 Couches physiques (PHYs) de l'IEEE 802.11

La couche physique est chargée de véhiculer le flux binaire depuis l'émetteur jusqu'au récepteur. Deux types de sous couches ont été définies [24] :

- **PLCP** (*Physical Layer Convergence Protocol*) : Qui écoute le support et indique ainsi à la couche MAC si le canal de transmission est libre ou non.
- **PMD** (*Physical Medium Depender*) : Qui garantit l'encodage des données. La norme de base spécifie quatre types de sous couches physiques, trois dans des 2.4 GHz (*FHSS*, *DSSS*, *HR/DSSS*) définites juste après.

Et une couche physique pour la bande des 5GHz : OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) seulement pour 802.11a [9]

**Couche FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) : Cette technique de transmission utilise le principe de sauts de fréquences : l'émetteur passe d'une fréquence à une autre à intervalle régulier selon une règle de saut et un rythme spécifique. Cette technique divise la bande ISM (Industrial Scientific and Medical) des 2.4 GHz en un certain nombre de canaux d'une largeur de 1 MHz, 75 canaux [8] ou 79 canaux [18]. Elle permet une allocation aléatoire d'une séquence de fréquences (voir Figure 2.3.A) pour multiplexer efficacement plusieurs transmissions.

Ainsi, le principe de cette technique est basé sur le fait que l'émetteur et le récepteur s'accordent sur le choix d'un modèle de sauts de fréquence, définissant la séquence de sauts de fréquence à réaliser afin d'envoyer les données successivement sur les différents sous-canaux. Ces modèles sont conçus de telle sorte que la probabilité que deux émetteurs utilisent le même sous-canal simultanément soit minimisée [22].

**Couche DSSS** (*Direct Sequence Spread Spectrum*) : Elle utilise la technique de transmission par étalement de spectre par séquence directe. Avec cette technique, la bande de fréquences ISM des 2.4 GHz est divisée en 14 canaux d'une largeur de 22 MHz se recouvrant partiellement, dont trois sont totalement disjoints (voir Figure 2.3.B).

Cette technique transmet une trame étalée (voir Figure 2.5) sur une porteuse à l'aide d'une modulation de phase. Elle utilise la modulation DBPSK (*Differentiate Binary Phase Shift Keying*) pour transmettre avec un débit de 1 Mbits/s et la modulation DQPSK (*Differentiate Quadrature Phase Shift Keying*) pour transmettre avec un débit de 2 Mbits/s [20].

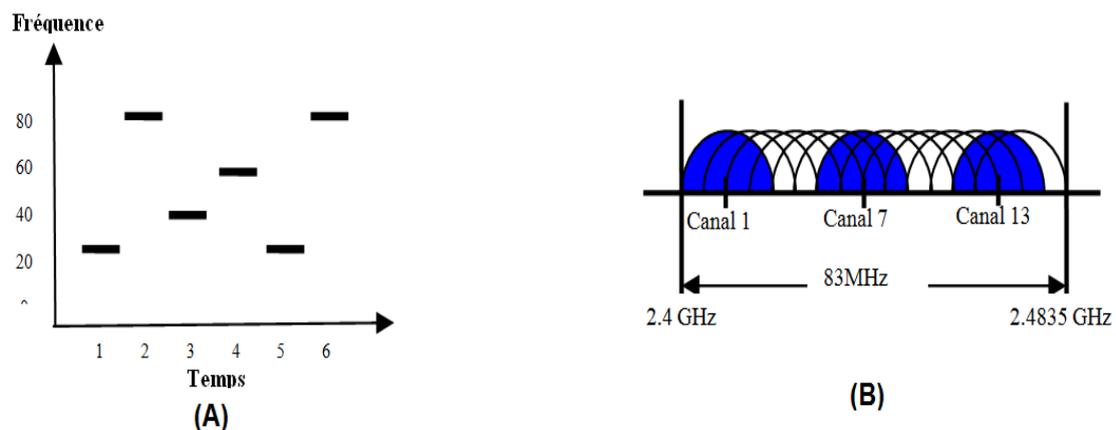


FIGURE 2.3 – (A) :Recouvrement des canaux dans ISM.(B) :Étalement de spectre par saut de fréquence

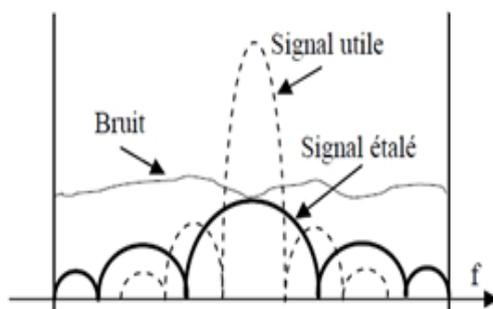


FIGURE 2.4 – Etalement du spectre par une séquence directe

**Couche HR-DSSS** (*High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*) : Elle exploite la technique de transmission par étalement de spectre à haut débit par séquence directe. C'est une extension de la couche DSSS qui ajoute la technique de modulation CCK (*Complementary Code Keyig*) [23] afin de supporter les débits de 5.5 Mbit/s et 11Mbit/s en plus de ceux déjà supportés par la couche DSSS, elle offre un débit allant jusqu'à 54 Mbit/s en utilisant une modulation de phase. [9].

**Couche OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) : La technique de multiplexage orthogonal par répartition de fréquences, divise le canal disponible en 12 canaux disjoints de 20 MHz (voir Figure 2.5). Elle offre un débit allant jusqu'à 54 Mbit/s en utilisant une modulation de phase.

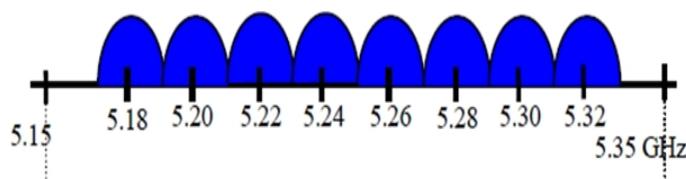


FIGURE 2.5 – Canaux définis par OFDM

**Couche MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*) : Elle s'appuie sur la technologie multi-antennes, elle permet d'augmenter le débit sur un seul canal en créant d'avantages des trajets hertziens pour la transmission des données sur chaque trajet. Grâce à des antennes d'émission et de réception multiples, chaque trajet peut véhiculer un ensemble différent de données sur la même fréquence. MIMO améliore la capacité du réseau en accélérant la transmission des données.

En principe, MIMO augmente le débit des données dans la proportion du nombre d'antennes

de transmission du fait que, chaque antenne porte un flux unique des symboles de données. Par conséquent, si le nombre d'antennes de transmission est  $M$  et le débit des données pour chaque flux est  $R$ , alors le débit total du système est  $M \cdot R$ .

Le tableau II.1 récapitule les principales caractéristiques des couches physiques les plus répandues commercialement [21].

Caractéristiques	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
<b>Fréquence</b>	5GHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4 GHz ou 5 GHz.
<b>Débit</b>	6, 9,12,18,24,36,48 ou 54Mbit/s	1,2,5.5 ou 11Mbit/s	1,2,5.5,6,9,11,12, 18,22,24,33, 36,48 ou 54 Mbit/s	100 ou . 540Mbit/s
<b>Modulation</b>	QPSK, 16QAM, 64QAM	DBPSK, DQPSK, CCK	BPSK, DBPSK, QPSK, DQPSK, CCK, 16 QAM64 QAM	QPSK, 16QAM 64QAM, SDM, STBC
<b>Débit basic</b>	(OFDM) 6 Mbit/s	(DSSS, IR et FHSS) 1 ou 2 Mbit/s	(OFDM et DSSS) 1, 2 ou 6 Mbit/s	(OFDM et MIMO). 100Mbit/s

TABLE 2.1 – Couches physiques du 802.11 commercialisées

### 2.3.5 Sous-couche de contrôle d'accès au médium (MAC) de l'IEEE 802.11

#### 2.3.5.1 Modes de fonctionnement du protocole MAC 802.11

La couche MAC de 802.11 peut utiliser deux modes de fonctionnement [10] :

**Mode DCF** (*Distributed Coordination Function*) : Ce mode de fonctionnement est le mode d'accès élémentaire au réseaux 802.11, il est utilisé à la fois pour les communications via une station de base et pour les communications directes de mobile à mobile [8]. Il fonctionne avec deux modes d'accès au médium : l'accès en mode basique (CSMA/CA) et celui en mode RTS/CTS.

**Mode PCF** (*Point Coordination Function*) : Est un mode dans lequel les stations de base ont la charge de la gestion d'accès au canal dans leur zone de couverture pour les stations mobiles qui leur sont rattachées [10].

### 2.3.5.2 Protocoles de la sous-couche MAC du 802.11

Le mode DCF est le mode d'accès de base de la sous couche MAC 802.11 qui utilise plusieurs techniques d'accès au médium pour résoudre la contention entre les différents émetteurs.

#### Algorithme BeB

BeB(*Binary Exponential Backoff*) est un algorithme exponentiel binaire qui a pour fonction de doubler la taille de la fenêtre de contention CW à chaque échec de transmission d'un paquet de données suivant une allure exponentielle (voir Figure 2.6). la valeur du Backoff est tirée au sort dans une plus grande fenêtre de contention afin de réduire la chance que les stations qui ont subi une collision prennent la même valeur de Backoff. Cette dernière est calculée à l'aide de la relation suivante :

$$BackoffTime = Random() * aSlotTime$$

Où : *BackoffTime* représente la valeur du Backoff.

*aSlotTime* représente la durée d'un slot de temps défini par la couche physique de la norme.

*Random()* est un nombre aléatoire choisi uniformément entre 0 et la taille de la fenêtre de contention CW.

L'augmentation de la taille de CW est bornée par la valeur *aCWmax*. Elle se stabilise sur cette valeur au bout de *nbEssaiMin* (nombre minimum de retransmissions). Si l'émission est toujours issue d'un échec au bout de *nbEssaisMax* (nombre maximum de retransmission), le paquet sera détruit et la station traite le paquet suivant dans sa file d'attente. Par contre, si la transmission est réussie la borne supérieure de la fenêtre CW est réinitialisée à la valeur initiale *aCWmin*.

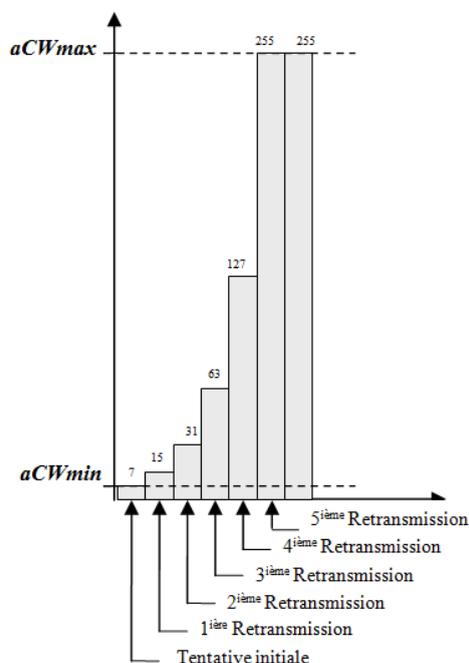


FIGURE 2.6 – Binary Exponential Backoff

### Protocole CSMA/CA

CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) est un mécanisme d'écoute de la porteuse à accès multiple avec évitement de collision. Le principe générale de CSMA/CA (fig 2.7) est, si une station souhaite émettre une trame, elle écoute le canal, si ce dernier est libre pendant un temps DIFS, alors la station peut émettre. Si le canal est occupé, la station défère sa transmission et continue à écouter le canal jusqu'à ce qu'il soit libre. Dès que le canal est libre pendant une durée égale à DIFS, la station génère une durée aléatoire supplémentaire " Backoff " avant la transmission. Ainsi, si plusieurs mobiles à portée de communication veulent émettre, il y a peu de chances pour qu'ils aient choisi la même durée. Celui qui a choisi le plus petit Backoff va commencer à émettre. Les autres, dès qu'ils détectent le regain d'activité sur le canal stoppent la décrémentation de leur Backoff et entrent en période de defering. Ils ne pourront reprendre leur décrémentation que si le canal redevient à nouveau libre pendant un DIFS.

Le temps après la période DIFS (*Backoff*) est divisé en slot de temps et une station peut transmettre seulement au début de chaque slot de temps [21]. Le slot de temps est défini comme, le temps nécessaire pour n'importe quelle station afin de détecter s'il ya une transmission d'une trame ou non de n'importe quelle autre station.

Bien que cette méthode permet d'éviter les collisions, il est cependant possible que deux stations parviennent à avoir la même valeur du Backoff et à émettre en même temps. Dans ce cas il y a une collision et la trame est perdue. A cause de la nature radio du canal, il est difficile de détecter des collisions au niveau de l'émetteur car son signal au moment de la transmission est beaucoup plus puissant que celui venant de n'importe quel autre mobile dans le réseau. Pour cela, CSMA/CA impose un accusé de réception ACK pour chaque paquet de données reçu correctement, sauf pour les trames diffusées du fait de l'impossibilité pour l'émetteur de recevoir plusieurs acquittements ACKs en même temps.

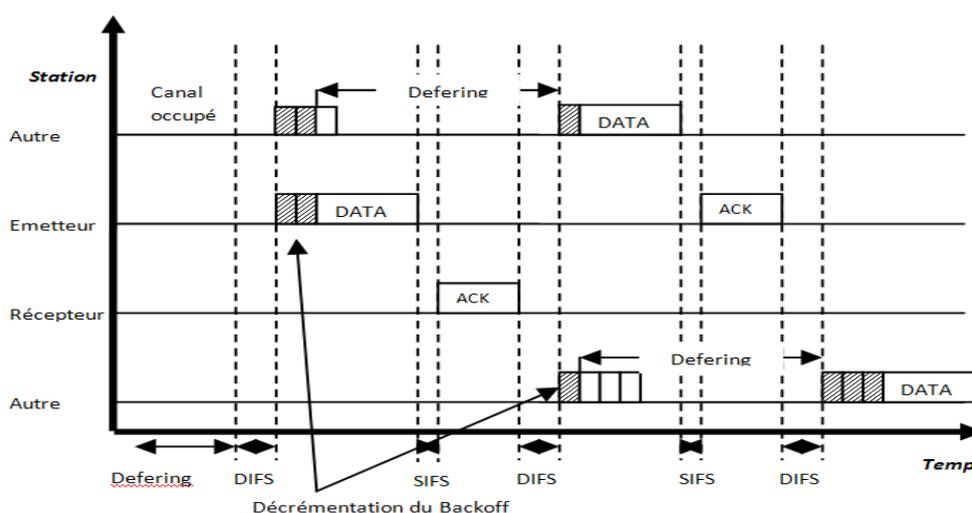


FIGURE 2.7 – Accès au médium en mode CSMA/CA.

### Mécanisme RTS/CTS

RTS/CTS (*Request To Send/Clear To Send*) est une technique de contrôle d'accès optionnelle par réservation du canal avec des paquets de contrôle RTS et CTS. Il est proposé pour résoudre le problème des stations cachées et protéger les paquets de données contre les collisions. Une station désirant émettre une trame de données, envoie au noeud destinataire une requête RTS (Request To Send) en lui demandant l'autorisation d'émission. RTS contient l'information de l'adresse de la destination ainsi que le champ de durée. A la réception de l'autorisation CTS, l'émetteur transmet sa trame de données (ou ses fragments).

S'il y a échec de transmission du RTS, du CTS ou absence d'accusé de réception, toute la procédure doit être reprise (voir Figure 2.8).

Afin d'améliorer le contrôle d'accès au canal avec le mode RTS/CTS, un autre mécanisme, NAV (*Network Allocation Vector* ou vecteur d'allocation), lui est ajouté. Les paquets RTS et CTS portent dans leurs champs une indication de la durée de transmission totale restante qui

représente le cycle de transmission en cours. De cette manière, les mobiles dans le voisinage qui reçoivent RTS ou CTS mettent leur NAV à la durée correspondante, et n'accèdent au canal qu'une fois le NAV est épuisé.

Comme les collisions ne peuvent se produire que sur les paquets RTS ou CTS, ce mécanisme fournit une excellente protection pour les trames de grande taille. En contre parti, RTS/CTS introduit un overhead (perte de bande passante) et un délai de transmission plus important. Pour remédier à cet inconvénient, l'utilisation du mode RTS/CTS est conditionnée par la taille de la trame de données qui doit dépasser un certain seuil, *RTS threshold*.

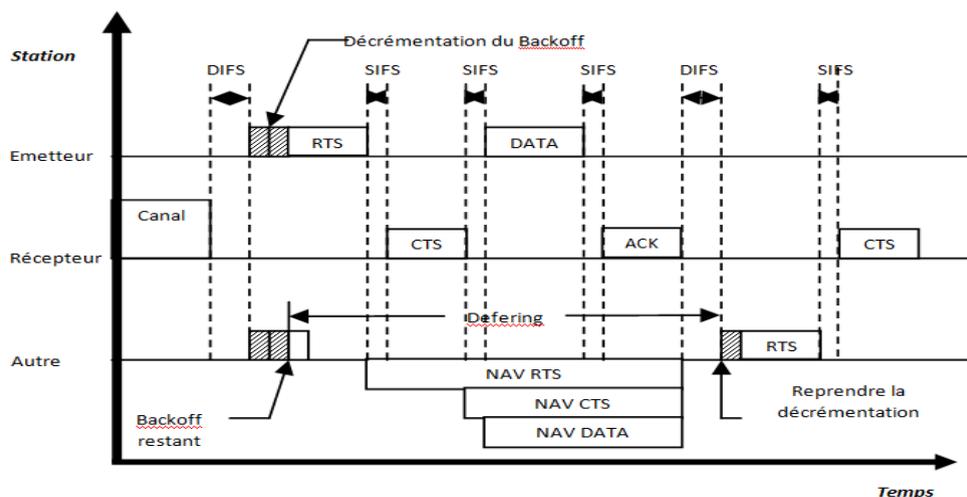


FIGURE 2.8 – Accès au médium en mode RTS/CTS.

### Mécanisme de fragmentation

Dans un environnement de réseau local sans fil, il y a plusieurs raisons qui justifient l'utilisation des trames plus petites [24] :

- A cause du taux d'erreurs sur les bits (*Bit Error Rate*) qui est plus important sur une liaison radio. La probabilité qu'une trame soit corrompue augmente avec sa taille.
- Dans le cas d'une trame perdue, plus la trame est petite, plus l'overhead engendré par sa transmission est petit.
- Dans un système à saut de fréquence, le canal est interrompu périodiquement pour ce changement de fréquence. Donc, plus la trame est petite, plus la chance d'avoir une transmission interrompue est faible.

Pour utiliser des trames de petite taille, le comité de standardisation a décidé de rajouter un mécanisme de fragmentation au niveau de la couche MAC.

Ce mécanisme consiste à diviser (fragmenter) une trame MAC en un ensemble de fragment (voir figure 2.9). Pour savoir si une trame doit être fragmentée, sa taille est comparée à un seuil dit " Fragmentation-Threshold ". Ce mécanisme se résume à un algorithme d'envoi et d'attente de résultat (voir figure 2.10), où la station émettrice n'est autorisée à transmettre un nouveau fragment tant qu'un des deux événements suivant n'est pas survenu :

1. Réception d'un ACK pour un fragment correspondant.
2. Décision que le fragment a atteint le nombre de retransmission, et abandon de celle-ci.

Les fragments d'une même trame sont envoyés et acquittés séparément d'une manière séquentielle, et seul une durée SIFS sépare deux séquences Fragment/ACK (voir Figure 2.10) afin de permettre à l'émetteur de ne libérer le canal qu'une fois l'envoi de tous ses fragments soit terminé. Dans le cas où un ACK n'est pas reçu, l'émetteur libère le canal et essaie d'y accéder à nouveau. Il recommence la transmission à partir du dernier fragment non acquitté. Enfin, si le mécanisme RTS/CTS est utilisé, seul le premier fragment envoyé utilise les paquets RTS/CTS (voir Figure 2.11).

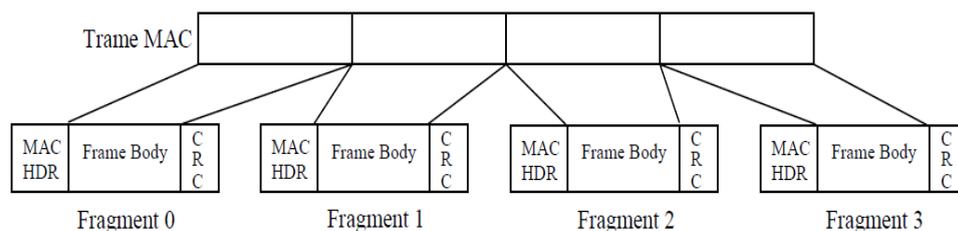


FIGURE 2.9 – Mécanisme de fragmentation.

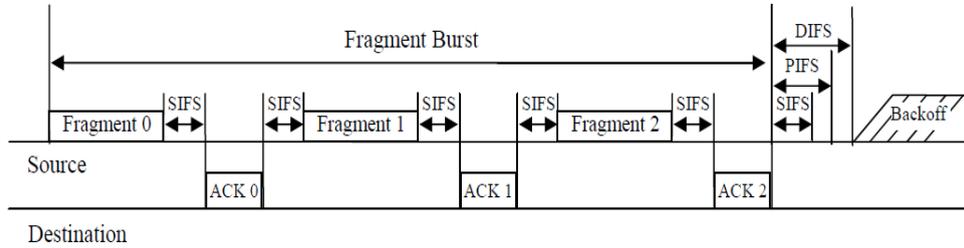


FIGURE 2.10 – Fragmentation dans le mode DCF basique.

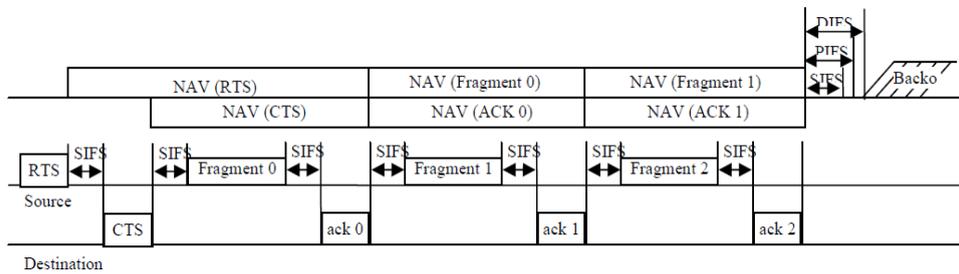


FIGURE 2.11 – Fragmentation dans le mode DCF avec RTS/CTS.

### Les intertrames IFSs :

L'accès au support est contrôlé par l'utilisation d'espaces, ou *Inter-Frame Spacing* (IFS), qui correspondent à l'intervalle entre la transmission de deux trames. Les intervalles *IFS* sont des périodes d'inactivités sur le support de transmission. Les différentes valeurs IFS sont calculées par la couche physique [2]. Le standard IEEE 802.11 définit quatre types d'IFS :

1. **SIFS** (*Short Inter-Frame Spacing*) : C'est la durée la plus courte. Elle est utilisée pour séparer les transmissions au sein d'un même dialogue (envoi de données, ACK, etc.).
2. **PIFS** (*Point coordination Inter-Frame Spacing*) : Elle est employée dans le mode d'accès PCF par le point d'accès AP pour gagner l'accès au canal radio avant tout autre mobile. Le PIFS correspond à la valeur du SIFS, auquel on ajoute un temps. Le PIFS est calculé de la façon suivante :

$$PIFS = SIFS + aSlotTime$$

3. **DIFS** (*Distributed Inter-Frame Spacing*) : Cette durée est plus longue que SIFS et PIFS, elle est utilisée lorsqu'une station veut commencer une nouvelle transmission. Elle est calculée comme suit :

$$DIFS = SIFS + 2 * aSlotTime$$

4. **EIFS** (*Extented Inter-Frame Spacing*) : Cette durée est utilisée si la couche PHY détecte une activité sur le canal qu'elle ne comprend pas. EIFS assure la transmission d'accusés de réception provenant d'autres mobiles.

C'est la durée la plus longue entre les IFSs. Elle est calculée comme suit :

$$EIFS = SIFS + ACKtime + DIFS$$

où : *ACKtime* représente le délai de transmission de l'accusé de réception ACK.

Si pendant le temps *EIFS*, le mobile concerné intercepte un signal qui peut décoder alors l'*EIFS* est interrompu et le mobile repasse au defering.

5. **AIFS** (*Arbitration Inter-Frame Spacing*) : Cette durée est utilisée dans 802.11e, elle remplace la durée DIFS du mode basique.

Les durées IFSs sont des éléments importants de l'évaluation de performance de 802.11 car leurs valeurs influent directement sur l'utilisation globale de la bande passante par les stations.

Paramètres	802.11a	802.11b	802.11b(DS)	802.11b(High Rate)
<b>A SlotTime</b> ( $\mu$ s)	9	50	20	20
<b>SIFS</b> ( $\mu$ s)	16	28	10	10
<b>PIFS</b> ( $\mu$ s)	25	88	30	30
<b>DIFS</b> ( $\mu$ s)	34	128	50	50
<b>EIFS</b> ( $\mu$ s)	9.6	396	364	268 ou 364
<b>aCW min</b> (SlotTime)	15	15	31	31
<b>aCWmax</b> (SlotTime)	1023	1023	1023	1023

TABLE 2.2 – Intertrames et CW des différentes couches physiques.

## 2.4 Norme IEEE 802.11e

Pour supporter la qualité de service, le groupe de travail "e" du standard 802.11 définit des améliorations de la couche MAC de 802.11 en introduisant une fonction de coordination hybride HCF. Ce dernier définit deux mécanismes d'accès au canal : accès avec contention nommé EDCA (*Enhanced Distributed Chanel Access*) et accès contrôlé nommé HCCA (*Hybrid Coordination Function Control channel Access*).

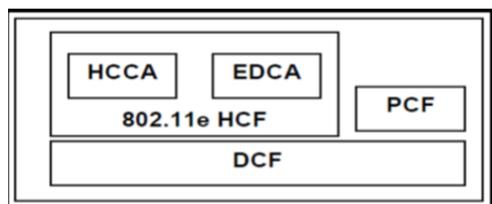


FIGURE 2.12 – Architecture de la norme 802.11e.

### 2.4.1 Méthode avec contention (EDCA)

Cette méthode est une amélioration du DCF, elle ajoute un système de priorité pour la gestion de l'accès au support. Ce dernier se fait alors selon le niveau de priorité de la trame. La couche MAC au niveau d'une station est formée de quatre files de transmission dont chacune fonctionne comme une entité de Backoff en mode DCF.

La norme IEEE **802.11e** a donc défini, au niveau MAC, quatre catégories d'accès (AC) relatives aux applications traitées dans les couches supérieures. Chaque catégorie du trafic constitue une file d'attente FIFO. Elles sont notées respectivement :

- **AC-VO** : pour les applications temps réels tel que la voix.
- **AC-VI** : pour les applications vidéo.
- **AC-BE** : pour le trafic " Best Effort ".
- **AC-BK** : pour le trafic Background.

Pour introduire la notion de différenciation entre les différentes AC, chaque catégorie de trafic possède son propre DIFS, on parle donc de AIFS. Ces catégories du trafic, gèrent huit niveaux de priorités allant de 0 à 7 relatives à la norme 802.11D. Les correspondances entre ces priorités et les catégories d'accès sont récapitulées aussi dans le tableau 2.3.

Par ailleurs, chaque AC est une variante améliorée du protocole DCF, qui rivalise pour l'obtention d'une opportunité de transmission ou transmission opportunity (TXOP) en utilisant un ensemble de paramètres d'accées au canal. Cet ensemble est préalablement définit par EDCA et contient les paramètres suivants :

- **La valeur minimale de la fenêtre de contention  $CW_{min} [AC]$**  : la valeur est différente pour chaque AC. Ainsi une petite valeur permet à une classe plus prioritaire d'obtenir plus de TXOP qu'une classe moins prioritaire.

Priorité	La priorité en 802.11D	Catégorie d'accès (AC)	Designation
lowest	1	AC[0]	Background
	2	AC[0]	Background
	0	AC[1]	Best effort
	3	AC[1]	Vidéo
	4	AC[2]	Vidéo
	5	AC[2]	Vidéo
Highets	6	AC[2]	Voix
	7	AC[3]	Voix

TABLE 2.3 – Table de correspondance entre type d'application et ACs.

- **La valeur maximale de la fenêtre de contention  $CW_{max}$  [AC]** : similairement à  $CW_{min}$ , cette valeur est définie pour chaque AC suivant sa priorité.
- **L'espace inter-paquet ou Arbitrary Inter Frame Space AIFS [AC]** : Chaque AC fait appel à la procédure de backoff après que le canal soit libre pour une période égale à AIFS [AC] plutôt que DIFS. La valeur du AIFS [AC] est calculée comme suit :

$$AIFS [AC] = SIFS + AIFSN [AC] * SlotTime$$

- **TXOPlimit[AC]** : Après qu'une station ait gagné un TXOP, elle est autorisée à transmettre consécutivement un nombre de paquets (burst de paquet) appartenant au même AC (voir figure 2.13). Le temps d'attente entre la réception d'un ACK pour un paquet  $i$  et un paquet  $i+1$  est SIFS. Le paramètre TXOPlimit dans ce cas spécifie la limite du nombre de paquet à transmettre dans ce burst. Il est à noter que ce paramètre est optionnel dans EDCA, et s'il n'est pas activé, alors chaque station est autorisée à transmettre un seul paquet à la fois [2].

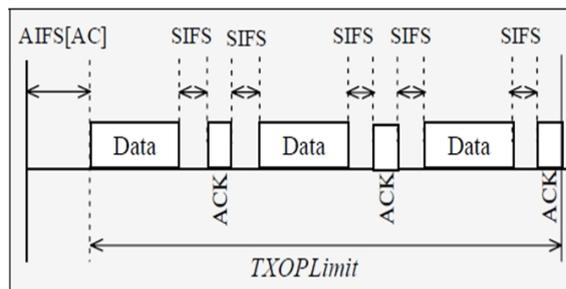


FIGURE 2.13 – Un burst de paquets contrôlé par TXOPlimit.

### 2.4.2 Méthode sans contention (HCCA)

Bien que EDCA améliore considérablement le mécanisme DCF, le mécanisme d'accès HCCA combine les avantages des modes DCF et PCF. Comme PCF, HCCA utilise une station centrale appelée HC (Hybrid Coordinator), généralement le point d'accès, qui a pour tâche de diriger le trafic. Avec HCCA, le TXOP est alloué par l'AP et peut-être actif à la fois dans la période sans contention (CFP), mais aussi dans la période avec contention (CP). En effet, il est possible de découper l'intervalle de temps CP en une nouvelle période sans contention appelée CAP qui utilise le mécanisme HCCA et une période avec contention qui utilise EDCA. Les périodes CAP sont utiles pour rendre indépendante la fréquence d'émission des balises (beacons) des contraintes de latence que peuvent avoir les applications multimédias. D'autre part, pour remédier au phénomène de désynchronisation des beacons qui se produit avec le mode PCF avec HCCA, une station n'est autorisée à émettre un paquet que dans la mesure où sa transmission ne gêne pas l'émission de la prochaine balise. Afin de garantir un service différencié, le mécanisme HCCA se base sur une négociation de trafic TSPEC entre le point d'accès et les stations. Avant de transmettre un flot qui nécessite une garantie de service, un circuit virtuel appelé TS doit s'établir entre l'AP et les différentes stations pour échanger certains paramètres (comme le débit du flot, la taille des paquets, la latence maximale acceptable, etc.). En fonction des paramètres TSPEC, un ordonnanceur localisé dans l'AP calcule une durée de TXOP pour chacune des stations [25].

## 2.5 Trames IEEE 802.11

Le standard 802.11 définit trois types de trames, chaque type est subdivisé à son tour en plusieurs sous types auxquels il assigne une fonction spécifique. Ces principaux types sont :

- **Les trames de données** : Utilisées pour la transmission des données ;
- **Les trames de contrôle** : Utilisées pour contrôler l'accès au médium (RTS, CTS et ACK) ;
- **Les trames de gestion** : Utilisées pour l'échange d'informations de gestion au niveau MAC.

Indépendamment du type et du sous type de la trame, celle-ci est formée de quatre Composantes (voir Figure 2.14) :

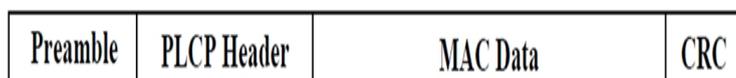


FIGURE 2.14 – Format général d'une trame 802.11

**Preamble** : C'est l'entête protocolaire de la sous couche physique PMD, nommée généralement PLCP Preamble. Elle définit deux champs : *Synch* (pour la synchronisation avec le récepteur) et *SED* (contient la durée de transmission de la trame de données).

**PLCP Header** : C'est l'entête protocolaire de la sous couche PLCP, envoyée toujours à 1 Mbit/s. Elle porte les informations indispensables pour la couche physique du récepteur afin qu'elle puisse décoder la trame. Elle est composée essentiellement des champs suivants :

**Length** (indique la taille de la trame), **Signal** (débit de transmission de la trame) et **CRC** (code de redondance cyclique).

**MAC Data** : La figure 2.15 montre le format d'une trame MAC. Elle est composée d'une entête protocolaire MAC, de données utile et un code de correction d'erreur.

**CRC** : C'est un champ codé sur 32 bits contenant le code de redondance cyclique.

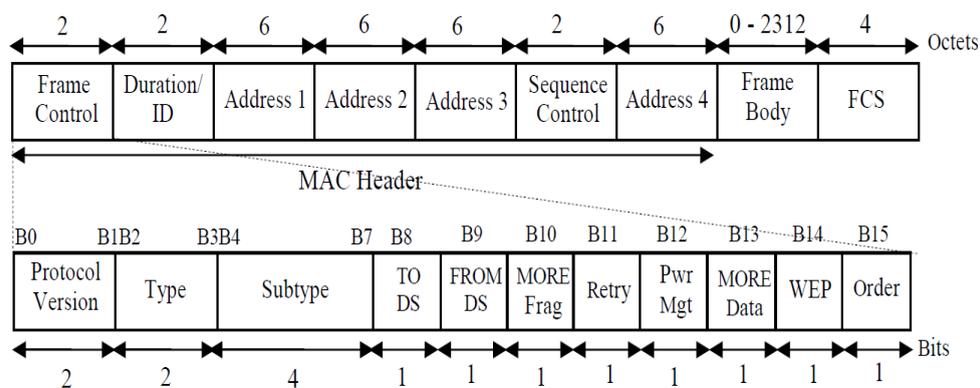


FIGURE 2.15 – Format d'une trame 802.11

Le format général des trames de contrôle RTS, CTS et ACK est décrit dans la figure 2.16 :

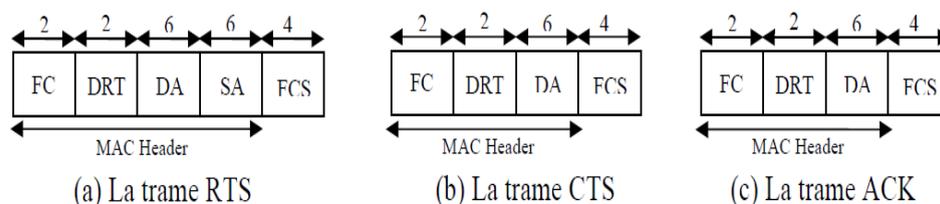


FIGURE 2.16 – Format des trames de contrôle du standard 802.11

dans Le tableau suivant on va donner une brève description des différents champs de la trame MAC.

Champs	Signification
<b>Protocol Version</b>	Indique la version de la norme (802.11b, 802.11a, etc.)
<b>Type, Subtype</b>	Identifier la fonction de la trame
<b>To DS, From DS</b>	To DS = 0 et From DS = 0 : mode ad hoc sinon mode infrastructure.
<b>More Frag</b>	More Frag = 1 : il y a encore au moins un fragment qui suit.
<b>Retry</b>	Retry = 1 : la trame en cours est une retransmission.
<b>Pwr Mgt</b>	Pwr Mgt = 1 : la station qui a émit la trame, elle va passer en mode veille.
<b>WEP</b>	WEP = 1 : le corps de la trame est crypté
<b>Duration</b>	Transmet les durées de réservations NAV(cas du mécanisme RTS/CTS).
<b>Address 1,2, 3 et 4</b>	Address 1 : adresse de la destination, Address 2 : adresse de la source (mode ad hoc).
<b>Frame Body</b>	Contient les données utiles dont la taille variée de 0 à 2312 octets.
<b>Sequence control</b>	Indique le numéro du fragment.
<b>FCS</b>	Détecte et contrôle les erreurs au moyen d'un CRC.

TABLE 2.4 – Différents champs de la trame MAC 802.11.

## **2.6 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux pré-requis nécessaires à notre travail, en donnant dans un premier temps, les différentes extensions qui ont été définies pour satisfaire les nouvelles exigences en termes de débit, portée et QoS. Dans un second, temps nous avons présenté l'architecture protocolaire de 802.11, ses différentes couches physiques et essentiellement le mode de fonctionnement DCF du standard IEEE 802.11, la sous couche MAC ainsi que les différents protocoles d'accès au médium de transmission, puis nous avons décrit les raisons d'utiliser l'opération de fragmentation dans un environnement de réseau local sans fil ainsi qu'une description du mécanisme de fragmentation.

Le mode DCF que procure le standard IEEE 802.11 en fait que cette norme est très répandue commercialement et dans le domaine de la recherche scientifique. Dès lors, l'analyse et l'évaluation des performances du mode DCF s'avèrent indispensables pour le dimensionnement et le déploiement réel des réseaux sans fil robustes et fiables. Le prochain chapitre fera l'objet d'une synthèse sur les principaux travaux récents d'évaluation des performances du protocole IEEE 802.11.

# Synthèse sur les travaux existants, problématique et proposition

## 3.1 Introduction

Dans la norme IEEE 802.11, le partage du canal sans fil entre les différentes stations mobiles conduit à la dégradation du débit global du canal suite aux perturbations subit par le signal lors de sa propagation. De ce fait depuis sa première publication en 1997, il y a beaucoup de travaux de recherche dans la littérature permettant une analyse des performances et d'amélioration de la norme IEEE 802.11.

Dans ce chapitre, nous présentons quelques travaux d'évaluation des performances du protocole IEEE 802.11, ainsi que les critiques liées à ces travaux. Ensuite, nous présenterons les motivations qui nous ont permis de définir l'orientation de notre projet.

## 3.2 Synthèse sur les travaux existants

Les travaux effectués sur l'étude du standard IEEE 802.11, aux quels nous nous sommes intéressés sont les suivants :

**A.KSENTINI (en 2005)[2]** : Dans cette thèse l'auteur a étudié les faiblesses du mécanisme DCF (les transmissions infructueuses et les slots time non utilisés résultant des collisions) ce qui induit à la dégradation des performances du réseau. Il a proposé un nouvel algorithme DCWA (*Determinist Contention Window Algorithm*) qui permet d'améliorer l'algorithme BeB dans le cas où le réseau est chargé.

L'algorithme DCWA que l'auteur a proposé fonctionne comme suit : Après une collision, l'algorithme BeB choisit une valeur du backoff timer qui peut être plus petite que celle choisit à l'étape précédente. Or la valeur du backoff timer doit augmenter après une collision afin de diminuer la probabilité de cette dernière. Pour traiter cette imperfection, l'auteur propose de choisir le backoff timer à partir d'un intervalle de sélection, où pour chaque étape de la contention les bornes de l'intervalle du backoff timer sont augmentées de manière à avoir différents intervalles qui ne se recouvrent pas.

La réinitialisation de la procédure de contention est comme suit : Contrairement à BeB, qui reprend la procédure de résolution de contention à partir de l'étape initiale, ici il propose de choisir une étape intermédiaire qui prend en compte la charge du réseau en utilisant une variable qui estime instantanément l'état de celui-ci ; afin de diminuer la probabilité de collisions dans le cas où le réseau est surchargé.

**A.GUEROUI, A.KSENTINI et M.NAIMI (en 2006)** [1] : Les auteurs ont étudié les faiblesses du standard IEEE 802.11 dans un environnement bruité, ensuite ils ont proposé un nouveau mécanisme d'échange basé sur les paquets RTS/CTS pour améliorer les performances du standard dans un tel environnement.

Les auteurs ont constaté que, pour améliorer les performances du standard IEEE 802.11 dans les environnements bruités, il faudrait éviter d'augmenter la valeur de la fenêtre de contention dans le cas de perte dû au canal. Pour cela il faut que les stations réussissent à faire la différence entre les causes de perte (collision ou bruit), ainsi ils ont proposé une version améliorée du mécanisme RTS/CTS. Dans cette version ils proposent d'adapter le mécanisme RTS/CTS au standard dans les environnements bruités, en lui associant deux propriétés. La première propriété est que les seuls paquets pouvant provoquer des collisions sont les paquets RTS/CTS, par contre les paquets de données sont envoyés avec une probabilité de collision =0, la deuxième propriété est que les paquets RTS/CTS sont épargnés des erreurs dues au canal et que seul les paquets de données sont susceptibles par ces erreurs.

Grâce aux deux propriétés citées précédemment, le mécanisme RTS/CTS peut être adapté à l'environnement bruité. Donc après un échange RTS/CTS, si un ACK d'un paquet de données n'est pas reçu (perdu à cause des erreurs du canal) le paquet va être retransmis en utilisant la même valeur de CW utilisée précédemment, plutôt que de l'augmenter comme proposé dans le standard. La valeur de CW sera augmentée seulement si un CTS n'est pas reçu après l'envoi d'un RTS.

**M.TOUMI (en 2006)** : [24] L'auteur a fourni en premier lieu, une analyse complète sur l'évaluation des performances du mécanisme DCF du standard 802.11 avec fragmentation, en utilisant un système d'attente M/G/1 en temps discret, pour modéliser les noeuds sans fil 802.11

et les fonctions génératrices des probabilités pour décrire la distribution du temps de service du DCF basique avec fragmentation. Il a proposé un modèle analytique qui prédit sous les conditions de saturation et non saturation, le débit, le temps moyen d'attente dans la file, la probabilité de perte du message, le temps de perte de message, la probabilité de transmission avec succès du message à l'étage  $i$ , le temps de transmission avec succès du message à l'étage  $i$  et le temps moyen de transmission. En deuxième lieu, il a validé les résultats analytiques par simulation sous NS2.28 sous les conditions de saturation. Il a supposé un réseau sans fil complètement relié avec  $n$  stations, un canal de transmission idéal et chaque station source produit des messages selon un processus de Poisson avec un taux d'arrivée  $\lambda$ .

**Wen-Tzu Chen (en 2007) [26]** : Dans cet article, l'auteur a proposé une méthode de résolution de collision hybride pour augmenter le débit et les performances d'équité.

Au lieu d'augmenter l'algorithme du backoff exponentiellement comme décrit dans le standard IEEE 802.11, il augmente l'algorithme du backoff de manière linéaire en fonction du nombre de noeuds concurrents. Après une transmission réussie, les stations passent à l'étape précédente au lieu de passer à l'étape initiale pour une nouvelle transmission. La proposition suppose que la station de base soit capable d'intercepter le nombre de mobiles dans sa zone de couverture, ainsi ce nombre peut être diffusé à l'ensemble des stations appartenant à cette zone. Ce mécanisme va leur permettre de réduire la probabilité de collision et le temps d'attente. L'auteur a simulé et a comparé ses résultats avec l'existant, ensuite il a montré que son modèle est précis pour prédire les collisions.

**L.ZIANE KHOUDJA et M.YAZID (en 2008) [21]** : Les auteurs ont analysé la dégradation des performances (débit effectif global et temps de réponse moyen) du protocole IEEE 802.11 mode ad hoc selon les paramètres PER, BER et la taille d'un paquet de donnée. Aussi ils ont évalué le mécanisme de fragmentation pour déterminer son apport sur la réduction d'influence des paramètres cités précédemment sur les performances de ce protocole.

Les auteurs ont proposé un modèle analytique du standard en mode DCF en prenant en compte le mécanisme de fragmentation et le taux d'erreurs par paquet, le modèle porte le nom 802.11-AMPERF (802.11 Analytical Model With Packet Error Rate and Fragmentation). Ils ont aussi développé un simulateur, où ils ont implémenté le mode DCF du protocole IEEE 802.11 et intégré le taux d'erreurs par bit. Le simulateur porte le nom 802.11-ANSRE (802.11 Ad hoc Network Simulator in a Radio Environment) , ce dernier leur a permis de comparer les résultats obtenus avec les résultats théoriques de Bianchi [14] et ceux de Lu-Valois [12] . A partir de cette comparaison, ils ont montré une diminution de l'utilisation de la bande passante et une augmentation importante des délais de transmission dans le cas où le taux d'erreurs par bit et/ou

la taille des paquets de données augmentent, ainsi l'utilisation du mécanisme de fragmentation avec le protocole CSMA/CA, permet un niveau d'amélioration considérable sur les performances du protocole.

**D.Leith, D.Malone, Qiang.Ni , T.Li, T.Turletti et Y.Xiao(en 2009)[11]** : Les auteurs ont proposé un schéma appelé AFR (Agregation with Fragment Retransmission), pour transmettre plusieurs paquets groupés dans une seule trame et de ne retransmettre que les fragments erronés dans le cas d'erreur. Puis, ils ont proposé un modèle analytique pour étudier le débit et les délais d'attentes dans le cas d'un canal bruité. Les auteurs ont proposé de :

- Minimiser le délai de transmission en utilisant le mécanisme zero-watting. Avec ce dernier, les temps inter-trames (DIFS, SIFS) et slot (Backoff) sont écartés. les données sont envoyées dès qu'une station gagne l'accès au canal de transmission.
- Introduire de nouveaux formats pour les trames ACK, MAC-Header et PHY-Header.

Le format générale d'une trame de données du schéma AFR est présenté sur La figure ci-dessous :

En plus de l'entête MAC du DCF, l'entête MAC du AFR possède trois champs : Fragment-

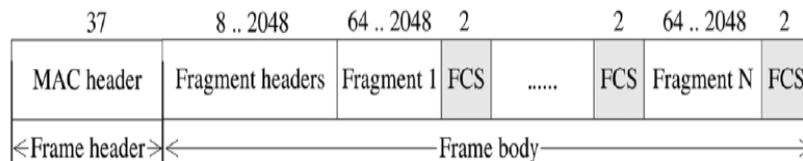


FIGURE 3.1 – Format d'une trame AFR.

size (représente la taille du fragment) et fragment-number (représente le nombre de fragment).

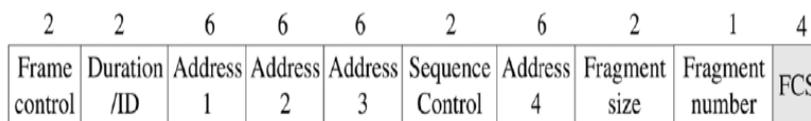


FIGURE 3.2 – Format d'un frame body.

Le frame body comporte un fragment headers, un fragment bodies et le FCS (séquences de contrôle de trame).

La section fragment Headers du frame body est d'une taille variable. Elle comprend de

1 à 256 fragments Headers, dont chacun est protégé par FCS. Le récepteur est capable de localiser tous les fragments d'une trame même si certains sont erronés durant la transmission, car la taille de chaque fragment Header est connue par l'émetteur et par le récepteur.

Chaque fragment header est composé de six champs : Packet ID, Packet Length, StartPos et Offset. Packet ID et Packet Length représentent l'identité et la taille du paquet auquel le fragment appartient, StartPos est ajouté pour enregistrer la position du fragment dans la trame et le champ Offset enregistre la position du fragment dans le paquet, comme présenté ci-dessus :

14 bits	12 bits	2	6 bits	2	.....	14 bits	12 bits	2	6 bits	2
Packet ID	Packet length	Start Pos	offset	FCS	.....	Packet ID	Packet length	Start Pos	offset	FCS

FIGURE 3.3 – Frmat d'un fragment header.

Le format de la trame ACK est aussi modifié avec l'ajout d'un champ bitmap de 32bits dont chaque bit est utilisé pour indiquer les fragments qui ont été bien reçus.

- Les auteurs ont développé un algorithme pour le récepteur qui lui permettra de détecter les trames et les fragments erronés, puis mettre les fragments erronés dans le champ bitmap d'ACK. Ensuite, l'envoyer à l'émetteur.

### 3.2.1 Etude critique sur les travaux existants

L'analyse des performances d'IEEE 802.11 a été abordée dans la littérature de plusieurs manières différentes. Les travaux existants améliorent les performances du protocole en utilisant trois approches différentes.

- **Approche basée sur l'agrégation des paquets fragmentés** : Ce dispositif permet d'agréger un burst de paquets à la fois, comme dans la proposition de Leith et al [11]. Avec cette dernière, la taille des trames est augmentée en rajoutant des champs à son format conduisant à une génération d'un délai élevé et d'un débit réduit. Aussi avec le mécanisme zero-waiting qu'ils ont utilisé la remise à zéro des circuits est ignorée, ce qui conduit au chevauchement des trames.
- **Approche basée sur la fragmentation des paquets** : La fragmentation réduit l'influence du PER, BER et la taille d'un paquet de donnée sur les performances du protocole, comme

démontré dans le modèle de ZIANE KHOUDJA et YAZID [21] mais ils n'ont pas pris en considération la charge du réseau et celui de TOUMI [24] qui a travaillé sous prétexte d'un canal parfait.

- **Approche basée sur l'adaptation de la fenêtre de contention** : Cette approche repose sur la modification du mécanisme de backoff de 802.11 et de RTS/CTS, comme dans la proposition de KSENTINI [2], Chen [26], GUEROUI et al [1]. Ces auteurs distinguent entre les pertes dues aux bruits de l'environnement et celles dues aux collisions dans le mode DCF, mais ils n'ont pas implémenté cela dans le mode DCF avec fragmentation.

Toutes ces approches n'ont pas pris en considération la difficulté d'accès au support de transmission, et libèrent le canal suite à une collision ou un bruit de l'environnement (transmission échouée), or il est indispensable de ne libérer le canal que dans un échec dû à une collision, car dans ce cas, il faut doubler la fenêtre de contention afin d'éviter des collisions futurs et tenter d'y accéder une nouvelle fois. Par contre, dans le cas d'un échec suite au bruit, on retransmet immédiatement en gardant la même fenêtre de contention, pour diminuer les délais d'attente.

### 3.2.2 Définitions

**BER (Taux d'erreurs par bit)** : C'est le taux d'erreurs mesuré à la réception numérique indiquant le niveau d'atténuation et/ou perturbation de la puissance du signal. Ces erreurs sont celles remontées à la couche MAC par les couches inférieures (PMD et PLCP), qui n'ont pas pu être corrigées, malgré la technique de codage et les auto-corrrections. Si le nombre d'erreurs est suffisamment faible pour autoriser la correction au niveau MAC, les données sont alors transmises avec succès sinon elles sont rejetées.

**PER (Taux d'erreurs par paquet)** : Il représente la proportion erronée dans un paquet de données. La formule suivante montre qu'il est en relation avec le BER et la taille des paquets de données :

$$PER = 1 - (1 - P_e^{PLCP}) * (1 - P_e^{payload})$$

$$P_e = 1 - (1 - BER)^L$$

Où  $P_e^{PLCP}$  et  $P_e^{payload}$  sont les probabilités d'erreurs pour le PLCP et la charge utile du paquet respectivement, L c'est la taille en bits de l'entête PLCP ou la charge utile du paquet de données.

### 3.3 Organigrammes du protocole MAC 802.11

Dans ce qui suit, on donnera le fonctionnement du standard IEEE 802.11 sous forme d'organigrammes dans le cas d'activation ou non du mécanisme RTS/CTS et/ou la fragmentation.

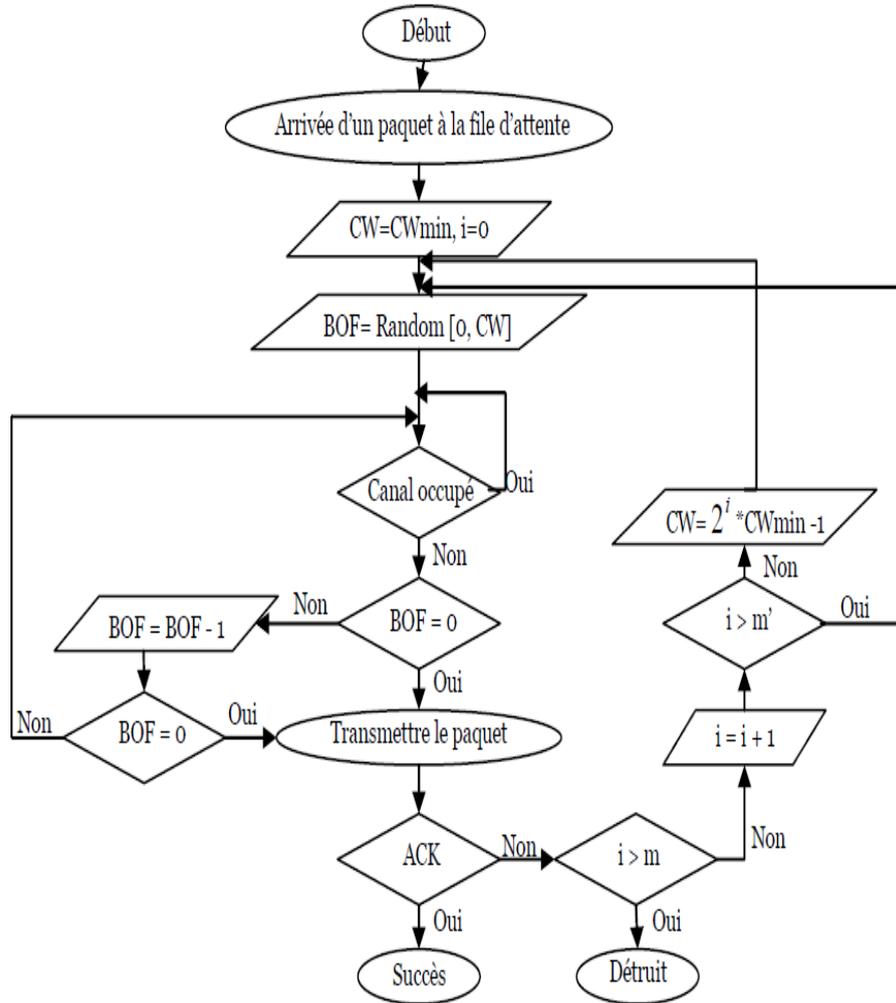


FIGURE 3.4 – Organigramme du protocole CSMA/CA.

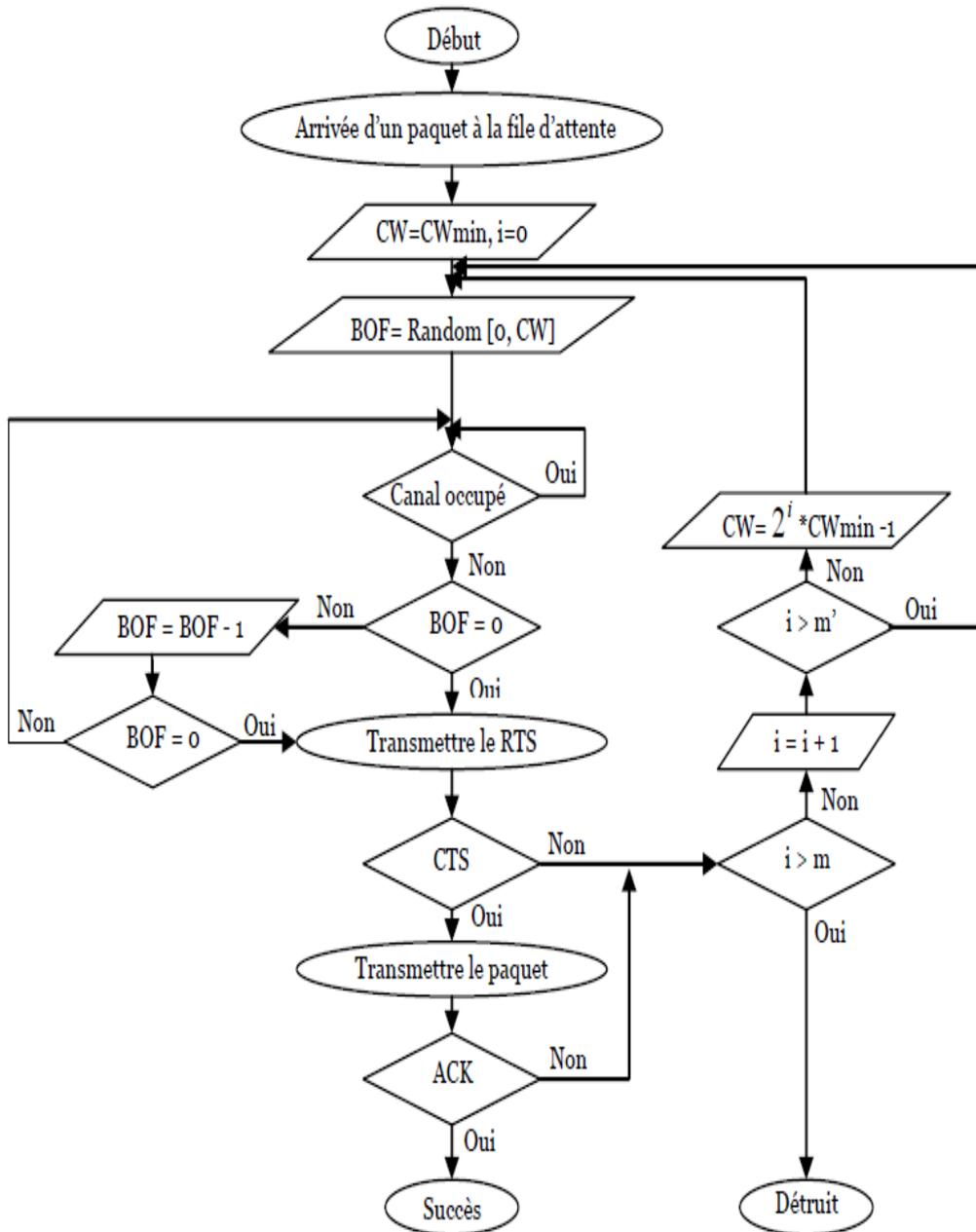


FIGURE 3.5 – Organigramme du protocole CSMA/CA avec RTS/CTS.

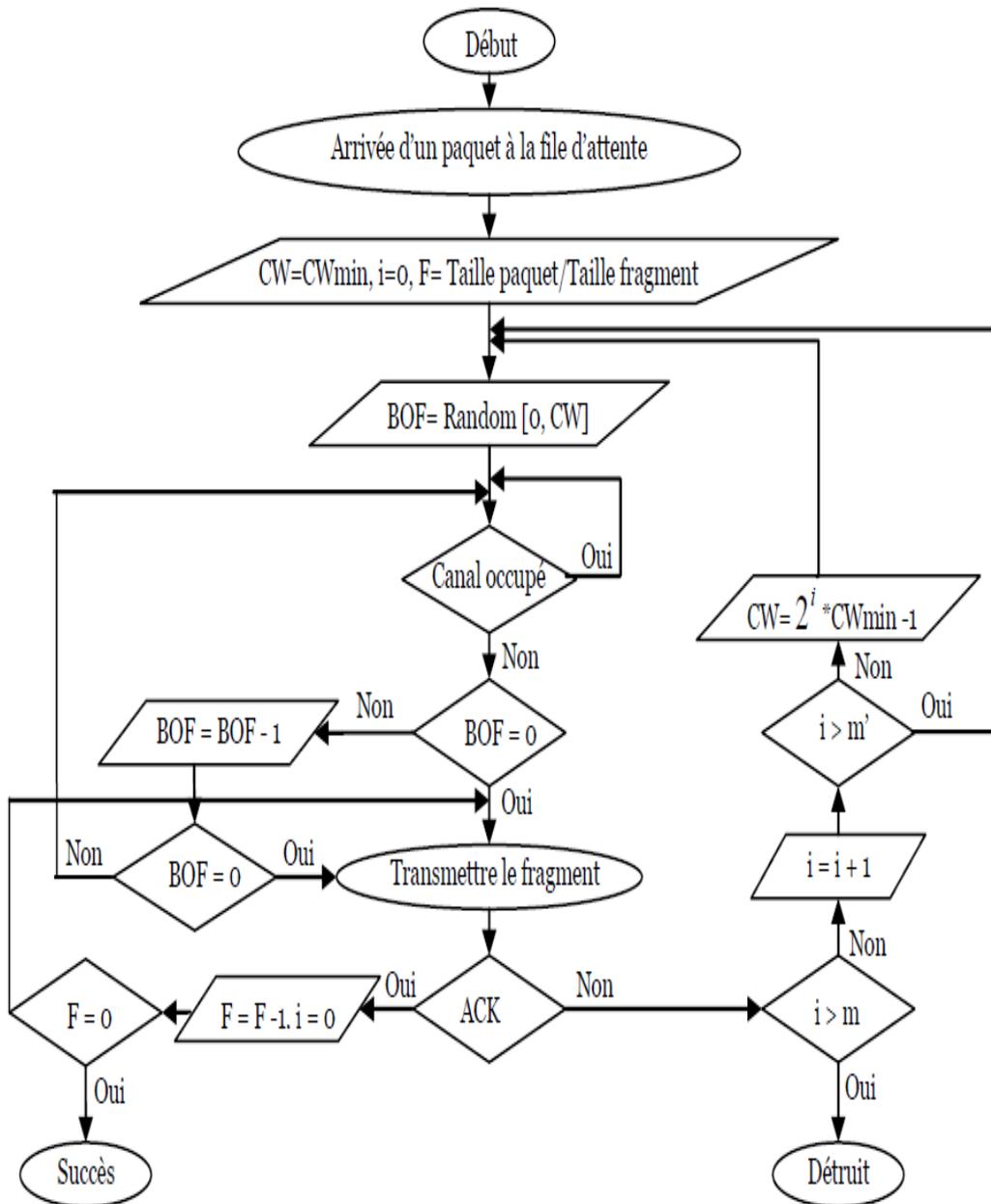


FIGURE 3.6 – Organigramme du protocole CSMA/CA avec Fragmentation.

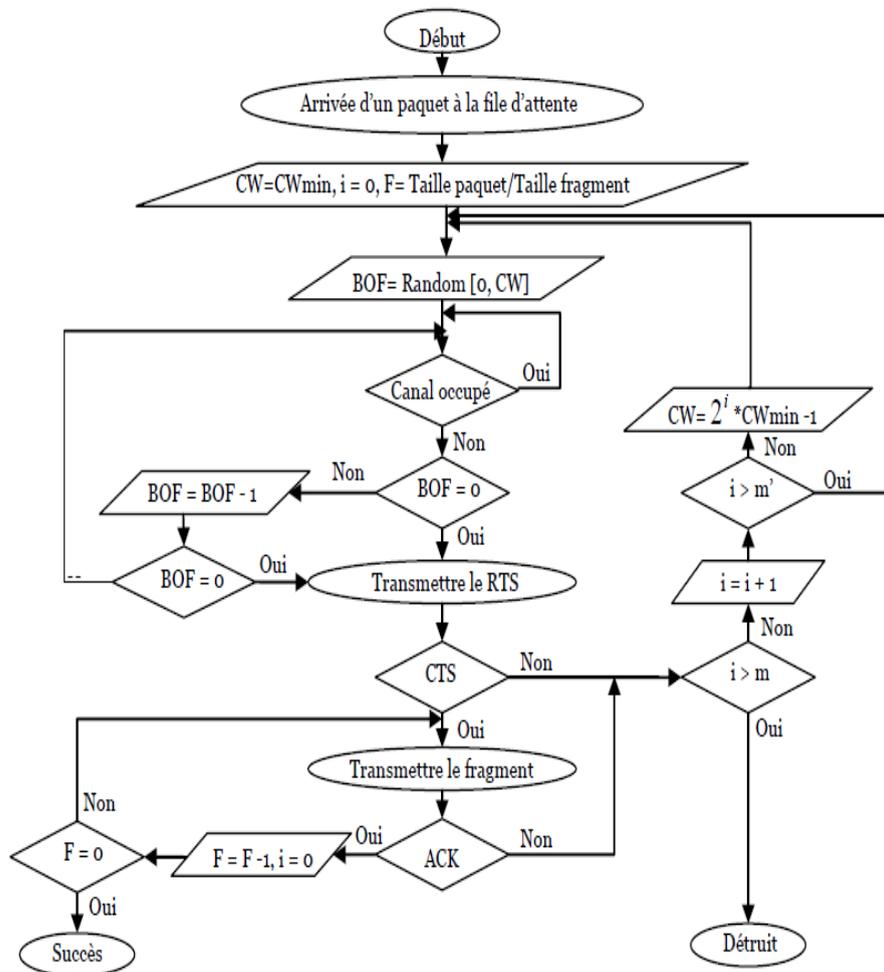


FIGURE 3.7 – Organigramme du protocole CSMA/CA avec Fragmentation et RTS/CTS.

### 3.4 Motivations

Dans un réseau 802.11, la perte du paquet de données peut être causée soit par une collision (deux stations qui essaient de transmettre au même temps), soit par des erreurs introduites par le canal de transmission.

Dans ces cas, le protocole CSMA/CA stipule que si une station émettrice ne reçoit pas un acquittement (ACK) au bout d'un certain temps (ACK-Time-Out), le paquet envoyé est considéré comme perdu et une procédure de retransmission doit être initialisée.

L'algorithme considère toute perte de paquet comme un résultat de collision et augmente la fenêtre de contention CW afin d'absorber la congestion dans le réseau. Or, ce comportement est inapproprié, car l'environnement radio affecte trop la qualité du signal de transmission. Ainsi le bruit peut perturber la transmission, donc il n'y a pas nécessité d'augmenter CW.

Quand le BER est élevé, le PER augmente ce qui permet d'engendrer des retransmissions ; cela signifie que l'occupation du canal pour la transmission précédente est inutile. Donc la probabilité qu'un paquet soit erroné quand sa taille est importante est élevée en présence du BER, d'où il est important d'utiliser la fragmentation pour diminuer la taille d'un paquet afin de réduire le risque de retransmission suite à une erreur.

La figure 3.8 montre la dégradation des performances du protocole 802.11 à cause des erreurs sur le paquet de données. Du fait que la probabilité d'erreur par paquet (PER) est en relation avec le taux d'erreurs par bit (BER) et la taille du paquet (L), nous allons montrer l'influence du BER et la taille du paquet sur le PER.

La figure ci-dessous montre la valeur du PER obtenue pour des paquets de données ayant des tailles différentes (12000bits, 4000bits) et pour les paquets RTS et CTS (160bits et 112bits).

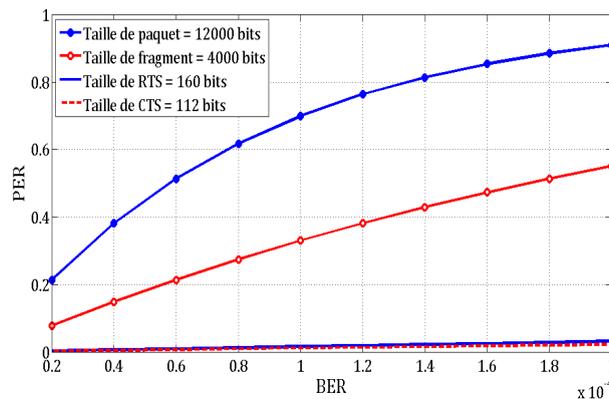


FIGURE 3.8 – PER Vs BER.

A partir de la figure 3.8, nous constatons que quelque soit la valeur du BER, la probabilité qu'un paquet RTS/CTS soit perdu est presque nulle. Alors que les paquets de données sont plus



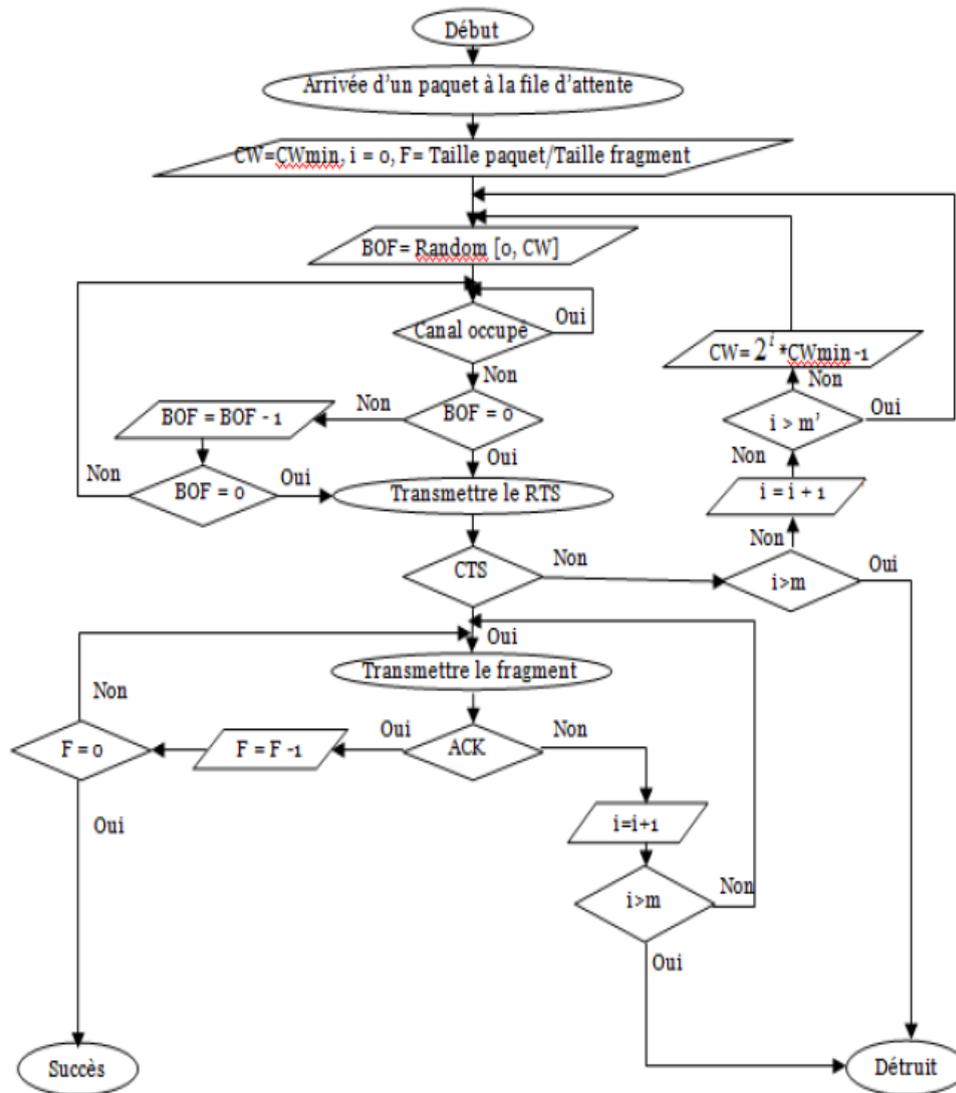


FIGURE 3.10 – Organigramme du mécanisme de Fragmentation Amélioré avec RTS/CTS

**N.B :**

CW : Représente la fenêtre de contention.

CWmin : Représente la fenêtre de contention initiale.

CWmax : Représente la fenêtre de contetion maximale.

F : C'est le nombre de fragments.

i : C'est le nombre de retransmission.

m : C'est le nombre de retransmission maximum (7).

m' : C'est l'étage de la contention.

BOF : Représente la valeur de Backoff.

### **3.6 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons réalisé une synthèse sur quelques travaux d'évaluation de la norme IEEE 802.11. Cette synthèse nous a permis de constater l'absence de travaux sur le mécanisme de fragmentation dans un environnement bruité. Puis nous avons donné quelques critiques concernant ces travaux, une motivation qui nous a permis d'orienter et d'extraire les problèmes du standard.

Cette étude nous a motivé pour introduire une amélioration au mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS, dans le but de remédier à ces problèmes et d'aboutir à des résultats satisfaisants afin d'améliorer les performances du protocole MAC 802.11 dans un environnement bruité.

# Simulation et Comparaison des Résultats

## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous utiliserons la simulation comme outil pour évaluer le mécanisme de fragmentation amélioré avec RTS/CTS, sous l'influence des paramètres de taux d'erreurs par bit (BER), de la taille du paquet de données et de la charge du réseau. Ceci permet de déterminer le niveau d'amélioration qu'elle procure pour réduire l'influence de ces paramètres sur les performances du protocole IEEE 802.11 dans un réseau bruité.

Dans un premier temps, nous définissons l'outil de simulation ainsi que les paramètres MAC et PHY qu'on a utilisés, ensuite nous donnons les métriques d'évaluation de performances qu'on a utilisées lors de la simulation, aussi nous décrivons les différents scénarios à analyser, enfin nous exposons et nous comparons les résultats obtenus.

## 4.2 Outils de simulation et logiciels

Afin d'évaluer les performances de notre proposition, nous avons opté pour le simulateur 802.11-ANSRE (802.11 Ad hoc Network Simulator in a Radio Environment) réalisé et validé dans [21]. Ce dernier implémente le mode DCF de la couche MAC 802.11 (CSMA/CA, BeB, RTS/CTS et fragmentation) et le modèle d'erreur pour l'environnement radio.

**Le simulateur 802.11-ANSRE permet de :**

- Simuler un réseau 802.11 complètement connecté avec un trafic saturé.
- Proposer à l'utilisateur une liste de cartes réseau 802.11.
- Offrir à l'utilisateur la possibilité d'introduire le scénario de simulation ainsi que les paramètres MAC et PHY.

- Donner à l'utilisateur le choix d'activation ou non des mécanismes RTS/CTS et/ou la fragmentation.
- Générer un fichier trace de simulation.
- Calculer les deux mesures de performances : débits effectif global et temps de succès moyen d'un paquet à partir du fichier trace.

Afin de comparer la fragmentation avec et sans RTS /CTS, et notre proposition nous avons implémenté un programme décrivant le fonctionnement de notre proposition dans le simulateur 802.11-ANSRE, en utilisant la programmation avec le langage C sous Linux [7]. Aussi, nous avons utilisé le logiciel Matlab 9 pour traduire les résultats de simulation sous forme de graphes

### 4.3 Paramètres MAC et PHY utilisés

Les paramètres MAC et PHY utilisés pour obtenir les résultats de simulation sont décrits dans le tableau ci-dessus [2] :

Paramètres DSSS PHY	Valeurs numériques
Temps de propagation du signal	1 $\mu$ s
DIFS	50 $\mu$ s
SIFS	10 $\mu$ s
Durée d'un slot vide	20 $\mu$ s
Débit de transmission des paquets de contrôle (RTS, CTS et ACK)	2 Mbits/s
Débit de transmission des paquets de données	11 Mbits/s
Débit de transmission de l'entête PHY	1 Mbits/s
Débit de transmission de l'entête MAC	2 Mbits/s
Taille minimale de la fenêtre de contention	32
Taille maximale de la fenêtre de contention	1024
Nombre maximum de retransmission	7
Taille de l'entête PHY	192 bits
Taille de l'entête MAC	34 octets
Taille de RTS	20 octets
Taille de CTS	14 octets
Taille de ACK	14 octets
Taille d'un fragment	512 octets
Taille maximale de la trame MAC	2312 octets

TABLE 4.1 – Paramètres de la couche PHY HR-DSSS et de la couche MAC 802.11.

## 4.4 Métriques d'évaluation de performances

Après chaque simulation, un fichier trace est généré. Ce type de fichier contient toutes les traces avec les événements résultants pendant le temps de simulation tels que les paquets émis, les paquets reçus et les paquets perdus ...etc. A partir de ce fichier, on extrait l'information nécessaire pour le calcul des métriques de performances.

Afin de comparer les performances du mécanisme de la fragmentation amélioré avec RTS/CTS et celles de la fragmentation avec et sans RTS/CTS standard, nous utiliserons les métriques suivantes :

### 4.4.1 Débit effectif global

Il représente le nombre de bits utiles transmis avec succès sur la durée compète de simulation  $T$ .

$$\text{Débit} = \frac{\text{Nombre de bits utiles transmis avec succès}}{T}$$

### 4.4.2 Délai moyen de transmission

C'est l'intervalle du temps où un paquet arrive à la couche MAC (début de service) jusqu'à ce qu'il soit transmis avec succès, sur le nombre de paquets transmis avec succès  $N$ . Ce délai inclut la transmission et la retransmission à la couche MAC, la propagation du signal ainsi que le temps de transfert [19].

$$\text{Le délai moyen de transmission} = \frac{\text{Délai de transmission avec succès}}{N}$$

## 4.5 Différents Scénarios à analyser

Les différents scénarios que nous discuterons par la suite sont résumés comme suit :

1. Niveau d'amélioration du mécanisme de fragmentation amélioré avec *RTS/CTS* en fonction du BER.
2. Niveau d'amélioration du mécanisme de fragmentation amélioré avec *RTS/CTS* en fonction de la taille du paquet.
3. Niveau d'amélioration du mécanisme de fragmentation amélioré avec *RTS/CTS* en fonction de la charge du réseau.

## 4.6 Analyse des résultats et comparaisons

L'interprétation des résultats de simulation sous forme de courbes nous permettra de visualiser l'amélioration que nous avons apportée au mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS.

### 4.6.1 Evolution du débit et du délai en fonction du BER

Les figures 4.1 et 4.2 représentent une comparaison de l'évolution du débit effectif global, ainsi qu'une comparaison des délais moyens de transmission obtenus respectivement, en fonction de l'environnement radio (BER) dans le cas de la fragmentation améliorée avec RTS/CTS, la fragmentation avec et sans RTS/CTS standard. Nous avons fixé la taille du paquet de données à 12000 bits, la taille du fragment à 4000 bits. Dans la figure "A", nous avons fixé le nombre de station à 10 et pour la figure "B" à 40.

*Débit effectif global :*

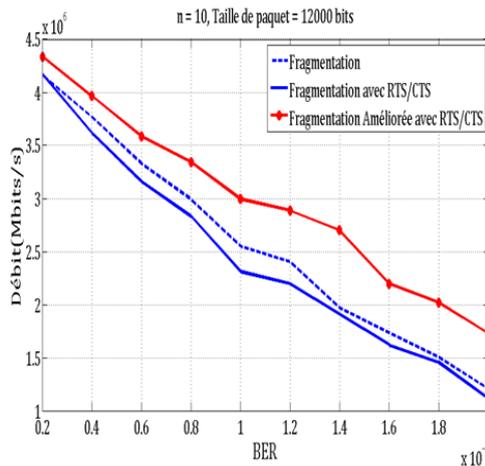


Figure A

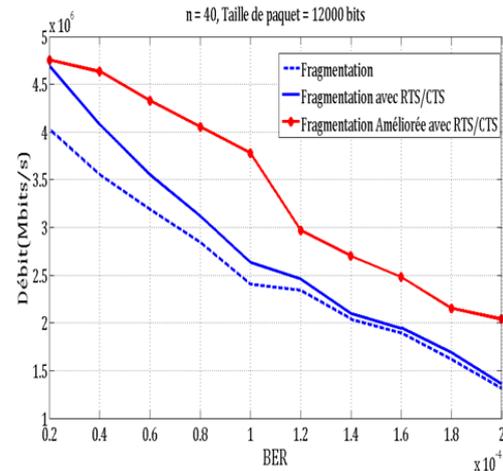


Figure B

FIGURE 4.1 – Débit effectif global vs BER.

Nous remarquons sur la figure "A" (nombre de stations =10), que le débit effectif dans le cas du mécanisme de la fragmentation sans RTS/CTS dépasse celui de la fragmentation avec RTS/CTS, car dans un réseau non chargé ; la probabilité de collision est réduite. Donc les paquets RTS/CTS engendrent des slots times élevés conduisant à la diminution du débit.

Sur la figure "B" (nombre de station = 40), nous constatons que le débit effectif dans le cas du mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS dépasse celui de la fragmentation sans RTS/CTS, car dans un réseau chargé la probabilité de collision augmente, l'utilisation du mécanisme RTS/CTS permet de protéger les fragments contre les collisions et conduit à l'augmentation du débit effectif. Tandis que l'activation de ce mécanisme quand le BER est trop important, donne un débit effectif presque proche de celui de la fragmentation sans RTS/CTS.

Nous constatons aussi qu'avec un BER presque nul, le débit dans le cas de la fragmentation amélioré avec RTS/CTS atteint un niveau élevé ( $4.4 \cdot 10^6$  Mbits/s) supérieur aux deux autres mécanismes, plus que le BER augmente le débit diminue pour les trois mécanismes. Pour n'importe quel environnement radio, la fragmentation améliorée avec RTS/CTS reste toujours meilleur par rapport aux deux autres mécanismes ; cela est expliqué par la distinction des erreurs de transmission d'une part et la retransmission immédiate du fragment suite à un échec dû au bruit.

*Délai moyen de transmission :*

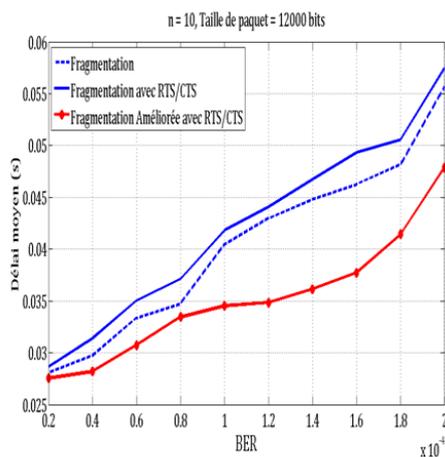


Figure A

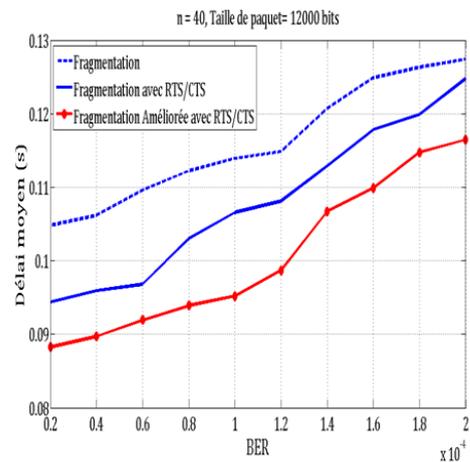


Figure B

FIGURE 4.2 – Délai moyen de transmission vs BER.

Nous constatons sur la figure "A" (nombre de stations = 10), que le délai moyen de transmission dans le cas du mécanisme de la fragmentation sans RTS/CTS est inférieur à celui de la

fragmentation avec RTS/CTS, cela est dû aux nombres de collisions réduits. Ce qui conduit à la diminution de l'efficacité des paquets RTS/CTS engendrant ainsi des slots times élevés.

Sur la figure "B" (nombre de stations = 40), nous constatons que le délai moyen de transmission dans le cas du mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS est inférieur à celui de la fragmentation sans RTS/CTS; du fait que, plus le réseau est chargé, plus la probabilité de collision augmente, le mécanisme RTS/CTS montre son efficacité en protégeant les fragments contre les collisions, ce qui conduit à la réduction des délais.

Nous constatons aussi qu'avec un BER presque nul, le délai moyen de transmission dans le cas de la fragmentation amélioré avec RTS/CTS est plus réduit que celui des deux autres mécanismes. Aussi, plus la valeur du BER est élevé, plus le délai augmente pour les trois mécanismes. Mais pour n'importe quel environnement radio, la fragmentation améliorée avec RTS/CTS réduit le délai moyen de transmission et reste efficace par rapport aux deux autres mécanismes. Cela s'explique par la retransmission immédiate du fragment d'une part et d'autre part, la distinction entre les causes de pertes (la fenêtre de contention est doublée dans le cas de perte d'un paquet RTS/CTS).

#### 4.6.2 Evolution du débit et du délai en fonction de la taille du paquet

Les figures 4.3 et 4.4 représentent une comparaison de l'évolution du débit effectif global, ainsi qu'une comparaison des délais moyens de transmission obtenus respectivement, en fonction de la taille du paquet de données dans le cas de la fragmentation amélioré avec RTS/CTS, la fragmentation avec et sans RTS/CTS standard. Nous avons fixé le BER à  $10e-4$ , la taille du fragment à 4000 bits. Dans la figure "A", nous avons fixé le nombre de stations à 10 et pour la figure "B" à 40.

Débit effectif global :

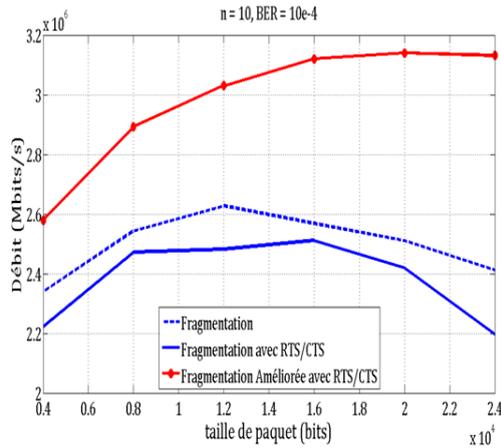


Figure A

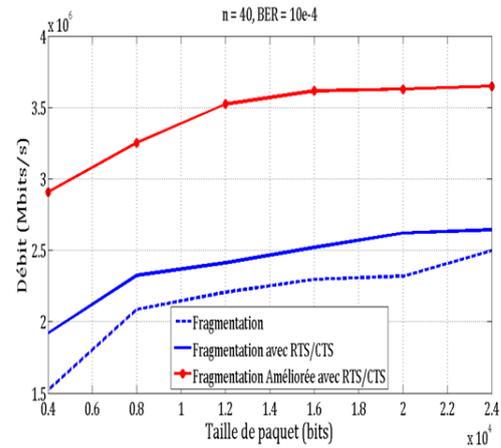


Figure B

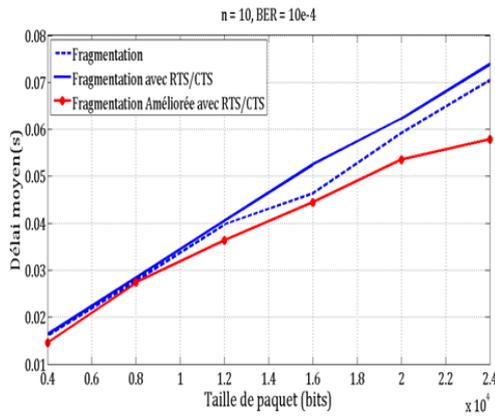
FIGURE 4.3 – Débit effectif global vs Taille du paquet.

Nous remarquons sur la figure "A" (nombre de stations =10), que le débit augmente pour les deux mécanismes (fragmentation avec et sans RTS/CTS) lorsque la taille du paquet de données est entre 4000 et 20000 bits, il diminue à partir d'une taille supérieure à 20000 bits. Cette diminution est due à la taille élevée des paquets qui conduit à l'augmentation du nombre de fragments engendrant des coûts élevés. Aussi, le débit dans le cas de la fragmentation sans RTS/CTS dépasse toujours celui de la fragmentation avec RTS/CTS.

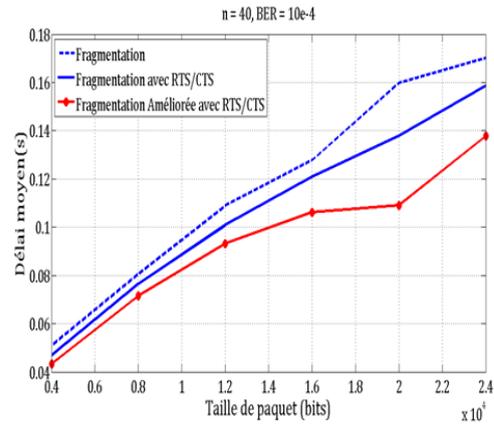
Nous percevons dans la figure "B", que le débit augmente en fonction de la taille du paquet de données. Mais cette fois le débit dans le cas de la fragmentation avec RTS/CTS dépasse celui de la fragmentation sans RTS/CTS.

Nous constatons que quelque soit la taille du paquet de données, le débit augmente progressivement pour le mécanisme de fragmentation amélioré avec RTS/CTS et atteint presque  $3.2 \times 10^6$  Mbits /s. Il dépasse toujours celui des deux autres mécanismes ; Cela est expliqué par la distinction des erreurs de transmission d'une part et la retransmission immédiate du fragment suite à un échec dû au bruit (le canal est libéré dans le cas où le nombre maximum de retransmissions est atteint ou dans le cas de succès de la transmission du paquet).

*Délai moyen de transmission :*



**Figure A**



**Figure B**

FIGURE 4.4 – Délai moyen de transmission vs Taille du paquet.

Nous constatons sur la figure "A", que le délai moyen de transmission augmente en rapport avec la taille du paquet de données pour le mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS et le mécanisme de fragmentation sans RTS/CTS respectivement. Cette augmentation est due au coût élevé engendré par la fragmentation suite à l'importance de la taille des paquets de données.

Pour la figure "B", nous percevons une augmentation du délai moyen de transmission en fonction de la taille du paquet de données. Mais cette fois, le délai moyen de transmission dans le cas de la fragmentation sans RTS/CTS dépasse celui de la fragmentation avec RTS/CTS.

Nous constatons que, quelque soit la charge du réseau et la taille du paquet de données, le délai moyen de transmission dans le mécanisme de fragmentation amélioré avec RTS/CTS reste toujours inférieur à celui des deux autres mécanismes. Ce résultat s'explique par la distinction faite par le mécanisme afin de déterminer les causes de pertes en utilisant les paquets RTS/CTS et la retransmission immédiate du fragment.

### 4.6.3 Evolution du débit et du délai en fonction du nombre de stations

Les figures 4.5 et 4.6 représentent une comparaison de l'évolution du débit effectif global ainsi qu'une comparaison des délais moyens de transmission obtenus respectivement, en fonction de la charge du réseau dans le mécanisme de fragmentation amélioré avec RTS/CTS, ainsi que le mécanisme de fragmentation avec et sans RTS/CTS standard. Nous avons fixé la taille du paquet à 12000 bits, la taille du fragment à 4000 bits. Dans la figure "A", nous avons fixé le BER à  $5 \cdot 10^{-5}$  et pour la figure "B" à  $15 \cdot 10^{-5}$ .

*Débit effectif global :*

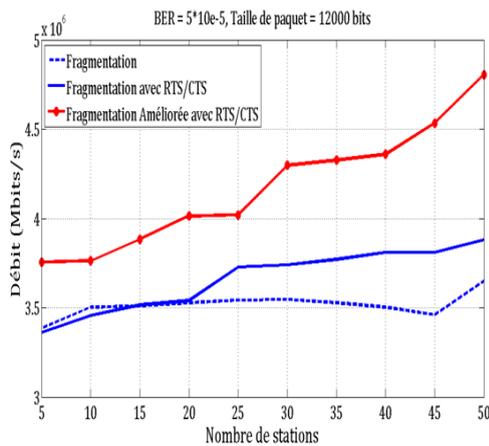


Figure A

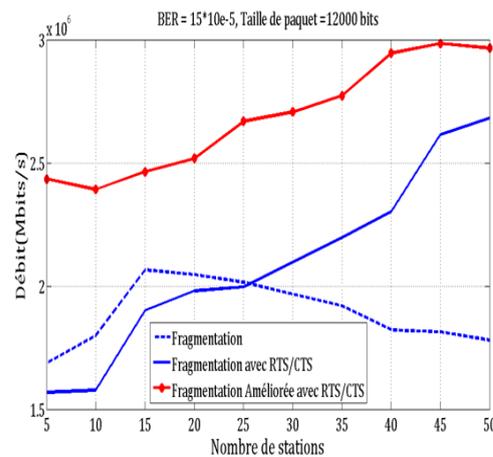


Figure B

FIGURE 4.5 – Débit effectif global vs Nombre de stations.

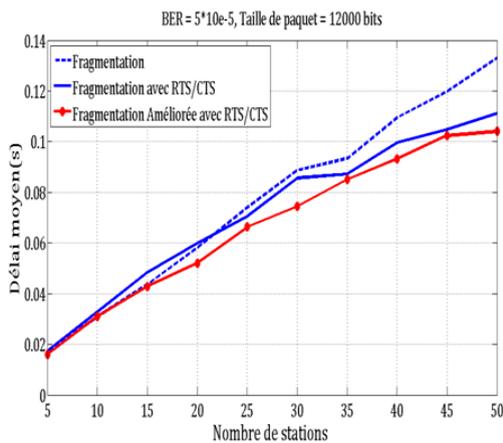
Nous remarquons sur la figure "A" ( $BER = 5 \cdot 10^{-5}$ ), qu'entre 5 et 20 stations, le débit dans le cas de la fragmentation sans RTS/CTS dépasse celui de la fragmentation avec RTS/CTS. Mais plus de 20 stations, le mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS est meilleur que celui de la fragmentation sans RTS/CTS et atteint presque  $3.8 \cdot 10^6$  Mbits/s (nombre de stations = 50).

Pour la figure "B" ( $BER = 15 \cdot 10^{-5}$ ), nous remarquons qu'entre 5 et 25 stations, le débit dans le cas de la fragmentation sans RTS/CTS dépasse celui de la fragmentation avec RTS/CTS. Mais pour plus de 25 stations, le mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS est meilleur que celui de fragmentation sans RTS/CTS et atteint presque  $2.7 \cdot 10^6$  Mbits/s (nombre de stations = 50).

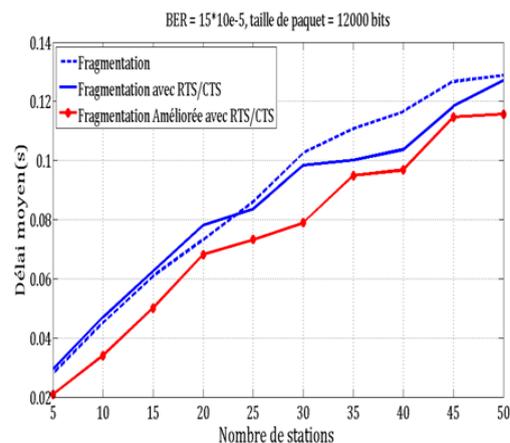
La diminution du débit remarqué dans la figure "B" par rapport à la figure "A" pour le mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS est dû au fait que, le mécanisme RTS/CTS n'améliore pas le débit quand l'environnement est bruité.

Nous remarquons que, le débit augmente avec le nombre de stations dans le réseau pour le mécanisme de fragmentation amélioré avec RTS/CTS, il atteint  $4.8 \cdot 10^6$  Mbits/s avec 50 stations pour un  $BER = 5 \cdot 10^{-5}$  et atteint presque  $3 \cdot 10^6$  Mbits/s pour un  $BER = 15 \cdot 10^{-5}$ . Aussi pour les deux cas ( $BER = 5 \cdot 10^{-5}$  et  $BER = 15 \cdot 10^{-5}$ ), le débit dans le mécanisme de fragmentation améliorée avec RTS/CTS dépasse toujours celui des deux autres mécanismes. Cela est dû constamment à la retransmission immédiate du fragment et la distinction entre les origines de perte.

*Délai moyen de transmission :*



**Figure A**



**Figure B**

FIGURE 4.6 – Délai moyen de transmission vs Nombre de stations.

Nous remarquons sur la figure "A", que le délai moyen de transmission augmente en fonction de la charge du réseau, nous constatons qu'entre 5 et 20 stations ( $BER = 5 \cdot 10^{-5}$ ), le délai moyen de transmission dans le cas de la fragmentation sans RTS/CTS est inférieur à celui de la fragmentation avec RTS/CTS. Pour plus de 20 stations, le mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS est inférieur à celui de fragmentation sans RTS/CTS. Cette diminution est due à l'amélioration que le mécanisme RTS/CTS exerce sur la protection des paquets quand le réseau

est chargé.

Pour la figure "B", nous remarquons aussi qu'entre 5 et 25 stations ( $BER=15*10e-5$ ), le délai moyen de transmission dans le cas de la fragmentation sans RTS/CTS est inférieur à celui de la fragmentation avec RTS/CTS et pour plus de 25 stations, le mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS est inférieur à celui de fragmentation.

Finalement, nous remarquons que quelques soient, le nombre de stations dans le réseau et le bruit de l'environnement, le délai moyen de transmission dans le mécanisme de fragmentation amélioré avec RTS/CTS reste toujours inférieurs à celui des deux autres mécanismes. Cela est dû à la retransmission immédiate du fragment et la distinction entre les sources de perte.

## 4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé des simulations avec le simulateur 802.11-ANSRE, afin de montrer l'amélioration des performances du standard IEEE 802.11 dans un environnement bruité en utilisant le mécanisme de fragmentation amélioré avec RTS/CTS sous l'influence du BER et de la taille du paquet de données ainsi que de la charge du réseau.

Les résultats obtenus avec la simulation montrent que la solution proposée améliore les performances (débit effectif global et délai moyen de transmission) du protocole IEEE 802.11 en fonction du BER, de la taille du paquet de données ainsi que de la charge du réseau. Cette amélioration est due à la distinction entre les origines de perte (collision ou bruit) et la retransmission immédiate du fragment lorsque la perte est causée par le bruit de l'environnement.

# Conclusion et Perspectives

La technologie IEEE 802.11, avec ses différentes déclinaisons, est certainement le réseau local sans fil le plus populaire et le plus diffusé dans le monde. Cette technologie a connu un grand succès dans le milieu public.

Dans ce projet de fin de cycle, nous nous sommes intéressés à l'amélioration de la fragmentation avec RTS/CTS pour la norme IEEE 802.11 dans un environnement bruité. Nous avons analysé quantitativement l'apport de notre proposition sur le débit effectif global et aussi sur le délai moyen de transmission sous l'influence des paramètres du taux d'erreurs par paquet (BER), de la charge du réseau et de la taille du paquet de données. Les résultats obtenus ont été comparés avec ceux de la fragmentation avec et sans RTS/CTS standard.

Pour atteindre notre objectif, nous avons implémenté notre proposition dans le simulateur 802.11-ANSRE (802.11 Ad hoc Network Simulator in a Radio Environment) [21]. Ce dernier implémente un modèle réel du mode DCF (CSMA/CA, BeB, RTS/CTS et fragmentation) du protocole 802.11 et le taux d'erreurs par bit.

Notre proposition a pour objectif d'améliorer le débit effectif global et le délai moyen de transmission, en remédiant aux erreurs de transmission dues au bruit de l'environnement. En effet, notre proposition permet d'une part de distinguer les raisons de perte de données (collisions ou erreurs de transmission), pour ne pas augmenter la fenêtre de contention CW que s'il s'agit d'une collision (perte d'un paquet RTS/CTS) et d'autre part, dès qu'une station gagne l'accès au canal de transmission, elle persiste dans la transmission jusqu'à ce que le paquet ou le fragment soit transmis correctement ou si le nombre maximum de retransmissions soit achevé.

Les résultats obtenus avec notre proposition, montrent une amélioration des performances (débit effectif global et délai moyen de transmission) du protocole IEEE 802.11 sous l'influence

---

du BER, de la taille du paquet de données et de la charge du réseau, en comparaison avec les deux mécanismes (fragmentation avec et sans RST/CTS) du standard.

Dans la continuité du travail que nous avons présenté, nous pourrions envisager les perspectives suivantes :

- Simulation du mécanisme de fragmentation amélioré avec RTS/CTS sous NS et Comparaison de ces résultats avec les résultats de [2].
- Modélisation et validation analytique du mécanisme de fragmentation amélioré avec RST/CTS : nous envisageons de modéliser le mécanisme de fragmentation avec RTS/CTS avec une chaîne de Markov, pour confirmer les résultats de simulation qu'on a obtenus.

# Bibliographie

- [1] A. GUEROUI, A.KSENTINI, M.IBRAHIM : " Enhancing the DCF mechanism in noisy environment ", IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS, Volume 1, *N<sup>o</sup> x*, PP 650 - 654, 2006.
- [2] A. KSENTINI : " Quality of service (QOS) in IEEE 802.11-based Wireless Local Area Networks (WLAN) ", Thèse de Doctorat, Laboratoire informatique de l'université de Cergy-Pontoise LISP, 2005.
- [3] A. KOUBAA : " Introduction à l'évaluation de performance des systèmes informatiques et de communication ", LORIA-TRIO-INPL, Villers Les Nancy, France, 2004.
- [4] A. LAOUAR et N. SAIDANI : " Evaluation de performances des réseaux IP à différenciation de services ", Mémoire de fin d'études, Université de Bejaïa, Juin 2007.
- [5] A. NOURI : " Evaluation des performances du protocole 802.11 mode ad hoc ", Mémoire de Magistère, Département d'Informatique, Université de Bejaïa, 2006.
- [6] B. BART, B. CHRIS, D. PIET L. BENOIT et M. INGRID : " A survey on wireless body area networks ", Mobile Networks and Applications, Volume 16, *N<sup>o</sup> 2*, PP 171 - 193, 2011.
- [7] C. BLAESS : " Programmation système en C sous Linux ", Edition EYROLLES, Paris, 2005.
- [8] C. CHAUDET : " Autour de la réservation de bande passante dans les réseaux ad hoc ", Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2004.
- [9] C. MARCHAND : " Mise au point d'algorithmes répartis dans un environnement fortement variable, et expérimentation dans le contexte des pico réseaux ", Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2004.

---

[10] D. DHOUTAUT : " Etude du standard IEEE 802.11 dans le cadre des réseaux ad hoc : de la simulation à l'expérimentation ", Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2003.

[11] D. LEITH, D. MALONE, Q. NI, T. LI, T. TURLETTI et Y. XIAO : " Aggregation With Fragment Retransmission for Very High-Speed WLANs ", IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, Volume 17, N° 2, PP 591 - 604, 2009.

[12] F. VALOIS et J. LU. : " Modélisation Stochastique de Réseaux Radio ", Rapport de recherche, N°5518, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), France, 2005.

[13] G. BIANCHI : "IEEE 802.11 saturation throughput analysis ", IEEE communication Letters, Volume 2, N°2, PP 318 - 320, 1998.

[14] G. BIANCHI, L. FRATTA et M. OLIVERI : " Performance evaluation and enhancement of the CSMA/CA protocol for 802.11 WLAN ", In Proc. PIMRC, Taipei, Volume xx, N° x, PP 392 - 396, 1996.

[15] H. RIVANO : " CARMA Capacité de Réseaux Radio MAillés : modélisation, simulation et expérimentation ", Projet 13S (CNRS-UNSA)/INRIA Sophia Antipolis.

[16] J. DORDOIGNE, " Réseaux informatiques ", Edition ENI , France, 2011.

[17] K. PAPARRIZOS, P. RAPTIS et V. VITSAS : " Packet Delay Metrics for IEEE 802.11 Distributed Coordination Function ", Mobile Networks and Applications, Volume 14, N° 6, PP 772 - 781, 2009.

[18] K. RUNSER : " Méthodologies pour la planification de réseaux locaux sans-fil ", Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.

[19] L. MAN : " Standards Committee of the IEEE Computer Society, Part 15.4 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) ", IEEE Std 802.15.4<sup>TM</sup>, Volume xx, N° x, PP 1 - 670, 2003.

[20] L. MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society : " Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications ", ANSI/IEEE Std 802.11, 1999.

---

[21] L. ZIANE KHODJA et M. YAZID : " Analyse des performances du standard ieee 802 .11 mode ad hoc dans un environnement radio : De la modélisation analytique à la simulation ", Mémoire de fin d'étude, Département d'Informatique, Université de Bejaïa, 2008.

[22] M. DUCHATEAU : " Analyse et simulation du déploiement d'un réseau sans fil à l'ULB", Mémoire de fin d'étude, Université Libre de Bruxelles, 2005.

[23] M. H. MANSHAEI : " Cross layer interaction for adaptive communication in IEEE802.11 wirelessLANs ", Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 2005.

[24] M. TOUMI : " Evaluation des performances du réseau IEEE802.11 mode Ad Hoc avec fragmentation ", Thèse de magistère, Département d'informatique, Université de Béjaia, 2006.

[25] M. YAZID : " Proposition d'un protocole d'accès au médium dans les réseaux locaux sans fil IEEE 802.11 à fortes contraintes temporelles ", Mémoire de Magistère, Département d'Informatique, Université de Bejaia, 2009.

[26] W. T. CHEN : " An effective medium contention method to improve the performance of IEEE 802.11 ", Wireless Networks, Volume 14, N° 6, PP 769 - 776, 2008.

[27] <http://www.5gwifi.org> (Consulté le : 05/04/2012 ).

[28] <http://vipress.europelectronics.net> (Consulté le : 17/04/2012 ).

[29] <http://www.frost.com> (Consulté le : 10/05/2012 ).

[30] INFRACOM Online : " 802.11 les réseaux sans fil ", <http://online.infracom.fr> (Consulté le : 10/05/2012 ).

---

## Résumé

Depuis une dizaine d'année, la norme sans fil IEEE 802.11 connaît un essor prodigieux dans le monde des réseaux sans fil. Cependant, plusieurs travaux ont été effectués afin d'améliorer les performances du standard en se contentant de l'approche basée sur, l'agrégation des paquets, la fragmentation des paquets et l'adaptation de la fenêtre de contention. Ces approches n'ont pas pris en considération la difficulté d'accès au support de transmission qui est une ressource rare. Afin de remédier au problème cité précédemment, nous avons procédé à la proposition d'un mécanisme de fragmentation amélioré avec RTS/CTS dans un environnement bruité, ce qui permet d'améliorer les performances de cette norme. Plus concrètement, les contributions de cette proposition sont d'une part la détection des origines de perte d'un paquet de données, et d'autre part la retransmission immédiate du paquet quand il s'agit d'un échec dû au bruit de l'environnement.

**Mots-clés** : IEEE 802.11, BER, Fragmentation, Mode RTS/CTS, Canal de transmission, Simulation.

## Abstract

Since ten years, the standard IEEE 802.11 has known a prodigious development in wireless networks context. However, several works have been done or conducted so as to increase the performance of the standard in being satisfied by the approach based on, the aggregation of packets, fragmentations of the packets and adaptation of the Contention Window. These approaches have not considered the difficulty of access to the transmission medium, that is a scarce resource. In order to remedy to the problem quoted previously, we have undertaken the suggestion of a fragmentation's mechanism increased with RTS/CTS in a noisy environment ; that makes it possible to improve the performance of this standard. More in concrete terms, the contributions of this suggestion are firstly, the detection of the origins of the loss of packet of data, and moreover, the immediate retransmission of the packet when it's about the failure due to the noise of the environment.

**Keywords** : IEEE 802.11, BER, Fragmentation, RTS/CTS mode, Transmission channel, simulation

