

UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAIA
FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE



MÉMOIRE DE MASTER PROFESSIONNEL

En

Informatique

Option

Administration et Sécurité des Réseaux informatiques

Thème

Évaluation de performances d'un protocole MAC Full Duplex pour la
gestion du regroupement des canaux dans les réseaux denses à haute
efficacité IEEE 802.11ax

Présenté par :

Mlle. AMAROUCHE Salma
Mlle. AMIROUCHE Lamia

Soutenu le 29/09/2022 devant le jury composé de :

Président	M.	MOKETFI	Mohand	M.C.B	Université de Béjaïa
Rapporteur	M.	YAZID	Mohand	Professeur	Université de Béjaïa
Co-Rapporteur	Mlle.	HOCINI	Kenza	Docteur	Université de Béjaïa
Examineur	Mlle.	MAMMERI	Souhila	M.A.B	Université de Béjaïa

2021/2022

Remerciements

Nous souhaitons adresser nos remerciements à Mr M.YAZID et Mlle K.HOCINI qui nous ont permis de bénéficier de leur encadrement. Les conseils qu'ils nous ont prodigué, la patience, la confiance qu'ils nous ont témoignés. Nous tenons également à remercier Mr M.MOKETFI d'avoir accepté de présider le jury de soutenance. Nous remercions également Mlle S.MAMMERI d'avoir acceptée de faire part du jury et consacré leurs temps à la lecture et à la correction de ce travail. Nous n'oublions pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience. Nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

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

À ma chère grande mère, qui nous a quittée tôt, tu étais toujours hâte d'accomplir mon parcours
universitaire

À mon grand père et grande mère, que dieux vous préserve et vous procure santé et longue vie. À

À mes chères sœurs Safia et Amina pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

À mes chers tantes, oncles, cousin et cousines, et à toute ma famille pour leur appui et leur
encouragement,

À ma plus chère copine Djidji, pour ça compagnie tout au long de mon parcours universitaire,

À ma binôme Lamia pour son encouragement et soutiens.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Amarouche Salma

Dédicaces

À l'aide du DIEU le plus puissant ce travail est achevé.

Je le dédie à toutes personnes que j'aime. À ma très grande fierté mes très chers parents, car sans eux je ne serai pas arrivées là où je suis, grâce à leur sacrifices et encouragements pendant tout mon cursus d'étude.

À mes deux petits frères, Sofiane et Idir.

À mon très cher, pour sa présence, son amour, son soutien et encouragement..

À ma binôme Salma pour son travail et encouragement et surtout son moral toujours élevé.

À mes amis(es) et collègues.. À tout ceux qui m'ont apporté d'aide, de près ou de loin..

Amirouche Lamia

Résumé

Le standard IEEE 802.11 a connu un énorme succès, depuis sa première apparition. Il a porté plusieurs améliorations au niveau des réseaux sans fil, de jour en jour ce standard remporte une popularité remarquable à cause du confort de raccordement qu'il procure. Malgré ses évolutions au fil des années, et malgré les différentes améliorations portées par chaque évolution, il ne cesse toujours pas son développement, en raison de l'augmentation de nombre d'utilisateurs du réseau qui est incontrôlable, ce qui signifie plus de problème à résoudre. Dans ce mémoire nous présentons en détail le standard 802.11ax qui a été développé par un des groupes du travail IEEE 802.11, qui offre des taux de transfert de données plus élevés, pouvant atteindre jusqu'à 9.6 Gbit/s en utilisant une largeur de spectre de 160 Mhz. C'est pourquoi nous proposons un protocole MAC Full Duplex pour les canaux larges, basé sur les deux techniques OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) et le regroupement des canaux, pour permettre des transmissions simultanées efficaces autant que possible. Les résultats de la simulation montrent que notre méthode est efficace et améliore le débit dans un environnement dense.

Mots clés : IEEE 802.11ax HEW, Transmission Full Duplex, Protocole MAC, Évaluation de performances.

Abstract

The IEEE 802.11 standard has been a huge success since its first appearance. It has brought several improvements to wireless networks, day by day this standard is gaining remarkable popularity because of the connection comfort it provides. Despite its evolution over the years, and despite the various improvements brought by each evolution, it still does not stop its development, due to the increase in the number of network users which is uncontrollable, which means even more problems to solve. In this thesis we present in detail the 802.11ax standard which was developed by one of the IEEE 802.11 working groups, which offers higher data transfer rates, which can reach up to 9.6 Gbit/s using a bandwidth of 160 MHz spectrum. Therefore we propose a Full Duplex MAC protocol for wide channels, based on the two techniques OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) and channel bonding, to allow efficient simultaneous transmissions as much as possible. The simulation results show that our method is efficient, and improves the throughput in a dense environment. The simulation results showed that the proposed protocol offers high performance to those provided by the existing protocols in a dense environment of the IEEE 802.11ax network.

Keywords :IEEE 802.11ax HEW, Full Duplex Transmission, MAC Protocol, Performance Evaluation.

Table des matières

Remerciments	i
Dédicaces	i
Résumé	i
Abstract	i
Table des matières	i
List des figures	iii
List des tableaux	iv
Listes des abréviations	v
Introduction Générale	v
1 Evolution du standard IEEE 802.11	3
1.1 Introduction	3
1.2 Présentation du standard IEEE 802.11	3
1.2.1 Couche Physique du standard 802.11	3
1.2.1.1 Spectre étalé à séquence directe (DSSS)	3
1.2.1.2 Spectre étalé à sauts de fréquence (FHSS)	4
1.2.2 Couche MAC du standard IEEE 802.11	4
1.3 Les bandes de fréquences du standard IEEE 802.11	5
1.3.1 La bande des fréquences de 2,4 GHz	5
1.3.2 La bande des fréquences de 5 GHz	5
1.4 Les différents standards d'IEEE 802.11	6
1.4.1 IEEE 802.11b	6
1.4.1.1 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)	6
1.4.1.2 DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum)	7
1.4.2 IEEE 802.11a	7
1.4.3 IEEE 802.11g	8
1.4.4 IEEE 802.11e	8
1.4.4.1 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)	8

1.4.4.2	HCCA (HCF Controlled Channel Access)	9
1.4.5	IEEE 802.11n	9
1.4.5.1	Technologie MIMO (2 x 2)	9
1.4.5.2	Principe d'agrégation dans le standard IEEE 802.11n	10
1.4.5.3	Regroupement de canaux	12
1.4.6	IEEE 802.11ac	12
1.4.6.1	Accès au canal	13
1.4.6.2	Transmit opportunity TxOPSharing	14
1.4.6.3	Regroupement de canaux	15
1.4.6.4	DL MU-MIMO(Down Link Multi-User-Multiple Input Multiple Output)	15
1.4.6.5	256-QAM	15
1.5	Conclusion	16
2	IEEE 802.11ax et les travaux existants	17
2.1	Introduction	17
2.2	Standard 802.11ax	17
2.3	Caractéristiques du standard 802.11ax	18
2.3.1	De 256-QAM à 1024 QAM	18
2.3.2	Codage physique LDPC ET BCC	19
2.3.3	PPDU(Physical-layer Protocol Data Unit) :	19
2.3.4	Couleur BSS(Basic Service Set)	20
2.3.5	Multiple NAVs(Network Allocation Vectors)	21
2.3.6	OFDMA	22
2.3.7	Full duplex	23
2.4	Travaux existants sur IEEE 802.11ax	24
2.4.1	Le protocole In-Frame Querying	24
2.4.2	Protocole O2-MAC	24
2.4.3	Protocole In-Frame Querying amélioré	25
2.4.4	Protocole Extension-O2-MAC	25
2.4.5	Un protocole MAC efficace pour utiliser les liaisons UL sans collisions	26
2.4.6	Protocole des chaînes cachées	26
2.4.7	Protocole ECC-FDRC (Efficient and Coordinated Control Protocol of Full Duplex Radio Communications)	26
2.5	Conclusion	28
3	Proposition, Simulation et évaluation de performances	29
3.1	Introduction	29
3.2	Problématique	29
3.3	Motivations et objectifs	30
3.3.1	Description du protocole proposé	30
3.3.2	Fonctionnement du protocole	30
3.4	Simulation et analyse des performances du protocole proposé	33
3.4.1	Présentation de l'outil de simulation	33

3.4.2	Paramètres de simulation	34
3.4.3	Résultats de simulation	34
3.4.3.1	L'impact du nombre de STAs sur le débit	34
3.4.3.2	L'impact du nombre MPDU sur le débit	35
3.4.4	Conclusion	36
Bibliographie		37

Table des figures

1.1	Mécanisme d'accée DCF	4
1.2	Bande de fréquence de 2.4 GHz	5
1.3	Bande de fréquence de 5 GHz	6
1.4	Agrégation MSDU	10
1.5	Agrégation de trames A-MPDU	11
1.6	Agregation à deux niveaux	12
1.7	Méthode d'accès statique pour IEEE 802.11ac	14
1.8	Méthode d'accès dynamique pour IEEE 802.11ac	14
2.1	Modulation 1024-QAM avec le Wi-Fi 6 (10 bits par symbole)	19
2.2	Les Différentes format PPDU dz standard 802.11ax	20
2.3	Exemple sur le Principe de BSS color sur la bande des fréquences de 2.4 GHz	21
2.4	Séquence d'échange de trame pour schéma de réutilisation spatiale basé sur plusieurs NAV.	22
2.5	OFDMA — Orthogonal Frequency Division Multiple Access.	23
3.1	Le déséquilibre entre le trafic UL et DL	30
3.2	Exemple illustratif du fonctionnement de notre proposition en cas de BFD	31
3.3	Exemple illustratif du fonctionnement de notre proposition en cas de IBFD	32
3.4	Exemple illustratif du fonctionnement de notre proposition en cas d'ULHD	33
3.5	Les variations du débits obtenues en fonction du nombre de STAs	34
3.6	Les variations du débits obtenues en fonction du nombre d'MPDU	35

Liste des tableaux

- 1.1 Avantages et inconvénients des bandes de fréquences 2.4Ghz et 5Ghz 6
- 1.2 spécification de la couche physique 802.11ac 13
- 3.1 Les paramètres utilisés dans la simulation et leurs valeurs 34

Liste des abréviations

A	A-MPDU	Aggregate MAC Protocol Data Unit.
	A-MSDU	Aggregate MAC Service Data Unit.
	AC	Access Category.
	AC-BE	Access Category Best Effort.
	AC-BK	Access Category Background.
	AC-VI	Access Category Video.
	AC-VO	Access Category Voice.
	ACK	Acknowledgement.
	AIFS	Arbitration InterFrame Space.
	AP	Access Point.
B	BCC	Benary Convolution Coding.
	BE	Best-Effort.
	BFD	Bidirectionnel Full Duplex.
	BK	Background.
	BSS	Basic Service Set.
C	CCA	Clear Channel Assessment.
	CCK	Complementary Code Keying.
	CF	Contention Free.
	CFP	Contention Free Poll.
	CP	Contention Period.
	CRC	Cyclic Redundancy Check.
	CSMA/CA	Carrier Sense Multipl Access with Collision Avoidance.
	CTS	Clear to Send.
	CW	Collision Window.
D	DCF	Distributed Coordination Function.
	DFWMAC	Distributed Foundation Wireless MAC.
	DIFS	DCF Interframe Space.
	DL	DownLink.
	DLHD	Down-Link Half Duplex.
	DS	Double Stream.

DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum.
E ESS	Extented Service Set
F FEC	Forward Error Correction
FCC	Federal Communications Commission
FHSS	Freaquency Hopping Spread Spectrum
FFT	Fast Fourier Transform
H HR-DSSS	High Rates- Direct-Sequence Spread Spectrum
I ISM	Industrial, Scientific and Medical
IoT	Internet of Objects
L LDPC	Low Density Parity Check
N NAV	Network Allocation Vector
O OBSS	Overlapping BSS
OW	Opportunity Window
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
P PC	Point Coordinateur
PCF	Point Coordination Function
PHYCCA	PHYSical CCA
PT	Primary Transmitter
PR	Primary Receiver
R RA	Random Access
RTS	Request To Send
RU	Ressource Unit
S SA	Scheduled Acces
SIFS	Short Inter-Frame Space
SNR	Signal-to-Noise Radio
ST	Secondary Transmitter
SR	Secondary Receiver
SS	Single Stream
SU	Single User
STA	STAtion

T	TPC	Transmit Power Control
	TG_{ax}	Task Group ax
U	UHF	Ultra High Frequency
	UFD	Unidirectionnel Full Duplex
	ULHD	Up-Link Half Duplex
	UL	UpLink
	U-NII	Unlicensed National Information Infrastructure
V	VoIP	Voice over IP
W	WiFi	Wireless Fidelity
	WLAN	Wireless Local Area Network

Introduction Générale

La mobilité des utilisateurs et leurs besoins d'accès itinérant aux réseaux informatiques rendent les réseaux traditionnels (filaire) obsolètes. De plus, le besoin accru d'accéder aux différents types d'applications via le support radio pousse la recherche vers des nouvelles solutions de plus en plus adaptées à cet environnement.

La fidélité sans fil, communément appelée Wi-Fi ou WLAN (Wireless Local Area Network), est une technologie utilisée dans les espaces publics tels que les hôtels et comme dans les espaces commerciaux et privés. La naissance de Wi-Fi a eu lieu en 1997 par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), l'un des plus importants des instituts de standardisation dans le monde, et depuis sa première apparition, il n'a pas cessé d'évoluer jusqu'à présent.

Le Wi-Fi est un groupe de protocole de communication sans fils, régis par les différentes normes du groupe de travail IEEE 802.11 . Ce standard qui regroupe plusieurs amendements qui sont considérés des améliorations du standard initial, 802.11/a/b/g/n/e/ac/ax sont les plus importants. Les principaux amendements applicables qui modifient d'une manière significative les techniques de transmission utilisées (couche PHY), sont 802.11a (1999), 802.11b (1999), 802.11g (2003) et 802.11n (2009) définie pour les applications nécessitant un débit élevé afin de pouvoir utiliser les bandes de fréquences de 2,4 ou 5 GHz. Un autre amendement qui concerne principalement la couche MAC (Media Access Control) du standard, a été validé : c'est le 802.11e proposé, en 2005, dans le but de définir les besoins des différents paquets en termes de bande passante et du délais de transmission d'une manière à permettre, notamment, une meilleure transmission de la voix et de la vidéo. La norme 802.11ac également connue sous le nom de VHT (Very High Throughput) a été ratifiée, en 2014, en améliorant ainsi la couche PHY et MAC de la norme qui la précède (802.11n). Dans cette version, la technique de DL MU-MIMO (Down Link Multi Utilisateurs Multiple-Input Multiple-Output) a permis d'améliorer le débit en procurant la communication multi-utilisateurs avec l'envoi de plusieurs flux de données vers des différents utilisateurs. Aussi, la bande passante a été augmentée, ainsi les bandes larges de 80 MHz et 160 MHz ont été obtenues grâce à la technique du regroupement des canaux introduite en regroupant les canaux de 20 MHz. Afin d'exploiter cette dernière, deux méthodes d'accès MAC principales ont été définies : la méthode statique et la méthode dynamique. La méthode statique permet à une station de transmettre seulement si tous les canaux (primaire et secondaires) sont libres, contrairement à la méthode dynamique qui se contente de transmettre sur un nombre de canaux disponibles à un moment donné.

La norme 802.11ax, également connue sous la dénomination HEW(High-Efficiency WLAN), visant d'augmenter le débit moyen quatre fois plus par un utilisateur, des débits de données et largeur de voies similaires au 802.11ac, mais une nouvelle caractéristique de modulation 1024 QAM. Au-delà de l'amélioration de la vitesse de transmission par rapport au 802.11ac, cette évolution consistera à mettre en œuvre des mécanismes destinés à fournir un débit de données plus important et plus fiable. Ce standard

qui propose le fonctionnement multi-utilisateurs en liaisons montante et descendante au moyen des techniques OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access). La transmission Full Duplex est une technique qui permet désormais le partage du canal pour émettre et recevoir simultanément des données, et surtout augmenter le débit théorique fournis par la radio Half-Duplex. Cette technologie, fait face à une diversité de défis et obstacles et à cet égard, du nombreux chercheurs se sont intéressés à la recherche des solutions et propositions, permettant les transmissions du point d'accès vers station, et station vers point d'accès simultanément.

Dans notre étude dans ce mémoire de master, nous nous somme focalisées essentiellement sur le fonctionnement des communications Full Duplex et les problèmes qui les bordaient. Ce mémoire comporte les trois chapitres suivants :

Dans le premier chapitre, nous présentons une généralité sur le standard IEEE 802.11 et ses différentes évolutions au fil des années.

Dans le deuxième chapitre, nous introduisons l'amendement 802.11ax et les différentes caractéristiques et améliorations portées par ce standard, nous avons également discuter des divers travaux et recherches consacrés à cette norme.

Dans le troisième chapitre nous discutons les défis de l'implémentation des communications Full Duplex, et pour cela nous proposons un protocole pour la gestion du regroupement des canaux et nous terminons par une simulation pour analyser les performances de notre protocole.

Enfin nous conclurons notre travail en résumant les connaissances acquises.

Chapitre 1

Evolution du standard IEEE 802.11

1.1 Introduction

Au fil des années, la technologie ne cesse pas de développer, jusqu'à ce que les appareils électronique notamment portatifs, sont désormais indispensables pour l'être humain, comme les réseaux informatique sont indispensables pour ces appareils, de plus en plus le nombre des utilisateurs des réseaux informatiques augmente de plus ces réseaux étendent. C'est dans ce principe que le standard IEEE 802.11 est apparu, pour les réseaux locaux sans fils WLAN.

Aujourd'hui, les ordinateurs portables, les PC, les imprimantes, les téléphones cellulaires, les téléphones VoIP, les lecteurs MP3 et bien d'autres appareils intégrant la technologie WLAN. Avec des faibles coûts et une prise en charge des débits de données élevés, le 802.11 est devenu une solution universelle pour un espace d'application sans cesse croissant. En conséquence directe de sa forte pénétration du marché, plusieurs amendements à la norme de base 802.11 ont été développés ou sont en cours du développement [1].

Ce que nous allons voir dans ce chapitre, les différentes normes d' IEEE 802.11 depuis le premier amendement 802.11 legacy proposé en 1997 jusqu'à 802.11ac en 2013, ainsi que les différentes améliorations portées par chaque standard, au niveau de la couche Physique et la couche MAC.

1.2 Présentation du standard IEEE 802.11

1.2.1 Couche Physique du standard 802.11

Le standard d'origine a défini trois couches physiques pour une même couche MAC, deux dans la bande 2,4 GHz ISM(Industrial, Scientific and Medical) et IR (InfraRed) dans l'infrarouge. [2].

- **1.2.1.1 Spectre étalé à séquence directe (DSSS)**

fonctionnant dans la bande ISM 2,4 GHz, à des débits de données de 1 Mbps et 2 Mbps. Aux États-Unis, la FCC (Federal Communications Commission) n'exige aucune licence pour l'utilisation de cette bande. Le nombre de canaux disponibles dépend de la bande passante allouée par divers organismes nationaux de réglementation. [3].

1.3 Les bandes de fréquences du standard IEEE 802.11

1.3.1 La bande des fréquences de 2,4 GHz

Est une bande ISM (industriel, scientifique, et médical) de la gamme UHF(Ultra Haute Fréquence), allant de 24000 à 24835 MHz [4]. préoccupe une largeur de 83.8, elle est généralement subdivisé en 14 canaux de 22 MHz chacun [5]. qui ne se chevauchent pas, vu qu'ils sont distants de 5 MHz, c'est-à-dire un espacement de 5 canaux est recommandé afin d'éviter les interférences, ce qui signifie que seul 3 canaux libre peuvent être utilisés comme le montre la figure 1.2 [6]. La fréquence 2.4 GHz fournit une plus grande couverture, ce qui est connu concernant les fréquences radio, plus la fréquence est élevé, plus courte est la portée. Si on estime couvrir une grande zone par un réseau WIFI, il est conseillé d'opter pour la fréquence 2.4 GHz sur le retour utilisé. De plus il est mieux adapté pour les espaces extérieurs, alors que les bornes WIFI fonctionnant à la fréquence 2.4 GHz peuvent offrir la connexion sans fil allant jusqu'à 46 mètre à l'intérieur et 90 mètres à l'extérieur, donc elle traverse facilement la matière,les murs par exemple.[7].

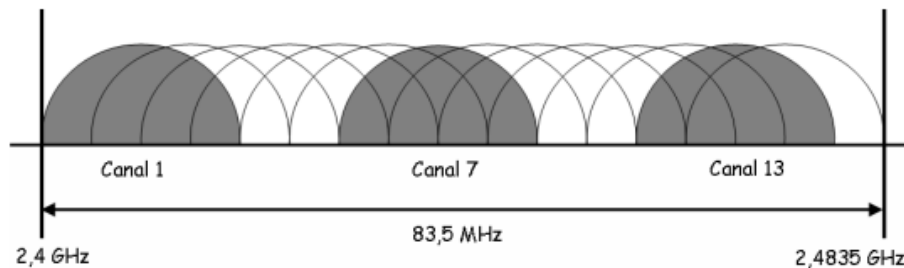


FIGURE 1.2 – Bande de fréquence de 2.4 GHz

1.3.2 La bande des fréquences de 5 GHz

C'est une bande plus large, on la comparant avec celle de 2.4 GHz, elle préoccupe deux plages de fréquences, la première est comprise entre 5,150 GHz et 5,350 GHz, cependant l'autre allant de 5,470 à 5,7 GHz, cette bande est divisé en 140 canaux de 20 MHz chacun. Chaque deux canaux successif sont espacés de 5MHz. Ce qui est évident pour éviter les chevauchements, il faut laisser au moins 4 canaux entre un canal et un autre, comme le montre la Figure 1.3, il est donc possible d'utiliser que 19 canaux, c'est à dire on pourra deployer jusqu'à 19 points d'accès indépendants au même temps et dans le même endroit[6]. Ce qui est connu sur la bande des fréquences 5 GHz est qu'elle est 3 fois plus rapide que celle de 2,4 GHz puisqu'elle utilise des ondes radio plus courte, ce qui permet d'atteindre des vitesse supérieurs allant jusqu'à 1300 Mbps, de plus elle est moins sensible aux interférences[7].



FIGURE 1.3 – Bande de fréquence de 5 GHz

2.4 Ghz	5Ghz
plus grande couverture	sa portée est moins grande que celle du 2.4 GHz
traverse plus facilement la matière	traverse difficilement les murs
coût réduit	3 fois plus rapide que la 2.4 GHz
usage basique(accéder à Internet,envoyer des e-mails)	spectre plus large sans fil
sensible aux interférences	moins sensible aux interférences
surchargée	moins congestionnée

TABLE 1.1 – Avantages et inconvénients des bandes de fréquences 2.4GHz et 5GHz

1.4 Les différents standards d'IEEE 802.11

La norme IEEE 802.11 a été publiée par le comité de normalisation IEEE en juin 1997. Depuis, plusieurs mises à niveau ont été publiées pour rattraper les progrès des technologies de communication mentionnées précédemment. Dans ce qui suit, une étude comparative des normes IEEE802.11b/a/g/n/ac sera présentée où chaque caractéristique de la norme est discutée individuellement.

1.4.1 IEEE 802.11b

Les réseaux locaux sans fil (ou Wi-Fi) IEEE 802.11b connaissent une augmentation remarquable de leur utilisation. L'une des principales raisons du succès du Wi-Fi a été la réduction des coûts d'équipement, la simplicité de configuration et les débits de données élevés (jusqu'à 11 Mb/s). Alors que les appareils 802.11b fonctionnent dans les bandes ISM 2,4 GHz. Cependant il existe deux techniques largement utilisées comme techniques de modulation à spectre étalé SS(Spread Spectrum) le spectre étalé à séquence directe (DSSS) et le spectre étalé à saut des fréquences (FHSS). Les deux méthodes peuvent fonctionner en présence du bruit comme un code d'étalement appelé séquence pseudo-aléatoire[8].

1.4.1.1 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

Cette technique est basée sur le saut des fréquences, pour étaler le spectre radio dans laquelle la bande des fréquences 2.4 GHz est divisée en 79 canaux de 1MHz de largeur chacun. Pour effectuer une transmission, l'émetteur et le récepteur se mettent en accord sur un ordre des séquences de saut précis

effectué sur les 79 sous-canaux. Alors la couche FHSS définit 78 séquences de saut possible, subdivisé en 3 ensemble, chaque ensemble de 26 séquences, l'envoi est réalisé par passage d'un sous-canal à un autre. Si une station ignore l'ordre des sauts de canaux, elle ne peut en aucun cas récupérer les données. Cette technique était utilisée auparavant dans les transmissions militaires pour lutter contre les interceptions et sécuriser les transmissions, de plus la FHSS est résistante face aux interférences. En effet, comme le système fait un saut d'un canal à un autre toutes les 300 ms sur la totalité de la bande, si des interférences surviennent sur une partie de la bande ISM (un ou plusieurs canaux), cela n'engendrera pas une importante perte de performances[9].

1.4.1.2 DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum)

C'est aussi une technique d'étalement du spectre qui partage la bande ISM(2.4 GHz) en sous-bandes. Cependant, la division se fait en 14 canaux de 20 MHz chacun. placés en recouvrement vu la largeur de la bande 83.5 MHz. La transmission ne se fait que via un seul canal, ce qui rend la technique DSSS plus sensible aux interférences que la FHSS qui s'étale sur toute la largeur de la bande de 2.4 GHz [9].

Une fois un canal est sélectionné, le spectre du signal radio occupe une bande comprise entre 10 et 15 MHz de chaque côté de la fréquence fondamentale. Avec une largeur de la bande de 83.5 MHz, trois réseaux 802.11 DSSS au maximum qui peuvent émettre simultanément sans risque d'interférence[9].

1.4.2 IEEE 802.11a

L'amendement IEEE 802.11a, est une extension d'IEEE 802.11 sortie en 1999, Il définit aussi une couche physique, et utilise la bande des fréquences 5.15 GHz à 5.35 GHz et la bande 5.725 GHz à 5.825 GHz, ce qui permet de définir 8 canaux distincts d'une largeur de 20Mhz chacun, c'est-à-dire une bande suffisamment large pour ne pas avoir de parasitage entre canaux [10].

Elle permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps, soit cinq fois plus que le 802.11b, pour une portée d'environ une trentaine de mètres seulement. Cette couche physique, compliquée, est basée sur plusieurs techniques de transmission numérique, comme la transmission par multi-porteuse OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [11].

OFDM

Le premier amendement à introduire OFDM était IEEE 802.11a, définie pour la bande 5 GHz, afin de pouvoir atteindre des débits physiques de 54 Mbit/s, à laide d'une bande passante de 20 MHz et pour utiliser efficacement le spectre fourni dans la gamme des 5 GHz, La technique de modulation OFDM est générée par l'utilisation d'approches complexes de traitement du signal. L'un des avantages de l'OFDM est sa capacité à lutter contre les effets néfastes de la propagation par trajets multiples en ce qui concerne les interférences dans un canal. L'OFDM est également efficace sur le plan spectral car les canaux se chevauchent et sont contigus, et pour compléter l'OFDM, la spécification IEEE 802.11a offre un support pour une variété d'autres alternatives de modulation et de codage [12].

Tout d'abord, l'OFDM récupère le signal codé sur chaque sous canal et lui applique une transformée de Fourier inverse. Ceci a pour but de générer la fonction spectrale composite à partir de la densité de

puissance de chaque sous canal. Au niveau de la réception, c'est l'opération inverse qui est appliquée pour récupérer la décomposition initiale des fréquences [9].

Un des points forts de l'OFDM est sa robustesse face à l'évanouissement par multi-trajet et son débit binaire pouvant atteindre 54 Mbit/s [9].

1.4.3 IEEE 802.11g

En 2003 le groupe de travail 802.11 a publié le standard 802.11g, qui désigne une transposition de la forme de la forme d'onde du 802.11a de la bande U-NII vers la bande ISM, en gardant la technique de codage OFDM de standard 802.11a. Elle est définie dans le but de maintenir une compatibilité avec le 802.11b, en offrant un débit meilleur. Elle possède également un débit théorique de 54 Mb/s et une portée d'une centaine de mètres mais sur la bande des 2,4 GHz [12].

La norme est conçue pour que les appareils 802.11b fonctionnent en se connectant à un point d'accès 802.11g, et les appareils 802.11g fonctionnent en se connectant à un point d'accès 802.11b, dans les deux cas en utilisant le débit de données 802.11b inférieur [3].

HR-DSSS (High Rates- Direct-Sequence Spread Spectrum)

High Rate DSSS, est la version améliorée du DSSS introduite avec le 802.11b, offre un débit plus élevés que le 802.11 DSSS grâce au CCK (Complementary Code Keying) [13]. C'est une variante de la technique DSSS, où la bande passante est décomposée en 11 canaux de 22 MHz. Dans le but d'empêcher les interférences, un saut de canaux est appliqué comme suit : 1,7 et 13 séparés de 22 MHz pour DSSS, 6 et 11 distants de 30 MHz pour HR-DSSS. [14] Elle est aussi une des modulation radio utilisée par la variante WIFI g, sur la bande de fréquence de 2,4 GHz, pour atteindre un débit théorique de 54 Mbits/s.

La modulation HR-DSSS (High Rate DSSS) adopte la technologie de transmission à spectre étalé à grande vitesse à séquence directe. Il s'agit d'une extension de la couche DSSS qui ajoute des techniques de modulation CCK pour prendre en charge des vitesses de 5,5 Mbps et 11 Mbps en plus des vitesses déjà prises en charge par la couche DSSS [13].

1.4.4 IEEE 802.11e

Le IEEE a approuvé le 802.11e le 22 septembre 2005 et publié le 11 novembre de la même année, Cet amendement apporte des améliorations à la couche MAC afin d'améliorer la qualité du service et de résoudre certains problèmes de sécurité [15].

l'amendement IEEE 802.11e concerne les mécanismes de gestion et de maintien de QoS(Quality of Service). Ainsi la fonction HCF (Hybrid Coordination Function) est ajoutée aux services MAC des stations 802.11e. Cette fonction est basée sur deux mécanismes :

1.4.4.1 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)

EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) est basé sur CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) et est utilisé dans les réseaux WiFi supportant le standard IEEE 802.11e EDCA représente une amélioration de la méthode d'accès par contention DCF pour introduire

plusieurs mécanismes de différenciation de services. L'EDCA définit quatre catégories d'accès (ACs : Access Categories) :

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

Chaque catégorie possède ses propres paramètres pour accéder au canal de transmission[15].

1.4.4.2 HCCA (HCF Controlled Channel Access)

Ce mécanisme, repose sur un coordinateur, appelé coordinateur hybride Ce dernier est différent de celui du mode PCF. Par exemple, le coordinateur hybride invite une station non pas à émettre une trame, mais à émettre pendant toute l'opportunité de transmission qui lui a été allouée. Il peut aussi allouer des opportunités de transmission à des stations lors de la période avec contention. Le transfert des données nécessitant de la qualité de service ne se fait donc pas nécessairement pendant la période d'accès sans contention[9].

1.4.5 IEEE 802.11n

Le cinquième amendement est l'IEEE 802.11n pour la norme IEEE 802.11. Cet amendement prévoit, entre autres, la possibilité d'utiliser des canaux plus larges, des accusés de réception retardés et l'agrégation de trames. La couche physique d'IEEE 802.11n fonctionne selon trois modes Le mode non-HT (hérité), Le mode HT mixte, Le mode haut débit (Greenfield)[13].

Les améliorations portés par IEEE 802.11n sont pour bute d'obtenir des débits encore plus élevés. 802.11n peut opérer dans les bandes de fréquence des 2,4 GHz et des 5 GHz. La technique Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) est tout d'abord préconisée[9].

1.4.5.1 Technologie MIMO (2 x 2)

IEEE 802.11n est une révision majeure qui augmente en fait le débit maximal théorique d'un facteur dix. A cet effet, la norme a apporté deux évolutions : la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) et le doublement de la bande passante. Le Wi-Fi n peut fonctionner en 20 MHz de large comme auparavant, dans ce cas, il offre un débit maximum de 72,2 Mb/s, et est maintenant en 40 MHz de large. Le débit binaire est proportionnel à la bande passante, et comme la 4G, un flux de 40 MHz est deux fois plus rapide qu'un flux de 20 MHz, soit 150 Mb/s. Cette technologie permet au Wi-Fi d'utiliser plusieurs flux simultanément. On parle par exemple de 2x2 MIMO, avec deux antennes en émission et deux en réception, ce qui double le débit par rapport à une configuration sans MIMO (soit 300 Mb/s et 40 MHz). Le Wi-Fi n peut atteindre 4x4 MIMO avec un maximum absolu de 600 Mb/s [16].

L'adaptation de débit dans les systèmes IEEE 802.11n récents ajuste dynamiquement le schéma de codage de modulation en fonction de la qualité du canal d'exécution. Il est essentiel au débit du réseau, mais non spécifié par la norme. Ce qui différencie L'adaptation de débit dans le cadre 802.11n

des anciens systèmes 802.11a/b/g est sa nouvelle technologie MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). Avec plusieurs antennes d'émission et de réception et une liaison de canaux, la norme 802.11n permet deux modes de fonctionnement. L'un est le mode à flux unique (SS : single-stream) orienté diversité. L'autre est le mode à double flux (DS : double-stream) piloté par multiplexage spatial. Utilisant à la fois SS et DS, il offre ainsi une large gamme d'options de débit, à partir de 6,5 Mbps et atteignant 600 Mbps au maximum. MIMO RA est susceptible d'être important dans les systèmes 802.11n en raison de la portée plus large et du plus grand nombre d'options de débit [10].

1.4.5.2 Principe d'agrégation dans le standard IEEE 802.11n

Étant donné que la surcharge associée à l'en-tête MAC est considérée comme étant la principale limitation de la couche MAC de standard, ainsi l'utilisation de paquets plus volumineux est une solution pour réduire la surcharge causée par l'en-tête MAC. Dans ce principe, IEEE 802.11n a proposé le schéma d'agrégation dans lequel un certain nombre de trames sont transmises ensemble dans des paquets agrégés. En fait, le schéma d'agrégation réduit le temps de transmission des surcharges et réduit le temps d'attente causé par la période d'attente aléatoire lors des transmissions de trames successives[40].

Agrégation A-MSDU (Aggregation-MAC Service Data Unit) : De base, A-MSDU est conçu pour permettre la transmission de plusieurs MSDU vers le même récepteur, concaténés dans un seul MPDU. La couche MAC supérieure reçoit des paquets de la couche liaison des données et ces paquets mis en mémoire tampon sont ensuite agrégés pour former une seule A-MSDU. Pour chaque sous-trame MSDU dans une trame A-MSDU, la sous-trame MSDU comprend l'en-tête de sous-trame, la charge utile de données (data payload) MSDU et le champ de bourrage(padding)(voire la figure 1.4). L'en-tête de sous-trame comprend trois champs : l'adresse de destination, l'adresse source et la longueur qui indique le payload des données MSDU. L'agrégation AMSDU n'est tolérable que pour des paquets ayant la même source et la même destination. La longueur maximale A-MSDU qu'une station peut recevoir, est de 3839 octets ou de 7935 octets. Une seule A-MSDU contient plusieurs sous-trames MSDU. Une seule trame AMSDU est transmise après l'ajout de l'en-tête physique, de l'en-tête MAC et du champ FCS(Frame Check Sequence)[40].

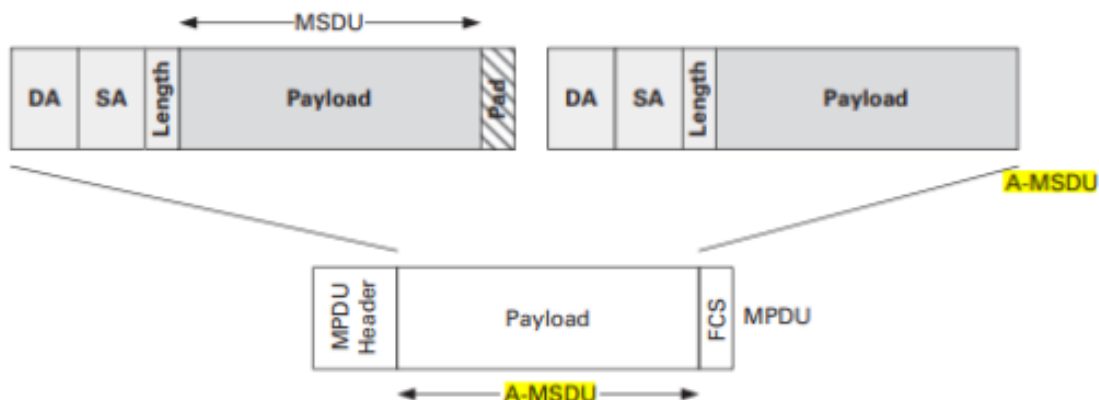


FIGURE 1.4 – Agrégation MSDU

Agrégation A-MPDU : Le concept d'agrégation A-MPDU consiste à joindre plusieurs sous-trames

MPDU avec un seul en-tête PHY principal. Une différence essentielle par rapport à l'agrégation A-MSDU est que l'A-MPDU fonctionne après le processus d'encapsulation d'en-tête MAC. Cependant, de plus, il n'y a pas de temps d'attente pour former un A-MPDU, de sorte que le nombre de MPDU à agréger dépend totalement du nombre de paquets déjà dans la file d'attente de transmission[13].

Le principe d'A-MPDU a pour but de réduire l'en-tête PHY supplémentaire. Pour chaque A-MPDU, chaque sous-trame MPDU comprend une trame MPDU, le délimiteur MPDU et les octets de bourrage. (voir la figure 1.5) Plusieurs sous-trames MPDU sont concaténées dans une trame A-MPDU plus grande. Toutes les sous-trames MPDU d'une A-MPDU doivent être adressées au même récepteur, mais la sous-trame MPDU peut avoir une adresse source différente. Avec la technique A-MPDU, les MPDU entièrement formés sont logiquement agrégés au bas de la couche MAC. Le délimiteur MPDU a une longueur de 32 bits et se compose d'un champ réservé de 4 bits, d'un champ de longueur MPDU de 14 bits, d'un champ CRC (Cyclic Redundancy Check) de 8 bits et d'un champ de signature de 8 bits. Le CRC de 8 bits couvre les champs réservés de 4 bits et de longueur de 12 bits et valide l'intégrité de l'en-tête. Le MPDU est rempli de 0 à 3 octets pour l'arrondir à une limite de mot de 32 bits. Une station annonce la longueur maximale d'A-MPDU qu'elle peut recevoir. La longueur maximale annoncée peut être l'une des suivantes : 8 191, 16 383, 32 767 ou 65 535 octets [40].

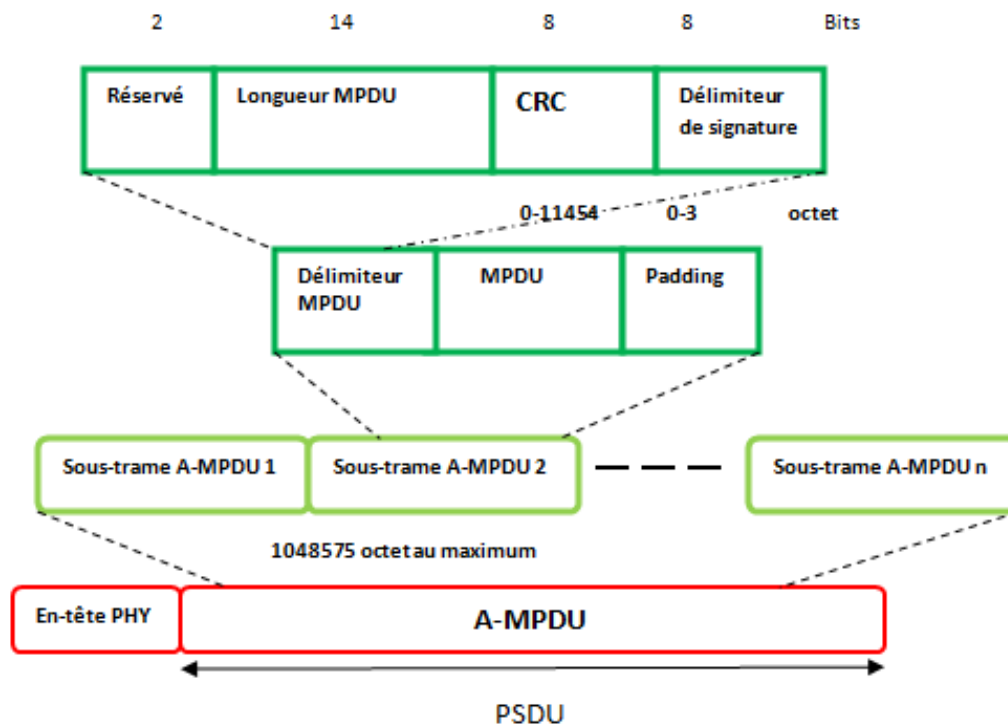


FIGURE 1.5 – Agrégation de trames A-MPDU

Aggrégation à deux niveaux : C'est l'agrégation qui regroupe les deux type d'agrégation A-MSDU et A-MPDU en deux niveaux, ainsi en premier niveau, se forment les sous-trames MSDU en rajoutant un entête et un padding pour chaque MSDU, ensuite les sous-trames MSDU seront concaténées pour former un seul A-MSDU. En-tête MAC+ A-MSDU + FCS forme une trame MPDU c'est ainsi la fin

de premier niveau d'agrégation. En deuxième niveau d'agrégation, un délimiteur MPDU et un padding seront rajoutés pour chaque MPDU, pour former une sous-trame MPDU, entête PHY+ plusieurs sous-trame MPDU concaténées forment un A-MPDU prêt à être transmis vers une station.(voire la figure 1.6).

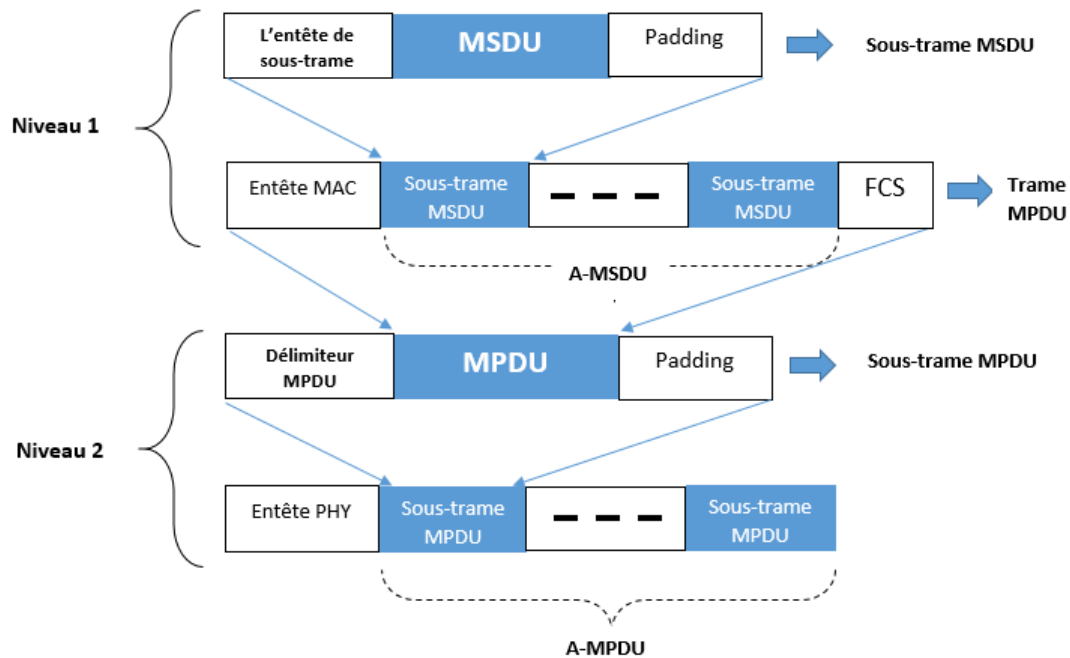


FIGURE 1.6 – Agrégation à deux niveaux

1.4.5.3 Regroupement de canaux

Regrouper deux canaux à condition qu'ils soient adjacents en un seul canal, est une solution propriétaire pendant des années. Alors le principe de regroupement est de choisir d'abord un canal principal, ainsi que la direction dont laquelle on veut l'étendre (vers le haut ou vers le haut de spectre). Avec l'arrivé de 802.11n en 2006, les doubles canaux de 40 MHz ont été normalisés ce qui veut dire, profiter d'un double canal de 40 MHz avec des équipements de différents fournisseurs, est désormais possible. Cependant, la prise en charge des canaux doubles de 40 MHz dans 802.11n est toujours facultative. Utiliser un double canal de 40 MHz pour doubler le canal, veut dire l'occupation de spectre radio est aussi doublée. Déployer un point d'accès à 2,4 GHz sur 40 MHz ne va pas laisser suffisamment de place pour les autres réseaux, on risque donc de subir des fortes interférences [13].

1.4.6 IEEE 802.11ac

Le standard IEEE 802.11ac a été publié en 2014, il s'agit d'un réseau de très haut débit (Very High Throughput (VHT)), il repose aussi sur la technique OFDM mais utilise exclusivement la bande 5 GHz. Les principales caractéristiques et améliorations de la couche PHY pour le très haut débit (VHT) dans la norme 802.11ac comprennent une plus grande largeur de bande, des flux de modulation/codage/spatiaux et le MIMO multi-utilisateur (MU) en liaison descendante. La largeur de bande du canal dans la norme

802.11ac a été élargie pour inclure des formes d'onde de 80 MHz et 160 MHz. Avec 80 MHz et quatre flux spatiaux, le débit de données maximum est de 1733,3 Mbps et avec 160 MHz et quatre flux spatiaux, le débit de données maximum est de 3466,7 Mbps en utilisant la modulation 256-QAM nouvellement définie. Une nouvelle forme d'onde non contiguë de 80+80 MHz est également incluse dans le VHT pour mieux adapter une transmission de 160 MHz au spectre disponible. Le nombre maximal de flux spatiaux passe à huit. Avec 160 MHz et huit flux spatiaux, le débit maximal de la VHT est de 6933,3 Mbps. Le VHT inclut des augmentations supplémentaires plus modestes du débit de données avec 256-QAM. Avec l'ajout du MIMO multi-utilisateur (MU) en liaison descendante à la norme 802.11, nous avons maintenant une structure de paquets à utilisateur unique SU et MU. Comme nous allons le voir, ces deux structures de paquets ont un format de préambule VHT commun. Ceci est différent de la norme 802.11n, qui a un format de préambule MF et GF[17].

Et pour la sous-couche MAC la 802.11ac propose une version améliorée de TXOP, connue sous le nom de TXOP sharing. Cette amélioration a pour but de s'adapter au nouveau service offert par le 802.11ac, qu'il s'agit de l'émission de plusieurs flux données à plusieurs stations réceptrices simultanément [18].

caractéristique	obligatoire	facultatif
Bande passante du canal	20 MHz,40 MHz,80Mhz	160MHz,80*2MHz
Taille FFT	64, 128, 256	512
pilotes de sous-porteuses de données	52/4,108/6,234/	468/16
type de modulation	BPSK,QPSK,-16/64	256-QAM
flux spatial/MIMO	1	2à8,TX beamforming,STBC,MU- MIMO

TABLE 1.2 – spécification de la couche physique 802.11ac

1.4.6.1 Accès au canal

Méthode Statique Supposons qu'une station 802.11ac tente de transmettre sur 80 MHz. Lorsque le sous-canal secondaire est occupé, par exemple, la station choisira une période Backoff de taille de la fenêtre actuelle pour redémarrer le processus de conflit et essayer jusqu'à ce que tous les sous-canaux soient libres. A noter que pour un grand nombre de sites, la probabilité d'accéder au support avec un canal aussi large serait fragilisé. Dans la figure 1.7. Il y a 3 canaux de 20 MHz utilisé par cinq stations 802.11a et 802.11n, qui sont des canaux secondaires de la station 802.11ac qui fonctionne à 80 MHz. Si le canal auxiliaire est occupé, les stations 802.11ac continuent d'écouter jusqu'à ce que tous les canaux deviennent libres [19].

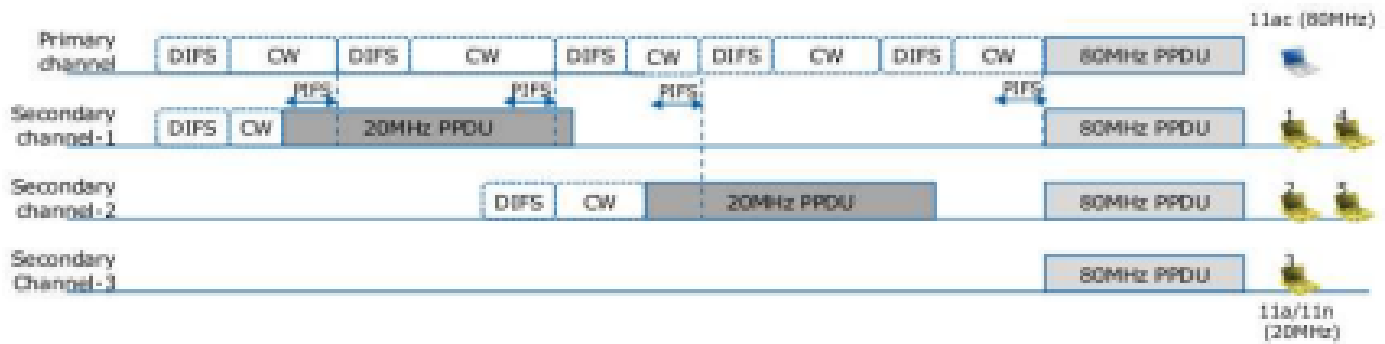


FIGURE 1.7 – Méthode d'accès statique pour IEEE 802.11ac

Méthode dynamique L'accès dynamique fonctionne comme l'accès statique, si tous les canaux secondaires sont libres avant l'expiration du backoff durant un PIFS. La différence, c'est quand des canaux secondaires sont occupés avant l'expiration du Backoff, la station peut transmettre sur des canaux étroits. La station peut émettre sur des largeurs de canaux de 20, 40, 80 et 160 MHz. Quand les canaux secondaires sont occupés, la station 802.11ac peut tenter de transmettre sur un canal plus étroit en utilisant 20/40 MHz à la place de 80 MHz (selon la CCA de chaque canal), comme illustré dans la figure 1.8 [20].

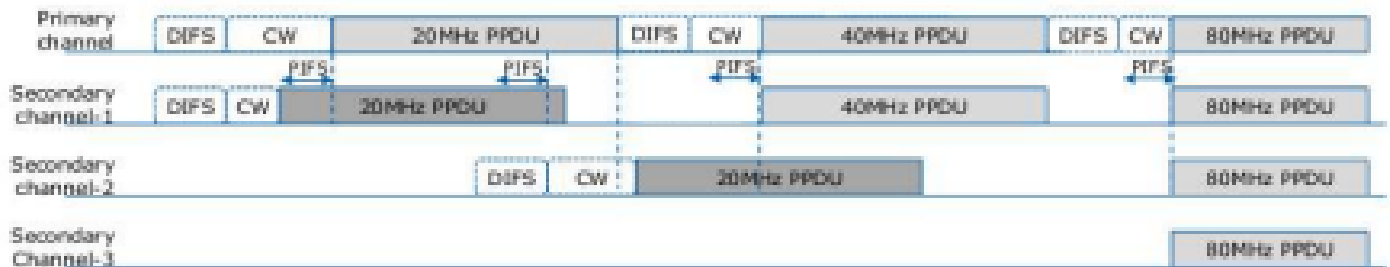


FIGURE 1.8 – Méthode d'accès dynamique pour IEEE 802.11ac

1.4.6.2 Transmit opportunity TxOPSharing

Le mécanisme TXOP a été introduit par le groupe de travail 802.11e, son objectif principal était d'assurer une qualité de service (QoS) aux réseaux IEEE 802.11. Une opportunité de transmission (TxOP) est une période limitée pendant laquelle une station peut transférer des données d'un AC (Access Category) particulier. Une fois que la TxOP a été obtenue, grâce aux procédures d'accès au canal, la station peut continuer à transmettre des trames et à recevoir des trames de réponse, tant que la durée totale ne dépasse pas le TxOP fixée pour cet AC. De cette façon, toutes les stations accédant au réseau avec un trafic de la même classe recevront, en moyenne, la même quantité de temps d'antenne. Cette équité en termes de ressources plutôt que de débit permet aux stations utilisant des débits de données élevés de transmettre plus d'informations que les stations utilisant des débits de données plus faibles. En effet, les premières enverront plus de trames que la seconde dans un TxOP de durée identique [21].

1.4.6.3 Regroupement de canaux

La norme IEEE 802.11ac introduit les bandes de fréquences 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz et 160 MHz. Les canaux adjacents à 20 MHz sont regroupés en paires pour créer des canaux de 40 MHz qui ne se chevauchent pas, les canaux adjacents de 40 MHz sont regroupés en paires pour créer des canaux de 80 MHz et les canaux adjacents ou non adjacents de 80 MHz sont regroupés en paires pour créer les canaux de 160. 802.11ac exige tous les périphériques de supporter les canaux 20, 40 et 80 MHz dans la bande 5 GHz et facultativement le canal 160 MHz [22].

1.4.6.4 DL MU-MIMO(Down Link Multi-User-Multiple Input Multiple Output)

MIMO est le premier mécanisme à être introduit dans la norme 802.11. Comme nous avons constaté dans la section du 802.11n, cette technique permet d'envoyer et de recevoir plusieurs flux en utilisant plusieurs antennes. MU-MIMO, ou SDMA en liaison descendante, est l'une des principales caractéristiques de la norme IEEE 802 11ac. Grâce à cette nouvelle technique, un débit cumulé de 1 Gbps peut être supporté. Un AP peut transmettre simultanément des groupes indépendants de flux spatiaux à plusieurs stations clientes, DL désigne la période du Downlink, la durée où les utilisateurs sont servis par l'AP [23].

Ainsi, il peut utiliser un seul accès au canal pour transmettre des données à diffusion unique à un groupe de stations. Jusqu'à quatre groupes indépendants de flux spatiaux peuvent être transmis, Dans le cas de la différenciation de service, un flux ne peut contenir que des données du même type. Les antennes disponibles au niveau de l'AP peuvent donc être utilisées pour accroître l'efficacité du système [24].

1.4.6.5 256-QAM

802.11ac a introduit la modulation 256-QAM, plus élevée, qui augmente progressivement le débit de données 802.11n. Cette augmentation est représentée par huit (8) bits codés par symbole au lieu de six (6). Cependant, il convient de noter que le rapport de signal nécessite un bruit plus élevé SNR (Signal-to-Noise Ratio) qui est nécessaire à 256-QAM par rapport à 64-QAM, par ce que les symboles de constellation sont plus proches les uns des autres, ce qui les rend plus sensible au bruit. En 802.11n, 600 Mbps est le débit de données PHY maximal réalisable en utilisant quatre flux spatiaux et une bande passante de 40 MHz. Cependant, en 802.11ac, ce débit est jusqu'à 800 Mbps [24].

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une brève description du standard IEEE 802.11, suivie d'une présentation des couches physique et sous couche MAC du standard IEEE 802.11, où nous avons présenté le fonctionnement de la couche physique et MAC de ses différents amendements commençant de la première version IEEE 802.11 legacy jusqu'à IEEE 802.11ac. Le standard IEEE 802.11, comme nous l'avons vu dans ce chapitre, a subi plusieurs améliorations et modifications dans la couche physique et la couche MAC afin d'améliorer la qualité de service, le débit, et satisfaire les exigences des utilisateurs.

Dans le prochain chapitre, nous allons étudier le fonctionnement de la future génération WiFi (norme IEEE 802.11ax), surnommée High Efficiency WLAN (HEW), aussi surnommé Wi-Fi intelligent qui est en pleine phase de normalisation et qui promet une optimisation intelligente des connexions Wi-Fi.

Chapitre 2

IEEE 802.11ax et les travaux existants

2.1 Introduction

Chaque jour des millions d'appareils wifi se connectent à internet aux domiciles des millions de personnes dans le monde entier, et chaque jour des millions d'autres sont ajoutés, bien que chaque nouvelle norme de wifi tels que 802.11n est assez désormais connue sous le nom de wifi 4 et wifi 5 offrent des débits, de plus en plus rapides. Cependant ces normes ne résolvent pas le problème de l'encombrement accru de wifi et la capacité wifi nécessaire pour gérer le nombre important d'appareils connectés. Wifi ax, la nouvelle norme en matière de wifi, qui est également connue sous le nom de wifi 6 conçu pour répondre aux exigences croissantes en matière de wifi augmentant considérablement les performances et la capacité. Le 802.11ax offre quatre fois plus de capacité que les anciennes normes wifi. Maintenant, les réseaux wifi 6 peuvent fournir jusqu'à 12 flux wifi simultanément où OFDMA est la fonctionnalité clé qui permet considérablement d'augmenter l'efficacité du wifi, avec OFDMA les réseaux wifi ax transmettent et reçoivent des données vers plusieurs périphériques simultanément.

Dans ce chapitre nous allons introduire la nouvelle norme 802.11 ax. Nous commençons d'abord par les deux bandes de fréquences utilisées par ce standard, puis nous allons parler sur les caractéristiques physiques de MAC, ainsi que les améliorations portées au niveau de ces deux couches, pour finir le chapitre par introduire quelques travaux existants sur la norme 802.11ax.

2.2 Standard 802.11ax

Le wifi ax qui est une version améliorée de standard 802.11ac, En raison de l'augmentation des services critiques pour la bande passante des canaux de communication, ainsi que de l'augmentation générale du nombre d'utilisateurs du réseau, les performances de la norme IEEE 802.11ac sont devenues insuffisantes, alors pour résoudre ce problème, la norme IEEE 802.11ax a été développée. Dans cette norme, le taux de transfert de données maximal a été augmenté à 9,6 Gbit/s en utilisant une largeur de spectre de 160 MHz. Dans la norme 802.11ax, les développeurs se sont concentrés sur l'efficacité énergétique, la capacité et la bande passante du canal de communication. L'amélioration de ces paramètres a permis de multiplier par 4 le débit moyen par utilisateur et d'améliorer l'expérience client. Cette norme représente une nouvelle aire de wifi mais il reste totalement compatible avec les anciens appareils wifi et peut également améliorer la qualité de leur connexion sans fil.

Les bandes 2,4 GHz et 5 GHz et rétrocompatibilité de 802.11ax avec les normes précédentes

Le 802.11ax est connu comme étant une technologie bi-bande, vu qu'elle peut fonctionner sur la bande 2,4 GHz ainsi que la bande 5 GHz, contrairement à la norme 802.11ac, ce qui assure une rétro compatibilité et une coexistence efficace avec les appareils 802.11a/n/ac. Par ailleurs les clients qui utilisent seul la bande 2,4 GHz peut directement en profiter. De plus la prise en charge de 2,4 de 802.11ax étend la portée de WiFi [25].

Des centaines de millions d'appareils WiFi 2,4 GHz sont encore utilisés aujourd'hui. Beaucoup d'entre eux sont essentiels à la mission, comme dans les applications médicales et de sécurité, et beaucoup d'entre eux sont coûteux et ne peuvent pas être facilement remplacés, et encore moins mis à niveau vers les dernières normes WiFi. Aujourd'hui encore, de nombreux nouveaux appareils IoT (Internet des Objets) et même certains nouveaux ordinateurs portables et Smartphones ne prennent en charge que 2,4 GHz, qui reste un élément vital dans toute bonne stratégie WiFi à long terme. Les fournisseurs d'appareils choisissent cette option car les coûts sont réduits par rapport aux capacités bi-bande, et personne ne devrait être surpris du nombre d'utilisateurs sensibles au prix qu'il y a et qu'il y aura toujours dans le monde [26].

2.3 Caractéristiques du standard 802.11ax

La norme et les spécifications 802.11ax ont été conçues à l'origine pour améliorer le WiFi pour des scénarios d'utilisation denses ; cependant, tous les environnements sans fil peuvent bénéficier des améliorations 802.11ax. Nous allons voir les détails des améliorations importantes, porté par ce standard.

Bien qu'IEEE 802.11ax soit une évolution de la norme IEEE 802.11ac, elle vise à adopter de nouvelles technologies tout en étant rétro-compatible avec les normes précédentes. En outre le groupe de travail ax envisage également la conception de nouveaux types de préambule nécessaires pour prendre en charge de nouvelles fonctionnalités. Les modifications notables proposées au niveau de la couche physique et la couche MAC pour IEEE 802.11ax sont expliquées ci-dessous.

2.3.1 De 256-QAM à 1024 QAM

Quadrature amplitude modulation, fournis la possibilité de transmettre plus de paquets, d'un façon plus efficace en modulant l'amplitude et la phase d'un signal. Le standard 802.11ac s'occupe de la prise en charge de la modulation 256-QAM, par conséquent la norme 802.11ax passe à une densité plus élevée de 1024-QAM. C'est possible de multiplier le débit par 2,5 et avoir un débit de 1,2 Gbit/s par flux spatial, mais dans des conditions optimales où un seul utilisateur se trouverait près du point d'accès. La modulation 1024-QAM marque une amélioration remarquable concernant le bruit, grâce à son association avec l'OFDMA, elle fournit donc des performances élevées avec une bande passante de 20MHz dire moins. Avec la modulation 1024-QAM le nombre de bits transmis par symbole OFDM est 10 bits/symbole, ce qui augmente l'efficacité spectrale d'un pourcentage de 25 Avec une densité plus grande, le rapport signal/bruit est particulièrement important, tan que la marge d'erreur de 1024-QAM est petite. Au fil des années précédentes, des nouvelles technologies radio améliorées ainsi que des techniques de filtrage bien précises, ont été commercialisées afin de traduire cette densité accrue par des

débits de données plus élevé [27].

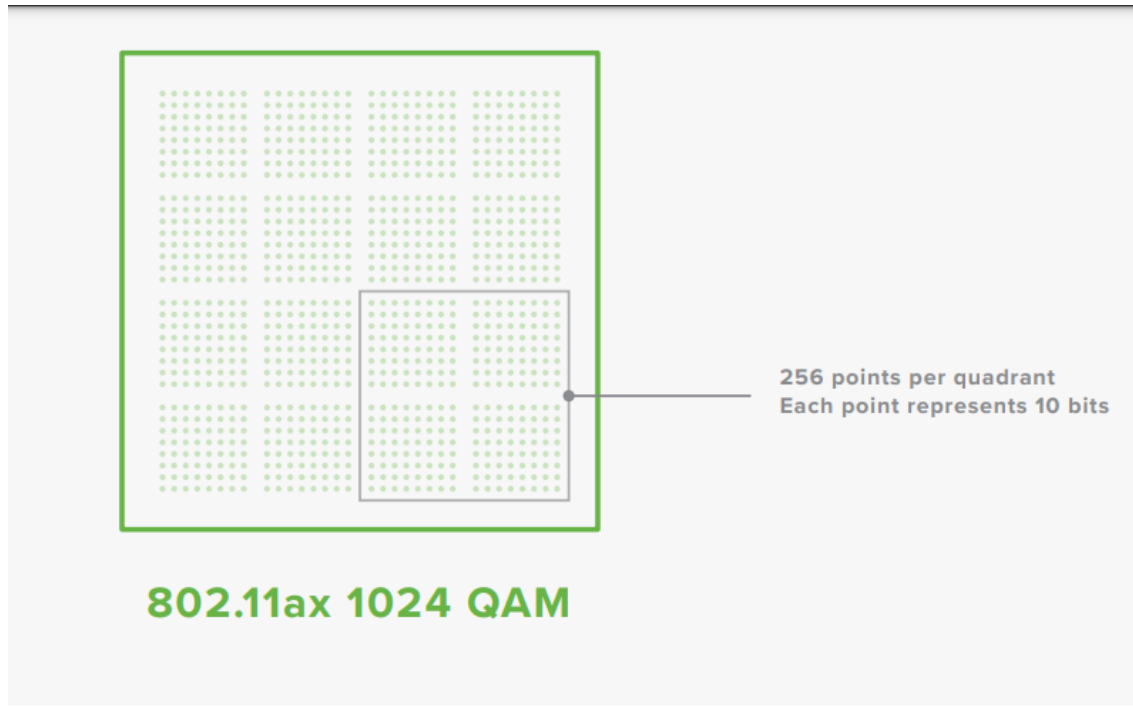


FIGURE 2.1 – Modulation 1024-QAM avec le Wi-Fi 6 (10 bits par symbole)

2.3.2 Codage physique LDPC ET BCC

Décision de codage physique (LDPC et BCC) : schéma de correction d'erreur directe (FEC : forward error correction) par défaut proposé pour IEEE 802.11n et IEEE 802.11ac est basé sur le codage par convolution binaire (BCC) avec entrelacement de fréquence par symbole de multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM). L'utilisation du contrôle de parité à faible densité (LDPC) est facultative et n'a pas encore reçu beaucoup d'attention de la part du WLAN en raison de son coût de calcul élevé. Cependant, il a été démontré que les codes LDPC peuvent fournir des gains significatifs (en termes de capacité) par rapport au BCC. IEEE 802.11ax propose d'utiliser LDPC lors de l'utilisation d'une large bande passante (c'est-à-dire, la liaison de canaux) et d'utiliser BCC dans des bandes passantes plus étroites[28].

2.3.3 PPDU(Physical-layer Protocol Data Unit) :

Quatre formats d'unité de données de protocole de convergence de couche physique (PPDU) de standard IEEE 802.11ax sont définis pour prendre en charge : utilisateur unique (HE SU PPDU), multi-utilisateur (HE MU PPDU et HE PPDU basé sur un déclencheur) et transmissions à portée étendue (HE ER SU PPDU), comme le montre la figure 2.2. Le préambule de tous ces formats PPDU contient une partie de préambule héritée pour prendre en charge la coexistence avec les STA héritées(c'est-à-dire pour assurer la rétrocompatibilité avec les standard 802.11a/b/g/n/ac), qui est suivie d'une partie de préambule HE pour prendre en charge les fonctionnalités améliorées d'IEEE 802.11ax [42].

- PDU HE SU : st utilisé pour la transmission mono-utilisateur uniquement (vers une seule STA ou le point d'accès), tandis que le PDU HE MU est utilisé pour la transmission multi-utilisateur (vers une ou plusieurs STA).
- PDU HE MU :est conçu pour la transmission OFDMA et/ou MU-MIMO, ce qui nécessite que le champ HE SIG-B affecte une ou plusieurs STA dans un PDU. Une STA peut également transmettre une PDU HE MU à l'AP qui prend en charge sa réception.
- HE extended range SU PDU : PDU SU à portée étendue HE est utilisé pour la transmission SU, qui est destinée à la transmission à portée étendue vers une seule STA ou l'AP. Contrairement aux autres formats PDU, ce format PDU contient un champ HE-SIG-A qui a une répétition de chaque symbole et un préambule à puissance accrue pour des performances fiables avec une couverture plus longue.
- HE trigger-based PDU : PDU basé sur un déclencheur à haute efficacité : Le PDU basé sur un déclencheur à haute efficacité est utilisé pour la transmission UL MU qui est une réponse à une trame de déclenchement. Ce format PDU est identique au format HE SU PDU, sauf qu'il utilise une plus grande longueur de champ HE STF dans la partie de préambule HE. Au lieu d'utiliser le champ HE-SIG-B, les informations requises pour la transmission UL MU depuis un ou plusieurs STA sont transportées par la trame de déclenchement qui initie cette transmission.

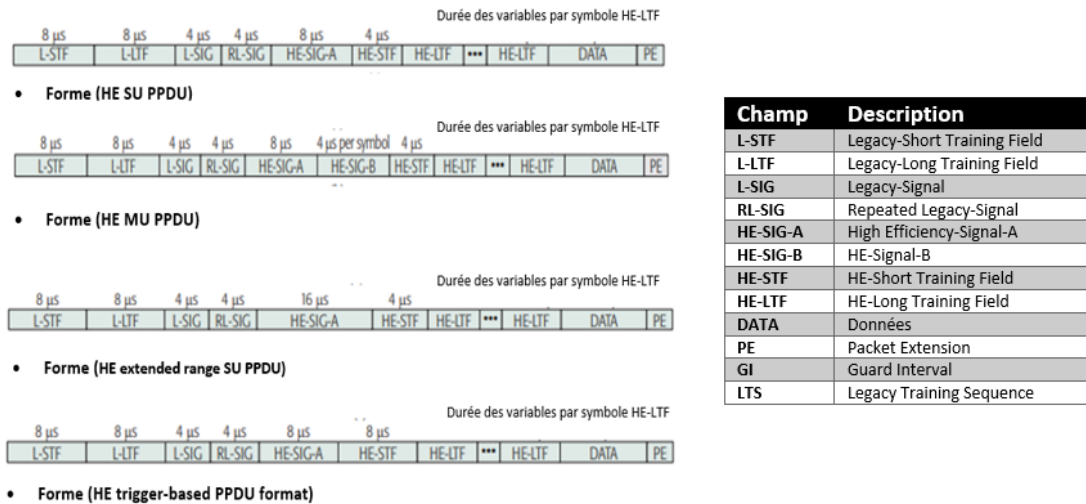


FIGURE 2.2 – Les Différentes format PDU dz standard 802.11ax

2.3.4 Couleur BSS(Basic Service Set)

C'est une caractéristique ajouté à la norme 802.11 ax, afin d'amélioré l'efficacité et l'opération de wifi, particulièrement en cas de plusieurs points d'accès fonctionnant à proximité. Le 802.11ax utilise l'identifiant non unique du BSS, appelé couleur BSS, Pour déterminer quel BSS est à l'origine d'une trame sans décoder la totalité de la trame. A la base, couleur BSS est apparu en 802.11ah pour réduire la consommation d'énergie dont le champ de couleur BSS est d'une longueur de 3 bits, ainsi le récepteur peut arrêter de décoder une trame provenant d'un BSS étranger. Étant donné le point d'accès sélectionne la

couleur du BSS aléatoirement, cependant les couleurs de deux BSS voisins peuvent coïncider ou entrer en collision en termes de 802.11ax. Pour diminuer la probabilité de collision de couleur BSS, TGax d'augmenter la longueur du champ de couleur BSS à 6 bits. En cas de collision, les STA associées à un AP peuvent l'informer de la collision et l'AP lancera une procédure de changement de sa couleur BSS. Pour cela, il annonce la future couleur BSS et le moment où la couleur sera changée en envoyant des éléments d'information spéciaux dans les balises. Ainsi, tous les STA, même ceux qui somnolent peuvent obtenir informations sur le changement de couleur BSS. L'identification d'un BSS par le champ de couleur BSS est utilisée pour déterminer les règles d'accès au canal et pour les mécanismes d'économie d'énergie. Pour désactiver la couleur BSS pour une trame particulière, le champ de couleur BSS de cette trame est mis à zéro [13].

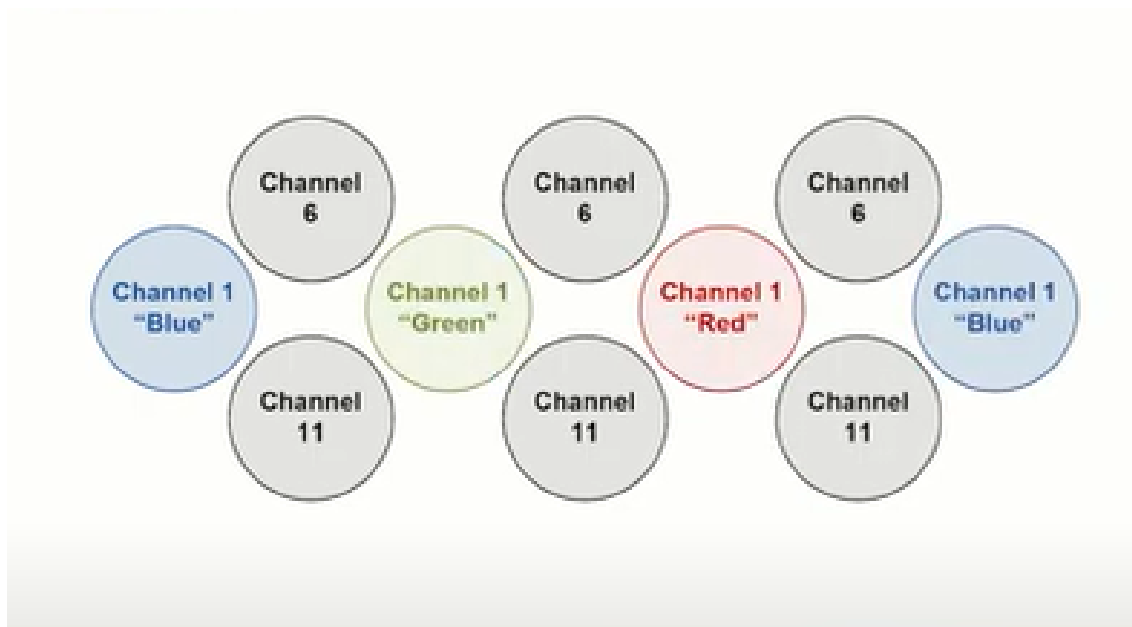


FIGURE 2.3 – Exemple sur le Principe de BSS color sur la bande des fréquences de 2.4 GHz

Sur la figure 2.3, nous nous référons ici au BSS qui se chevauchent, nous nous sommes concentrés sur ces trois canaux (1, 6, 11), mais dans un environnement de déploiement multipoints d'accès, il sera nécessaire de réutiliser ces canaux encore et encore, en d'autres termes ici dans cette figure, nous devons réutiliser le canal 1 dans une proximité relativement proche, de sorte que nous obtiendrons généralement des BSS (s) qui se chevauchent, de sorte qu'une station fonctionnant maintenant dans la région de chevauchement pourrait détecter la porteuse et choisir capter les interférences provenant d'autres stations ou du point d'accès au sein de son ensemble de services de base, mais également capter les interférences des stations et des points d'accès de l'ensemble de services de base voisin, tous deux fonctionnant à nouveau sur le canal 1.

2.3.5 Multiple NAVs(Network Allocation Vectors)

La détection de porteuse virtuelle en Wi-Fi, appelée NAV, est organisée comme suit : Dans l'en-tête MAC, une STA indique la valeur NAV, c'est-à-dire pendant combien de temps l'échange de trame suivant occupera le canal. Après avoir correctement décodé la trame, les autres STA établissent NAV, c'est-à-dire qu'ils considèrent que le canal est occupé pendant le temps indiqué. Si une STA reçoit une trame indiquant

une valeur NAV plus grande, elle va augmenter son propre NAV, mais la STA ne diminue pas le NAV même si la valeur NAV indiquée est plus petite. La STA annule son NAV, si elle reçoit une trame CF-End. Supposons qu'une trame du même BSS fixe la valeur NAV à une STA. Après cela, la STA reçoit une trame CF-End provenant d'un BSS superposé (OBSS). Selon les règles existantes, la STA réinitialisera le NAV et ne considérera plus le support comme étant virtuellement occupé. Étant donné que la STA peut ne pas entendre une transmission en cours qui était protégée par un NAV, elle peut démarrer sa propre transmission, ce qui provoque une collision. Comme le déploiement dense n'était pas un scénario courant auparavant, une telle situation n'a pas fait l'objet de recherches approfondies. Cependant, ce raisonnement n'est plus vrai pour les réseaux 802.11ax. Ainsi, pour empêcher la réinitialisation de NAV par CF-End à partir d'un OBSS, les STA 802.11ax prendront en charge deux NAV : inter BSS pour leur propre BSS et l'autre intra BSS pour tous les OBSS, et ils modifieront les NAV séparément[13].

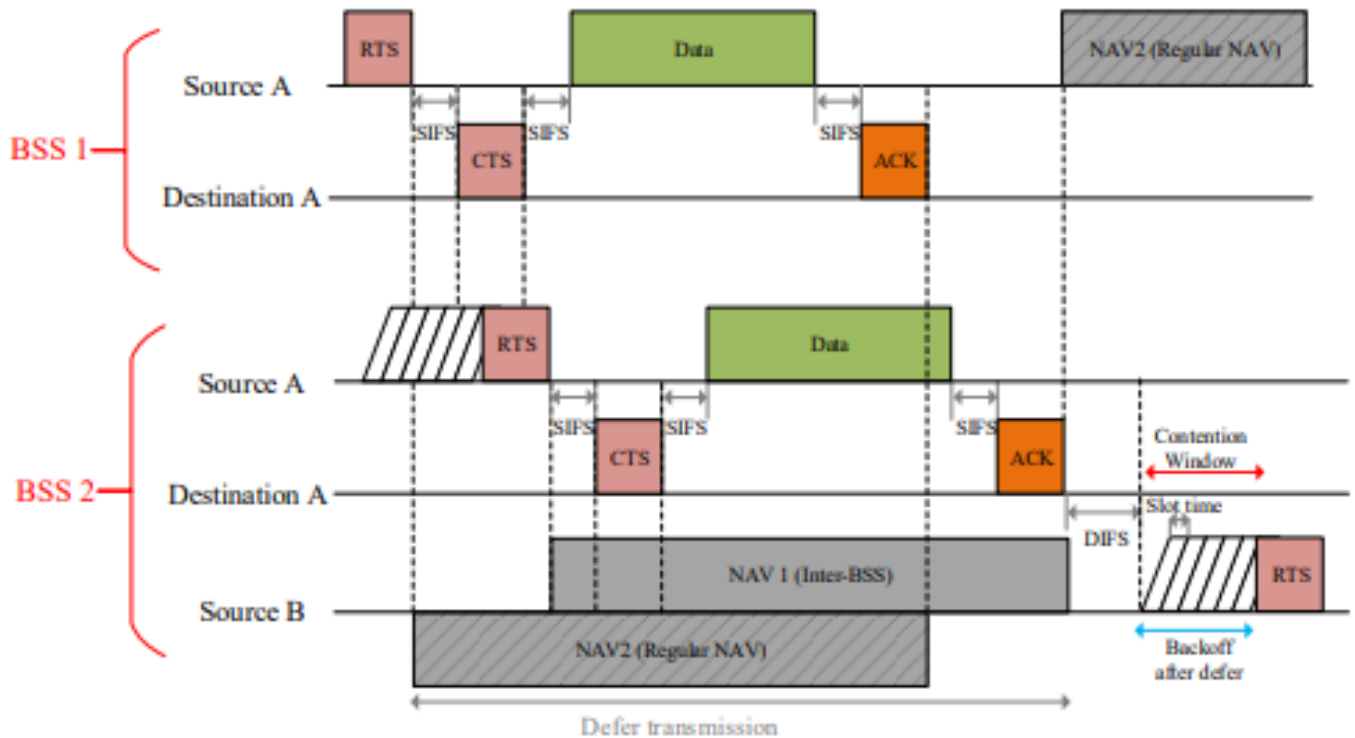


FIGURE 2.4 – Séquence d'échange de trame pour schéma de réutilisation spatiale basé sur plusieurs NAV.

2.3.6 OFDMA

Le principal changement par rapport au standard précédent c'est l'introduction de la technologie de multiplexage par division orthogonale de fréquence en liaison montante et descendante (OFDMA). 'OFDMA subdivise un canal Wi-Fi en allocations de fréquences plus petites, appelées unités de ressources (RU), ce qui permet à un point d'accès (AP) de synchroniser les communications avec plusieurs clients individuels affectés à des unités de ressources spécifiques. En subdivisant le canal, de petites trames

(comme la vidéo en continu) peuvent être transmises simultanément à plusieurs utilisateurs en parallèle (voir la figure 2.5). La transmission simultanée réduit la surcharge de la sous-couche de contrôle d'accès au support (MAC), ainsi que la surcharge de contention du support. Ainsi que les frais de contention du support. L'AP peut allouer l'ensemble du canal à un seul utilisateur ou le partitionner pour servir plusieurs utilisateurs simultanément, en fonction des besoins de trafic des clients. La largeur de bande maximale s'élève à 160 MHz, et permet jusqu'à 74 utilisateurs simultanés. Un seul utilisateur actif constitue un cas spécial d'OFDMA. Une seule unité de ressource absorbe alors l'ensemble de la bande passante[26].

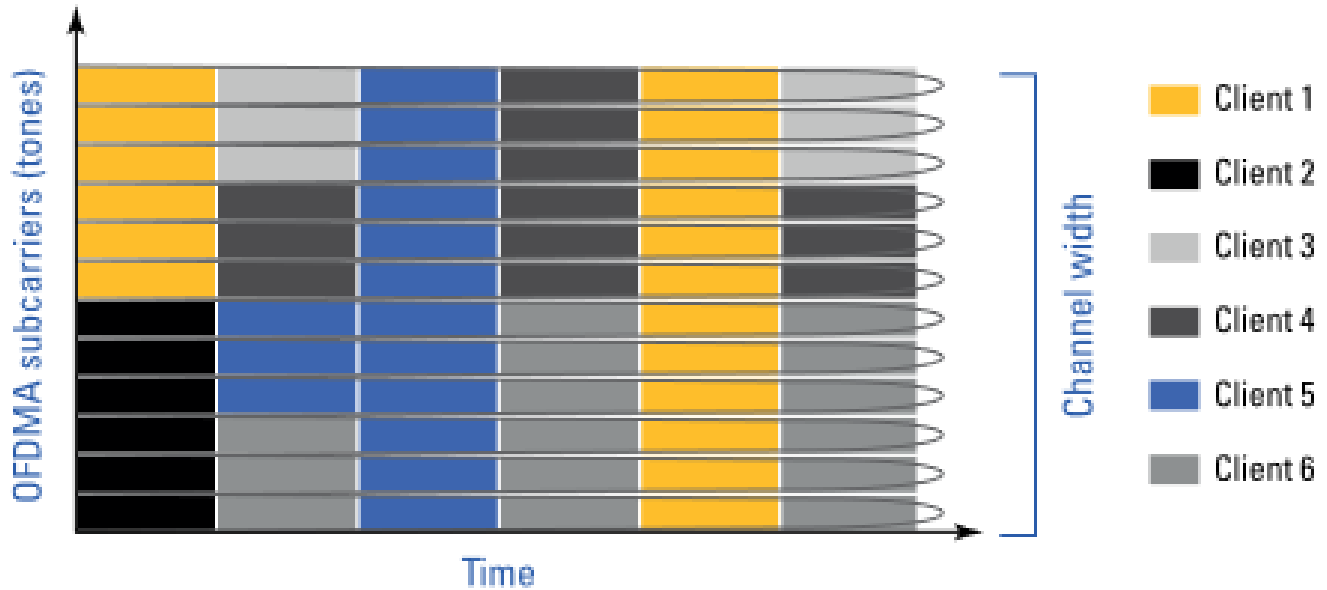


FIGURE 2.5 – OFDMA — Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

2.3.7 Full duplex

La communication full duplex a été bien exploré au cours de la dernière décennie, avec plusieurs conceptions de couches physiques proposées pour doubler efficacement le débit des appareils mobiles. Cependant, ces systèmes sont loin d'être bien déployés dans les applications Wi-Fi et cellulaires, où la plupart des recherches ont été effectuées. La communication full duplex peut effectivement doubler le débit des systèmes de communication sans fil en supprimant l'auto-interférence. Malgré les avantages évidents de cette technologie, l'adoption par l'industrie de son intégration dans les appareils cellulaires et Wi-Fi de base a été très limitée. Malgré les gains importants de débit des systèmes en full duplex, certains problèmes pratiques l'empêchent de se déployer à grande échelle contrairement aux avancées telles que le MIMO multi-utilisateurs qui sont omniprésents[30].

Il est possible de configurer la communications radio Full Duplex selon ces 4 types suivant :

- Full Duplex Bidirectionnel (BFD) : permet un point d'accès et une station, de transmettre et recevoir vers et depuis l'autre simultanément.
- Full Duplex unidirectionnel (UFD) : le point d'accès peut emettre vers une station au même temps recevoir d'une autre.

2.4 Travaux existants sur IEEE 802.11ax

Dans cette partie de chapitre, nous présentons un ensemble de propositions, études et travaux, sur IEEE 802.11ax

2.4.1 Le protocole In-Frame Querying

La proposition de Lee et al [32]. a pour but de trouver instantanément les stations candidates, qui peuvent prendre en charge la capacité de Full Duplex avec un point d'accès. L'idée de cette méthode, est de trouver la relation cachée avec les stations, afin de préciser au processus d'In-Frame Querying, les stations candidates pouvant utiliser la fenêtre d'opportunité (OW).

Lors d'une communication DL lourde, entre un AP et une station donnée sur le réseau : Si la station a un trafic UL à émettre, la fenêtre d'opportunité débutera à la fin de la fin de cette transmission.

Afin de désigner la station gagnante, les stations candidates qui connaissent une relation cachée, envoient leur station-ID, qui se compose de 12 bits au point d'accès. Si le point d'accès reçoit les 12 bits de station-ID décodable, l'AP annonce la station gagnante, ainsi la station qui comporte cet ID commence sa transmission UL immédiatement. Si l'AP n'a pas pu décoder le signal (12 bits de station-ID) à cause d'une collision, les stations candidates suivent le comportement de backoff exponentielle binaire.

2.4.2 Protocole O2-MAC

Est le premier protocole proposé par Lee et al Dans [34]. qui a pris en considération les différentes configurations de Full Duplex existantes dans la norme 802.11ax, ainsi les principaux objectifs soulignés par ce protocole est de trouver une solution pour pouvoir utiliser pleinement les transmissions et réceptions simultanément, et de pouvoir déterminer l'émetteur pour l'accès au canal avec peu de surcharge.

Pour la réalisation le groupe de travail a proposé l'ensemble des étapes suivantes

1. Chaque sous-porteuse possède un numéro, ainsi la sous-porteuse numéro '0' est réservé à l'AP.
2. En phase d'association (chaque station est associée à une sous-porteuse disponible)
3. Lorsqu'une station (y compris l'AP) a des données à envoyer, elle doit attendre un temps DIFS (Distributed Inter-Frame Space), puis elle doit envoyer un signal dans sa sous-porteuse à travers le premier symbole OFDMA.
4. L'AP détermine le rôle de chaque station en conséquence de signal porté par la sous-porteuse, c'est à dire quelle station devient elle PT (émetteur primaire), PR (récepteur primaire), ST (émetteur secondaire), SR (récepteur secondaire)
5. Dans le deuxième symbole OFDMA, pour une communication Full Duplex, l'AP sélectionne d'abord la configuration bidirectionnelle si elle est disponible, sinon il opte à sélectionner la configuration unidirectionnelle.
6. Si l'AP échoue dans la sélection, la transmission Half Duplex va être effectuée.

2.4.3 Protocole In-Frame Querying amélioré

Est une version améliorée de protocole In-Frame Querying, proposé par Hocini et al dans [35]. afin de contrôler et gérer la fenêtre d'opportunité, en introduisant une nouvelle méthode déterministe basé sur OFDMA.

Les objectifs soulignés par cette version, est d'augmenter la quantité de donnée transmise par UL pour augmenter le débit et diminuer le gaspillage de la bande passante. Pour atteindre cet objectif, les auteurs de ce protocole ont proposé :

- Subdiviser le canal de 20 MHz en 256 sous porteuse à l'aide de la technique OFDMA, ainsi chaque sous porteuse doit être 78.125 KHz de taille.
- Seulement 234 sous porteuse parmi les 256, est réservée aux données.
- Chaque sous porteuse est désignée par un numéro de "0" à "234", en prenant compte que la sous porteuse portant le numéro 0 est réservé au AP.
- Chaque sous porteuse est attribuée à une station réseau, le moment de son association au AP.

Le nombre de stations dans le réseau est de 233 et il peut prendre en charge les réseaux denses à haut rendement IEEE 802.11ax. Ici, l'inconvénient est une perte de débit DL, cependant si l'on considère qu'il y a 234 sous-porteuses de données alors la perte est inférieure à $1/234$ du débit DL.

2.4.4 Protocole Extension-O2-MAC

Le protocole O2-MAC n'a pas pris en compte le problème des stations cachées, ainsi sa version améliorée appelé Extension-O2-MAC proposé par Hocini et al dans [31]. Prenant en considération, le problème des stations cachées dans les transmissions Full Duplex, afin de maximiser les opportunités des transmissions correctes et sans interférence, pour maximiser le débit.

Cette extension est basée sur deux techniques de standard 802.11ax, OFDMA et Full Duplex, ainsi pour la réalisation il faut passer par ces deux phases suivantes :

phase 1 : est appelé phase de signalisation, pour préparer la phase de transmission des données, on liste les besoins des stations comportant la trame UL, puis établir un canal d'accès entre les différents types de configuration Full Duplex, et également sélectionner les nœuds cachés dans le mode UFD.

phase 2 : est appelé phase de transmission de données, consiste à transmettre des données selon les différentes configurations (BFD, UFD, DLHD, ULHD) indiquées par AP lors de la phase de signalisation.

Il peut avoir quatre cas différents comme suit :

- Cas 01 : si AP a un trafic DL vers la station et que cette dernière a un trafic UL vers AP alors transmission bidirectionnelle full duplex (BFD).
- Cas 02 : si AP a un trafic DL vers la station et qu'une autre station a un trafic UL vers AP, également si les deux stations sont masquées, alors transmission unidirectionnelle en duplex intégral (UFD).

2.4.5 Un protocole MAC efficace pour utiliser les liaisons UL sans collisions

Kim et al dans [33]. on proposé ce protocole pour pouvoir utiliser les liaisons UL, sans échanges des paquets de contrôle et sans collisions. Pour cela, il faut d'abord trouver une paire de stations cachées, qui permettra par la suite de trouver des stations avec un trafic UL dans la relation cachée avec une station à trafic DL, et il offre des opportunités de transmission pour équilibrer la quantité de trafic dans les deux sens.

Après une transmission UL depuis une station bidirectionnelle, la détection de nœud cachée est terminée, ainsi chaque station décide son état par soi même

Lorsque une station envoie un paquet à un AP, qui envoie à son tour un signal occupé à travers une sous porteuse OFDM

Les stations bidirectionnelles et cachées, transmettent un paquet, si la tonalité d'occupation est inactive, et ça après avoir attendu un RIFS-SIFS+Timelost*(Random Backoff).

2.4.6 Protocole des chaînes cachées

Ce protocole qui était proposé par Ahn et al dans [33]. A posé le problème de déséquilibre entre les trafics UL et les trafics DL, dans les réseaux Full Duplex. Cependant ce protocole vise à équilibrer les trafics UL et les trafics DL, ainsi il se compose de deux schémas :

1. Permet à une liaison montante de transmettre un ACK, au même temps qu'une liaison descendante transmet des données, si l'ACK de UL et les données de DL ont une relation de terminale cachée. Cela peut réduire le gaspillage de l'espace de la liaison montante.
2. L'AP envoie une requête en fournissant une opportunité de transmission de données en UL, vers une autre station, après la transmission UL en cours, tant que la période DL est valable.

La station qui reçoit la requête doit être une DL où cachée.

2.4.7 Protocol ECC-FDRC (Efficient and Coordinated Control Protocol of Full Duplex Radio Communications)

Hocini et al[43]. Ont proposés un protocole de contrôle efficace et coordonné des communications radio Full Duplex fonctionnant sur un canal de 20 MHz subdivisé en 256 sous-porteuses par la technique OFDMA. Il se compose principalement de deux phases, la phase de signalisation primaire et la phase de transmission.

1. **La phase de signalisation primaire** : qui se déroule à travers les étapes suivantes dont le point d'accès :
 - Inviter toutes les stations du réseau à envoyer leurs besoins en termes de trafic UL,
 - Collecter des informations (à savoir, l'identifiant de la station et la taille de sa trame UL) sur le trafic UL de toutes les stations du réseau.
 - Sélectionner un mode de transmission et désigner une station pour démarrer la deuxième phase.

2. **La phase de transmission** Selon la station désignée lors de première phase, nous distinguons trois modes de transmission qui peuvent être, choisis dans l'ordre suivant en fonction de la disponibilité des trafics DL et UL, respectivement vers et depuis chaque station associée avec le point d'accès : transmission BFD, transmission FD bidirectionnelle fictive (IBFD) et transmission ULHD. Au début de la phase de transmission, la phase de signalisation primaire rejette le mode de transmission UFD et introduit un nouveau mode de transmission, qui est la transmission DBFD au lieu du mode de transmission DLHD.
- Le mode de transmission BFD est sélectionné en premier lieu pour les avantages qu'il garantit : D'une part, il permet au point d'accès d'émettre une trame DL et de recevoir une trame UL sans interférence, respectivement vers et depuis la même station. D'autre part, au moyen d'une transmission BFD, les stations restantes du réseau peuvent déterminer s'ils sont cachés ou exposés par rapport à la station en cours de communication avec le point d'accès. La station désignée pour communiquer avec le point d'accès en mode BFD est choisie au hasard parmi les stations ayant à la fois une trame DL à recevoir et une trame UL à émettre. La possibilité d'opter pour le mode d'émission UFD pour lancer la phase d'émission est totalement écartée lors de la phase de signalisation primaire, en conséquence du risque potentiel d'interférence que présente ce mode de transmission.
 - Le nouveau mode de transmission IBFD est sélectionné en deuxième lieu car il ressemble plus au mode de transmission BFD et représente le mode de transmission DLHD. Il faut donc que la station candidate pour recevoir une trame DL, lorsque sa file d'attente de transmission UL est vide, pour envoyer une trame UL factice en mode BFD (d'où le nom IBFD) afin de bénéficier des avantages apportés par le mode de transmission BFD. La station désignée pour communiquer avec le point d'accès en mode IBFD est choisie aléatoirement parmi les stations DL n'ayant qu'une Trame DL à recevoir.
 - Le mode de transmission ULHD est finalement sélectionné. En fait, c'est un cas particulier qui se présente lorsque la file d'attente de transmission DL du point d'accès est vide. La station désignée pour communiquer avec l'accès point en mode ULHD est choisi aléatoirement parmi les stations UL n'ayant qu'une trame UL à émettre.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le standard IEEE 802.11 ax, où nous avons exposé le fonctionnement et les principales caractéristiques technologiques, ainsi les améliorations portées par ce standard. Afin d'améliorer la qualité de service, le débit et surtout satisfaire les exigences des utilisateurs dans des environnements dense, l'amendement IEEE 802.11ax, a traversé par plusieurs modifications dans les deux, couche physique et MAC. Le mécanisme Full Duplex est comme l'une des solutions augmenter le débit du réseau global. A la fin de ce chapitre nous avons présenté quelques travaux et propositions existants sur cette génération des réseaux.

Chapitre 3

Proposition, Simulation et évaluation de performances

3.1 Introduction

La densité que les réseaux d'aujourd'hui notamment sans fil plaignent, a créé une exigence sur un débit plus élevé, et pour répondre à cette exigence, il est nécessaire d'étendre la capacité de canal sans fil, ainsi une nouvelle radio dite radio Full Duplex, basée sur une antenne d'annulation d'interférences a été introduite [36]. Cette technique permet désormais le partage de canal pour émettre et recevoir simultanément des données [37]. Et surtout augmenter le débit théorique fournis par la radio Half-Duplex.

Dans ce chapitre, nous allons présenter notre proposition, ainsi que l'évaluation de ses performances.

3.2 Problématique

Désormais un point d'accès peut transmettre, recevoir des données de et vers plusieurs stations, grâce aux deux techniques offertes par le standard 802.11ax, la communication Full Duplex et la technique OFDMA qui n'était pas introduite auparavant dans les standard précédent. Le 802.11ax a adopté la technologie Full Duplex, pour augmenter considérablement les performances de futur WLAN. Les transmissions et réceptions simultanées fournies par la communication Full Duplex, peuvent déduire la raison de la perte de la trame et essayer de détecter une collision plutôt que de l'éviter, malgré toutes ces avantages, les problèmes MAC marquent encore leur présence, par exemple comment trouver instantanément les stations candidates qui peuvent prendre en charge la capacité de full Duplex avec un point d'accès.

Mais surtout ce qu'il faut prendre en considérations dans les communications Full Duplex, l'asymétrie entre les trafics UL et DL, causée par la différence de taille entre la trame DL et la trame UL (trame DL est souvent plus grande que la trame UL) cette différence de taille qui génère une fenêtre dite fenêtre d'opportunité (ow). Toutes ces informations nous offre la possibilité de réaliser un modèle de communication Full Duplex déroulant sur des canaux larges en résolvant le problème :

- Comment contrôler la fenêtre d'opportunité, et comment la gérer d'une façon efficace avec toutes les configurations de la communication Full Duplex, sur les canaux larges.

3.3 Motivations et objectifs

Le protocole ECC-FDRC proposé par Hocini et al dans [43]. A réussi à trouver une méthode efficace, qui permet de gérer la fenêtre d'opportunité, avec les différents types de la communication Full Duplex, mais ce protocole opère uniquement sur un canal de 20 Mhz, et pas encore adaptable pour supporter les bandes plus large.

L'objectif de notre travail est de trouver une proposition d'un protocole MAC Full Duplex, pour les réseaux denses, sur des canaux plus large, pour résoudre le problème de l'asymétrie des trafics DL et UL, et trouver une façon pour contrôler et gérer efficacement la fenêtre d'opportunité, sur des canaux larges, afin d'augmenter le débit.

3.3.1 Description du protocole proposé

Pour initier, ce protocole est une adaptation du protocole ECC-FDRC[43]. basé sur les techniques de la norme 802.11ax, Full Duplex et le regroupement des canaux, qui fonctionne sur un canal radio du 40 et 80 MHz, divisés en 468 et 1024 sous-porteuses respectivement de 78,125 KHz chacune, seulement 467 sous-porteuse pour le canal du 40 Mhz et 980 sous-porteuse pour le canal 80 Mhz peuvent être utilisées par les données, cela signifie quelle sont numéroté de '0' à '467' et de '0' à '979'. La sous-porteuse numéro '0' est réservée au point d'accès, qui est une station spéciale, qui gère le réseau et le trafic DL, qui est plus lourd que le trafic UL.(voire la figure 3.1) et les sous-porteuse de '1' à '467' et de '1' à '979'(40, 80 respectivement)sont allouées par les stations d'une façon au hasard[39].

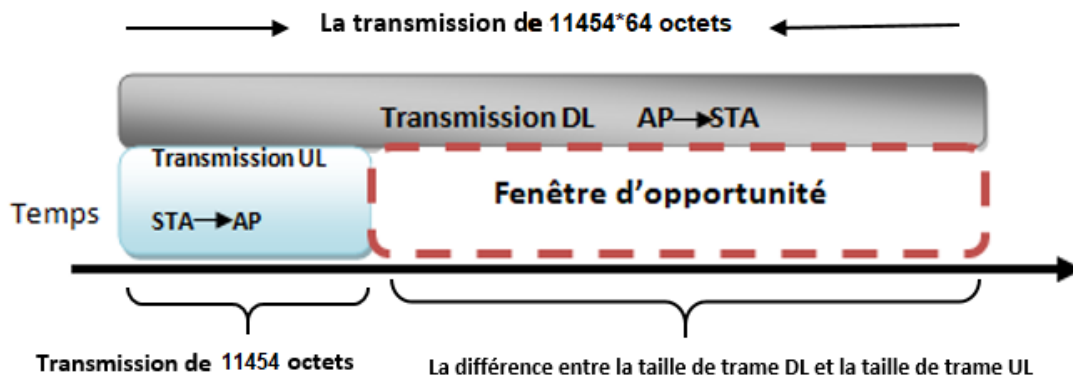


FIGURE 3.1 – Le déséquilibre entre le trafic UL et DL

3.3.2 Fonctionnement du protocole

Notre proposition se réalise en deux phases essentiel, la phase de signalisation et la phase de transmission. Les étapes de ces deux phases sont expliquées dans ce qui suit :

1. **Phase de signalisation** : c'est la période où l'AP répertorie les besoins des stations disposant des flux de données UL, établir une politique d'accès statique au canal radio et sélectionner la

station qui va communiquer avec le point d'accès. C'est aussi la période préparative de la phase de transmission. Cette période est subdivisée en trois étapes, où chaque étape est représentée par un temps du symbole OFDM de $13,6\mu$.

- **Étape 1** : Le point d'accès émet un signal de durée symbole OFDM sur sa propre sous-porteuse 0, sollicitant les stations du réseau à exprimer leurs besoins d'une transmission UL, afin de synchroniser les stations à émettre simultanément avec la transmission DL.
- **Étape 2** :Après que les stations de réseau reçoivent le signal de point d'accès, les stations qui ont un flux de données UL vers l'AP, répondent par signal dans un symbole OFDM dans les sous-porteuses qui les correspondent, puis l'AP collecte les besoin de ces stations et construit la table de trafic UL et compare cette dernière avec la table de trafic DL qu'il possède localement. Cette étape consiste à identifier le flux de données UL des stations vers le point d'accès.
- **Étape 3** : L'AP émet , dans sa sous-porteuse '0' un signal dans un symbole OFDM pour désigner la station gagnante qui participera à la communication ainsi que le mode de communication, puis informer la station elle-même et les autres stations du réseau de sa désignation. Grâce à la comparaison faite en première étape, le point d'accès favorise en premier lieu, la transmission Full Duplex Bidirectionnelle (BFD) si elle est disponible, Sinon il tente de sélectionner le full duplex Bidirectionnel Imaginaire (IBFD).

2. **Phase de transmission** :Avant la transmission Full Duplex et après la sélection aléatoire de la station :

1. Si la station désignée a des données UL à transmettre, La communication radio Full Duplex bidirectionnelle BFD commence entre l'AP et une station désignée par l'AP, qui transmet sa trame DL, au même temps la station envoi sa trame, cette transmission simultanée est possible grâce à l'antenne d'annulation d'auto-interférence au niveau de la couche physique.(voire la figure 3.2)

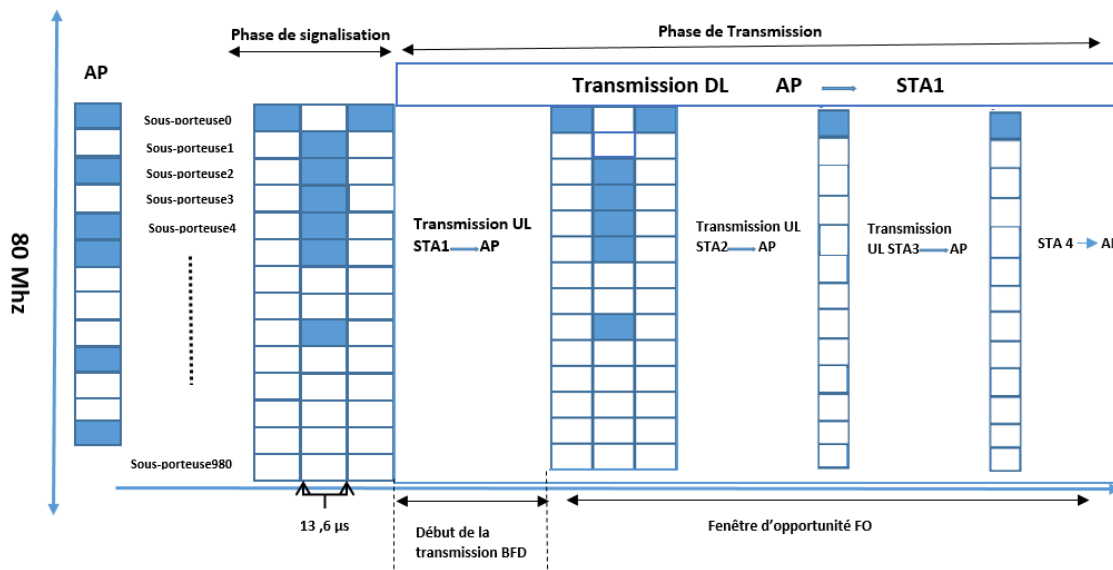


FIGURE 3.2 – Exemple illustratif du fonctionnement de notre proposition en cas de BFD

La communication radio Full Duplex bidirectionnel débute, lors l'AP initie sa transmission DL vers la station désignée, et cette dernière transmet sa trame UL.

La fin de la transmission UL, et le déséquilibre entre le trafic UL et DL génère la fenêtre d'opportunité (voir la figure 3.2), et le point d'accès prend en charge le contrôle ainsi que la gestion de la fenêtre d'opportunité en suivant les étapes suivantes :

- À la fin de la transmission UL, la transmission DL est toujours en cours, alors l'AP transmet un signal dans sa sous-porteuse '0' et les stations cachées qui ont des trames UL à transmettre, expriment leurs besoins de transmettre, en envoyant des signaux par leurs sous-porteuses en utilisant un symbole OFDM de durée de $12.8 \mu\text{s}$.
 - L'AP recueille les besoins des stations cachées qui ont une trame UL à transmettre, puis désigne au hasard une station cachée pour remplir la fenêtre d'opportunité, à condition que la taille de sa trame soit suffisamment petite par rapport à la fenêtre d'opportunité.
 - Tant que la fenêtre d'opportunité n'est pas encore remplie, l'AP réitère une autre station cachée qui a une trame UL à transmettre.
 - La dernière étape se reproduit jusqu'à ce que la transmission DL et la fenêtre d'opportunité s'achèvent.
2. Si la station n'a pas de données à transmettre, une communication Full Duplex Bidirectionnel Imaginaire est produite et dans ce cas, la station en question est obligée d'envoyer une trame vide pour trouver des stations cachées, figure 3.3.

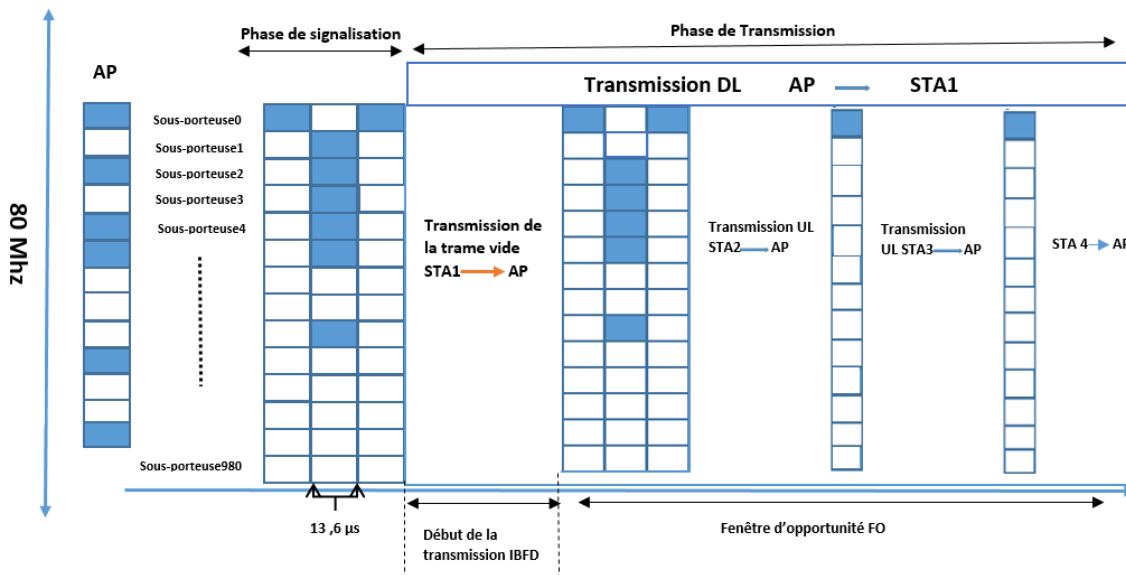


FIGURE 3.3 – Exemple illustratif du fonctionnement de notre proposition en cas de IBFD

3. si la station a du trafic UL vers le point d'accès et que ce dernier n'a pas de trafic vers les stations, alors transmission Up Link Half-Duplex ULHD est produite, figure 3.4.

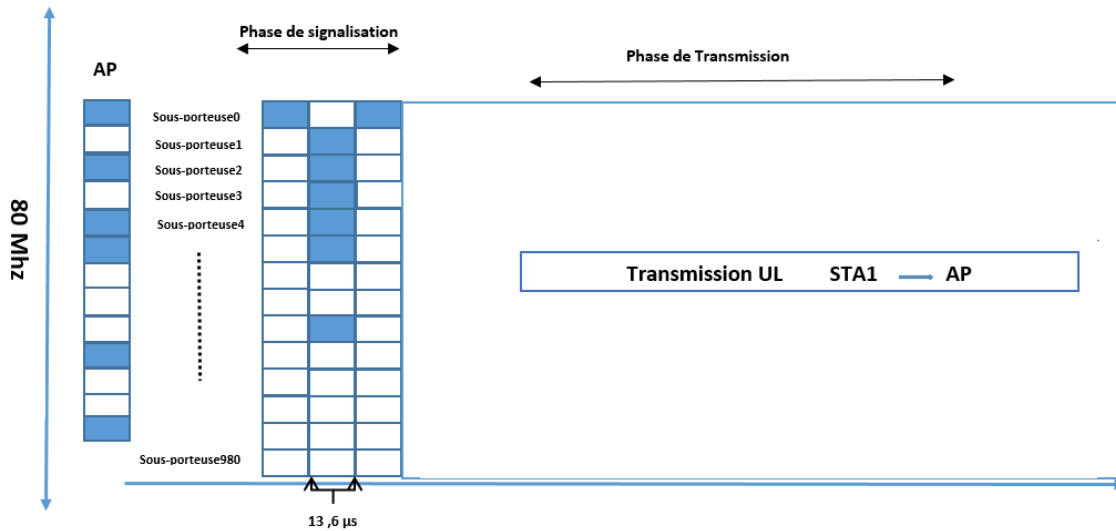


FIGURE 3.4 – Exemple illustratif du fonctionnement de notre proposition en cas d’ULHD

3.4 Simulation et analyse des performances du protocole proposé

Dans cette partie de ce chapitre, nous allons présenter le simulateur utilisé ainsi les résultats de la simulation obtenus, en utilisant un programme développé en langage c, sous le système d’exploitation linux, dans le but d’évaluer les performances du protocole proposé en faisant des comparaisons avec le même protocole, mais avec les différentes largeurs de la bande passante (20 Mhz, 40 Mhz et 80 Mhz). Les paramètres de la simulation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

3.4.1 Présentation de l’outil de simulation

Le simulateur utilisé pour évaluer notre proposition, s’agit d’un programme développé en langage c, sous le système d’exploitation linux, Ce programme qui prend en entrée les paramètres de tableau (ci-dessus), pour retourner la quantité totale de données transmises, ainsi que le débit moyen en Mbs.

3.4.2 Paramètres de simulation

Les paramètres utilisés dans la simulation sont montrés dans le tableau suivants

Paramètre	signification	Valeur
D-OFDM	durée d'un Symbole OFDM	12,8µs
GI	Intervale de Garde	0,8µs
SIFS	Short Inter Frame Space	16µs
T PHY	Temps de transmission d'entête Physique	40 µs
MSDU	Unité de données de service MAC	11414 octets
MPDU	Unité de données de protocole MAC	11454
A-MPDU	nombre de trame MPDU agrégé	64

TABLE 3.1 – Les paramètres utilisés dans la simulation et leurs valeurs

3.4.3 Résultats de simulation

3.4.3.1 L'impact du nombre de STAs sur le débit

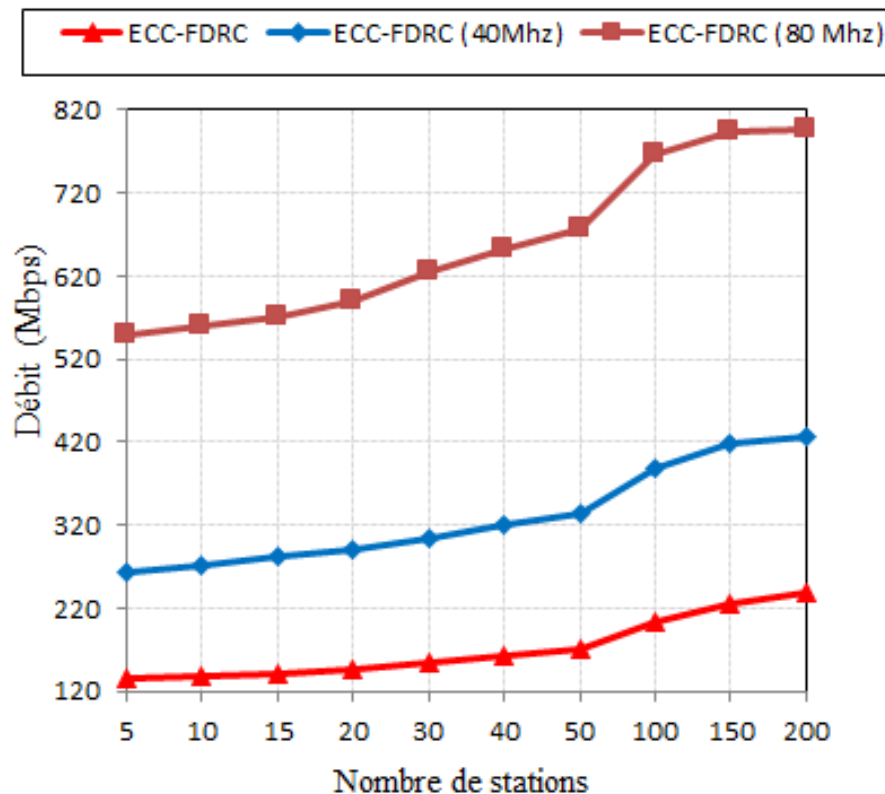


FIGURE 3.5 – Les variations du débits obtenues en fonction du nombre de STAs

Dans la figure 3.5 on illustre la variation des débits du réseau 802.11ax suivant le nombre de station dans le réseau du protocole ECC-FDRC sur une largeur du canal 20,40, 80 Mhz respectivement.

D'après les résultats de la simulation obtenues, le débit augmente en augmentant le nombre de station. Et, plus le canal est large, plus le temps de transmission diminue, par conséquent le débit augmente.

3.4.3.2 L'impact du nombre MPDU sur le débit

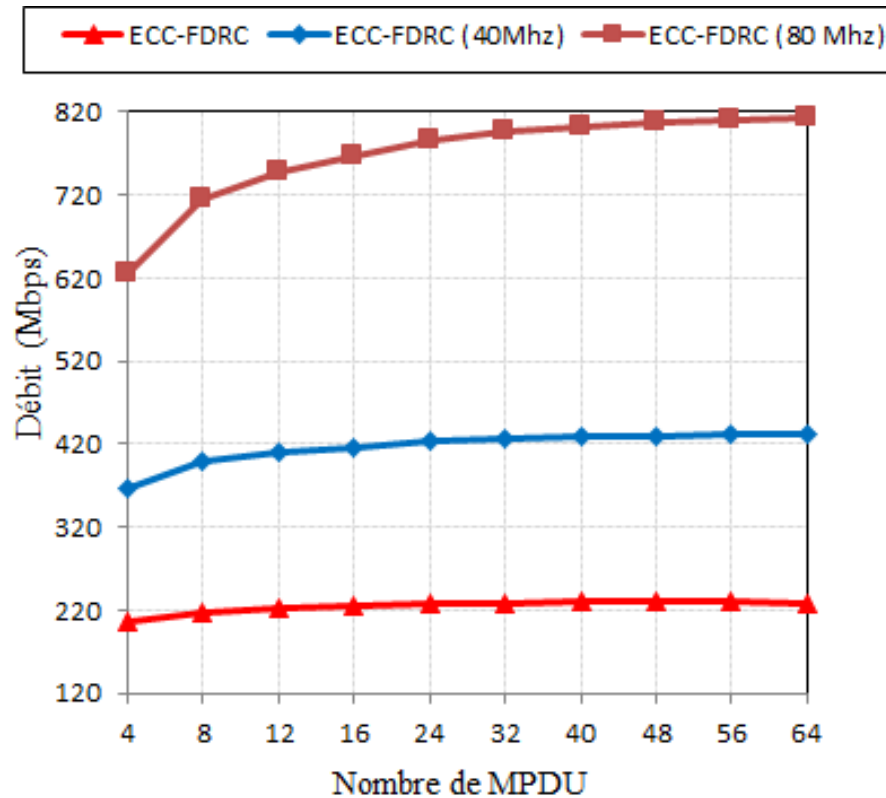


FIGURE 3.6 – Les variations du débits obtenues en fonction du nombre d'MPDU

Dans la figure 3.6 nous montrons la variation des débits du réseau 802.11ax suivant le nombre MPDU dans le réseau du protocole ECC-FDRC sur des différentes largeurs du canal 20,40, 80 Mhz respectivement suivant la méthode d'accès statique. Nous remarquons que les débits obtenus augmentent avec l'augmentation du nombre MPDU pour les canaux larges 20,40, 80 Mhz.

Ceci s'explique par le fait que plus le canal est élargi, plus le temps de transmission diminue, plus le débit augmente.

3.4.4 Conclusion

Ce chapitre nous l'avons consacré à l'explication de notre proposition de protocole MAC Full Duplex afin d'adapter le protocole ECC-FDRC à supporter les bandes passantes plus large. Nous avons également présenté notre simulateur que nous avons utilisé pour évaluer les performances de notre protocole dans un canal de 80 Mhz. Enfin, nous avons comparé les résultats de simulation de notre protocole avec les différentes largeurs de la bande passante (20, 40, 80 et 160 Mhz) à travers des diagrammes groupés, ce qui affirme l'efficacité de notre proposition.

Conclusion générale et perspectives

802.11ax est la nouvelle norme imminente de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) qui répond aux plus grands défis Wi-Fi actuels : haute densité et performances. Il relève ces défis en augmentant la capacité jusqu'à quatre fois et en améliorant l'efficacité spectrale pour bénéficier à la fois des bandes 2,4 GHz et 5 GHz dans une variété d'environnements. 802.11ax permet de gérer plus efficacement la densité des clients grâce à sa nouvelle capacité de partage de canaux. Le mécanisme Full Duplex, est considéré le mécanisme le plus important porté par le standard 802.11ax, pour améliorer les performances des communications des réseaux sans fil.

Dans notre étude, nous avons focalisé principalement, sur les communications Full Duplex, dans le but de proposer un protocole Mac Full Duplex, basé sur les techniques OFDMA et le regroupement de canaux, pour la gestion d'un canal radio du 80 Mhz, afin d'utiliser pleinement la transmission en parallèle avec la réception, entre le point d'accès et la station, désigner l'émetteur et le récepteur, gérer l'asymétrie entre le trafic montant et le trafic descendant causé par la différence de taille entre la trame UL et la trame DL. Tous cela, nous a mené à lister le déroulement, buts, obstacle et problèmes techniques liés à ce mécanisme, ce qui nous a permis de proposer un protocole Mac Full Duplex basé sur la technique OFDMA, qui subdivise le canal en plusieurs sous-porteuses ce qui permet les communications simultanées entre le point d'accès et plusieurs stations cachées, à la fin de ce mémoire nous avons effectué des simulations pour évaluer les performances de notre protocole et faire une étude comparative en utilisant le principe du regroupement des canaux.

Dans la continuité de ce travail, nous soulignons les perspectives suivantes :

- Proposition d'une méthode d'accès permettant l'amélioration du protocole ECC-FDRC en utilisant des transmissions UL en parallèle.
- Etude comparative des mesures de performances de l'amélioration d'ECC-FDRC en adaptant le regroupement de canaux 20 Mhz.

Bibliographie

- [1] G. R. Hiertz, D. Denteneer, P. Lothar Stibor , Y. Zang, X. Pérez Costa, The IEEE 802.11 Universe, IEEE standards in communications and networking Magazine, pp. 62-70, 2010.
- [2] M. Terré, Couche physique et couche MAC Le standard 802.11, Conservatoire National des Arts et Métiers, Version 1.1, 2007.
- [3] W. Sttalings, Wireless Communications And Networks, Second edition, 2004.
- [4] <https://fr-academic.com/dic.nsf/frwiki/178409Bande2.2C4GHz>, (Consulté le 18/04/2022).
- [5] A. Geron, WiFi Professionnel. 3^{ème} Edition, DUNOD, 2009.
- [6] Ch. Fares, Kh. Imad, Proposition et Simulation d'une nouvelle méthode MAC multi-canaux dans les réseaux à très haut débit IEEE 802.11ac, Mémoire de Master, Département Informatique, Université de Béjaia, Algérie, 2014.
- [7] <https://www.echosdunet.net/dossiers/wifi-24-5ghz> , (Consulté le 18/04/2022).
- [8] K. Medepalli, P. Gopalakrishnan, D. Famolari, T. Kodama, Voice Capacity of IEEE 802.11b, 802.11a and 802.11g Wireless LANs, USA, pp. 1549-1553, 2010.
- [9] Kh. Dridi, Spécification du Protocole MAC pour les Réseaux IEEE 802.11e à Différentiation de Services sous Contrainte de Mobilité, Thèse de doctorat, Université de Paris Est, France, 2011.
- [10] R. Aquino-Santos¹ , V. Rangel-Licea , A. Mendez , A. Edwards , M.A. Garcia-Ruiz, E. Flores, Analyzing IEEE 802.11g and IEEE 802.16e Technologies for Single- Technologies for Single-hop Inter hop Inter-vehicle Communications, Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks : Developments and Challenges, IGI Global, Mexico, pp. 120-148, 2010.
- [11] H. Gilbert , Qualité de service et qualité de contrôle d'un système discret contrôlé en réseaux sans fil : proposition d'une approche de co-conception appliquée au standard IEEE 802.11, Thèse de doctorat en Informatique, Université de Lorraine, 2010.
- [12] <https://www.echosdunet.net/dossiers/wifi-24-5ghz> , (Consulté le 30/04/2022).
- [13] E. Khorov, A. Kiryanov, A. Lyakhov, G. Bianchi, A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs : IEEE Communications Surveys Tutorials, Vol. 21, No. 1, pp. 197-216, 2019.
- [14] WiFi :Le Standard 802.11 Couche physique et couche MAC, Conservatoire National des Arts et Métiers, Version 1.1, Mars 2007.
- [15] X. Yang, Y. Pan, Emerging wireless LANs, wireless PANs, and wireless MANs IEEE 802.11, IEEE 802.15, 802.16 Wireless Standard Family, Wiley, 2009.
- [16] G. Hanley, S. Murphy, L. Murphy, Performance of VoIP over IEEE 802.11g DSSS-OFDM mode with IEEE 802.11e QoS support, Department of Computer Science University College Dublin, pp. 201-214, Belfield, Dublin 4, 2007.

- [17] 802.11ac : The Fifth Generation of Wi-Fi Technical White Paper, CISCO, pp. 1-20, 2018.
- [18] S. Banerji, Upcoming Standards in Wireless Local Area Networks, *Wireless Mobile Technologies*, Vol. 1, Septembre 2013.
- [19] B. Oscar, E. Knightly, M. Park, IEEE 802.11 ac : from channelization to multi-user MIMO, *IEEE Communications Magazine* 51.10, pp. 84- 90, 2013.
- [20] M. Park, IEEE 802.11 ac : Dynamic bandwidth channel access, In : *Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on. IEEE*, pp. 1-5, 2011.
- [21] E. Perahia, R. Stacey, *Next Generation Wireless LANs 802.11n and 802.11ac*, Cambridge university press, 2013.
- [22] G. Pujolle, *Les réseaux, 9ème édition*, 2018-2020.
- [23] F. Hua, Spectral resource optimization for MU-MIMO systems with partial frequency bandwidth overlay, *Thèse de doctorat*, 2015.
- [24] O. Park, E. knightly, M. Park, IEEE 802.11 ac : from channelization to multi-user MIMO, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 51, No 10, pp. 84-90, 2013.
- [25] IEEE 802.11ax : la sixième génération du Wi-Fi, *Livre blanc technique Document public de Cisco*, 2018.
- [26] J. Wiley Sons, *802.11ax For Dummies*, New Jerse, 2018.
- [27] *Wi-Fi 6 : La connectivité sans fil de nouvelle génération*, cisco Meraki ,Livre blanc, Avril 2019.
- [28] M. S. Afaqui, E. Garcia-Villegas, E. Lopez-Aguilera, IEEE 802.11ax : Challenges and Requirements for Future High Efficiency WiFi, *IEEE wireless communications*, Vol. 24, No 3, pp. 130-137, 2016.
- [30] V. Singh, A. Gadre, S. Kumar, Full Duplex Radios : Are we there yet ?, In : *Proceedings of the 19th ACM Workshop on Hot Topics in Networks*, pp. 117-124, 2020.
- [31] K.Hocini, M.Yazid, Toward a MAC Protocol Overcoming Hidden Stations Issue in IEEE 802.11ax Unidirectional Full Duplex Radio Communications, 2020 Second International Conference on Embedded Distributed Systems (EDiS), pp. 111-116, Algérie, 2020.
- [32] G. Lee, H. Ahn, Ch. Kim, In-frame Querying to Utilize Full Duplex Communication in IEEE 802.11ax, 2015 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), pp. 252-256, 2015.
- [33] C. Kim, A full duplex MAC protocol for efficient asymmetric transmission in WLAN, 2016 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), pp. 1-5, 2016.
- [34] J. Lee, H.Ahn, C.Kim, An OFDMA two symbol coordination MAC protocol for full duplex wireless networks, 2017 International Conference on Information Networking (ICOIN), pp. 344-348, 2017.
- [35] K.Hocini, M.Yazid, Towards a Full-Duplex MAC protocol efficiently handling the imbalance between the lengths of data streams in High-Efficiency WLANs, 2020 2nd International Workshop on Human-Centric Smart Environments for Health and Well-being (IHSH), pp. 148-153, Algérie, 2021.
- [36] B. Dinesh, M. Emily, K. sachin, Full Duplex In *ACM SIGCOMM computer communication review*, volume 43, pp. 375-386, ACM, 2013.
- [37] G. Andrea. *Wireless communication*, Cambridge University, 2005.

-
- [38] <http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2009-ttnfa2010/lecluse-tran/802-11.html> , (Consulté le 12/06/2022).
- [39] White paper : 802.11AX, aruba a Hewlett Packard Enterprise company, pp.3-36, 2021.
- [40] E. Charfi, L. Chaari, L. Kamoun, PHY/MAC enhancements and QoS mechanisms for very high throughput WLANs : A survey, *IEEE Commun. Surveys Tut.*, vol. 15, no. 4, pp. 1714–1735, Octobre–Décembre 2013.
- [41] SH. Oran, A. Yaron, Scheduling strategies and throughput optimization for the Uplink for IEEE 802.11ax and IEEE 802.11ac based networks, 2018.
- [42] G. Han, M. Guizani, J. Lloret, S. Chan, L. Wan, W. Guibene, Emerging Trends, Issues, and Challenges in Big Data and Its Implementation toward Future Smart Cities, *IEEE communications magazine*, Vol. 55, No 12, pp. 16-17, 2017.
- [43] K. Hocini, M. Yazid, A. Ksentini, Toward an efficient and coordinated control of full-duplex radio communications in high-efficiency wireless local area networks, *Int J Commun Syst*, pp. 1-25, 2022.

Résumé

Le standard IEEE 802.11 a connu un énorme succès, depuis sa première apparition. Il a porté plusieurs améliorations au niveau des réseaux sans fil, de jour en jour ce standard remporte une popularité remarquable à cause du confort de raccordement qu'il procure. Malgré ses évolutions au fil des années, et malgré les différentes améliorations portées par chaque évolution, il ne cesse toujours pas son développement, en raison de l'augmentation de nombre d'utilisateurs du réseau qui est incontrôlable, ce qui signifie plus de problème à résoudre. Dans ce mémoire nous allons présenter en détail le standard 802.11ax qui a été développé par un des groupes du travail IEEE 802.11, qui offre des taux de transfert de données plus élevés pouvant atteindre jusqu'à 9.6 Gbit/s en utilisant une largeur de spectre de 160 Mhz. C'est pourquoi nous proposons un protocole MAC Full Duplex pour les canaux larges, basé sur les deux techniques OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) et le regroupement de canaux, pour permettre des transmissions simultanées efficaces autant que possible. Les résultats de la simulation montrent que notre méthode est efficace et améliore le débit dans un environnement dense.

Mots clés : IEEE 802.11ax HEW, Transmission Full Duplex, Protocole MAC, Évaluation des performances.

Abstract

The IEEE 802.11 standard has been a huge success since its first appearance. It has brought several improvements to wireless networks, day by day this standard is gaining remarkable popularity because of the connection comfort it provides. Despite its evolution over the years, and despite the various improvements brought by each evolution, it still does not stop its development, due to the increase in the number of network users which is uncontrollable, which means even more problems to solve. In this thesis we will present in detail the 802.11ax standard which was developed by one of the IEEE 802.11 working groups, which offers higher data transfer rates, which can reach up to 9.6 Gbit/s using a bandwidth of 160 MHz spectrum. Therefore we propose a Full Duplex MAC protocol for wide channels, based on the two techniques OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) and channel bundling, to allow efficient simultaneous transmissions as much as possible. The simulation results show that our method is efficient, and improves the throughput in a dense environment. The simulation results showed that the proposed protocol offers high performance to those provided by the existing protocols in a dense environment of the IEEE 802.11ax network.

Keywords : IEEE 802.11ax HEW, Full Duplex Transmission, MAC Protocol, Performance Evaluation.