

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA DE BÉJAÏA
FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES
DÉPARTEMENT INFORMATIQUE



Mémoire de Master

En Informatique

Spécialité : Réseaux et Systèmes Distribués

Thème

**Proposition et Simulation d'une méthode
MAC multi-canaux dans les réseaux à très
haut débit IEEE 802.11ac**

Réalisé par :

M^r CHETTOUH Fares & *M^r* KHEDDOUCI Imad

Devant le jury composé de :

Président	<i>M^{me}</i> OUYAHIA	Samira	M.A.A	Université de Béjaïa
Rapporteurs	<i>M^{me}</i> BOUALLOUCHE	Louiza	M.C.A	Université de Béjaïa
	<i>M^r</i> YAZID	Mohand	M.A.A	Université de Béjaïa
Examineurs	<i>M^{lle}</i> REBBOUH	Nadjette	M.A.A	Université de Béjaïa
	<i>M^{me}</i> LAHLAH	Souaad	Doctorante	Université de Béjaïa

Promotion 2013/2014

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Nous tenons à remercier très chaleureusement M^r M.Yazide et M^{me} L.Bouallouche 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 ont été déterminants dans la réalisation de notre travail.

Nous tenons également à remercier M^{me} S.OUYAHIA d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Nous remercions également M^{lle} N.REBBOUH et M^{me} S.LAHLAH d'avoir accepté 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

Nous dédions ce modeste travail à ceux que nous avons de plus chers : nos parents, nos frères, nos familles et nos amis.

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	ii
Table des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Liste des abréviations	viii
Introduction générale	1
1 Présentation du standard IEEE 802.11	4
1.1 Bandes de fréquences	4
1.1.1 Bande de fréquences des 2.4 GHz :	5
1.1.2 Bande des fréquences des 5 GHz	5
1.1.3 Tableau comparatif	6
1.2 Couches Physiques	6
1.2.1 FHSS	6
1.2.2 DSSS	7
1.2.3 HR-DSSS	7
1.2.4 OFDM	7
1.2.5 MIMO	7
1.2.6 Regroupement de canaux	9
1.3 Protocoles MAC	9
1.3.1 Fonction DCF (Distributed Coordination Function)	9
1.3.2 Fonction PCF (Point Coordination Function)	12
1.3.3 Fonction HCF (Hybrid Coordination Function)	13
1.3.4 Fonction EDCA (Enhanced Distribution Channel Access)	13

1.3.5	Fonction HCCA (Hybrid-Coordination-Function Controlled Channel Access)	14
1.4	Agrégation de trame et Acquittement regroupé	14
1.4.1	Format d'une trame MAC	14
1.4.2	Acquittements groupés	15
1.4.3	Agrégation des trames	15
2	L'amendement IEEE 802.11ac et les travaux existants	17
2.1	Présentation de l'amendement IEEE 802.11ac	17
2.1.1	Couche Physique	17
2.1.2	Couche MAC	21
2.2	Etat de l'art sur la transmission multi-canaux	25
2.3	Critiques des travaux existants	27
3	Proposition et simulation d'une nouvelle méthode d'accès multi-canaux	29
3.1	Problématique et motivations	29
3.2	Proposition d'une méthode d'accès multi-canaux	32
3.3	Implémentation, simulation et analyse des résultat	33
3.3.1	Conception du simulateur	33
3.3.2	Réalisation du simulateur	36
3.3.3	Comparaison et analyse de performances	41
	Conclusion générale	50
	Bibliographie	52

TABLE DES FIGURES

1.1	Bande de fréquence de 2.4 GHZ	5
1.2	Bande de fréquence de 5 GHZ	5
1.3	Différence entre SISO, SIMO, MISO et MIMO	8
1.4	La méthode d'accès CSMA/CA	10
1.5	Exemple de Backoff exponentiel.	11
1.6	Format générale d'une trame MAC	14
1.7	A-MPDU.	16
2.1	a) SU-MIMO ; b) MU-MIMO.	19
2.2	Regroupement des canaux.	19
2.3	Selection des canaux primaires et secondaires.	20
2.4	Transmission DL MU-MIMO.	22
2.5	Illustration du TXOP Sharing.	22
2.6	Accès statique.	24
2.7	Accès dynamique.	24
2.8	Amélioration RTS/CTS : a)comportement sans interférences ; b) comportement avec interférences.	25
2.9	a) Agrégation verticale ; b) Agrégation horizontale.	26
3.1	transmission multi-canaux avec l'accès statique sur 80 MHz.	31
3.2	transmission multi-canaux avec l'accès dynamique sur 80 MHz.	31
3.3	transmission multi-canaux de la proposition sur 80 MHz.	33
3.4	Schéma SADT du simulateur.	34
3.5	Diagramme des classes du simulateur.	35
3.6	Organigramme du protocole Statique.	38
3.7	Organigramme du protocole Dynamique.	39

3.8	transmission multi-canaux proposition sur 80 MHz.	40
3.9	Débit effectif par rapport au taux d'occupation sur 40 MHz.	41
3.10	Débit effectif par rapport au taux d'occupation sur 80 MHz.	42
3.11	Débit effectif par rapport au taux d'occupation sur 160 MHz.	42
3.12	Débit effectif par rapport à la taille A-MPDU sur 40 MHz.	43
3.13	Débit effectif par rapport à la taille A-MPDU sur 80 MHz.. . . .	44
3.14	Débit effectif par rapport à la taille A-MPDU sur 160 MHz.	44
3.15	Débit effectif par rapport aux nombres de MPDUs sur 40 MHz.	45
3.16	Débit effectif par rapport aux nombres de MPDUs sur 80 MHz.	46
3.17	Débit effectif par rapport aux nombres de MPDUs sur 160 MHz.	46
3.18	Débit effectif par rapport aux nombres de station sur 40 MHz.	47
3.19	Débit effectif par rapport aux nombres de stations sur 80 MHz.	48
3.20	Débit effectif par rapport aux nombres de station sur 160 MHz.	48

LISTE DES TABLEAUX

1.1	Comparaison entre les deux bandes de fréquences 2.4 GHz et 5 GHz	6
1.2	Paramètres de la fonction EDCA.	13
2.1	Taille des A-MPDUs et A-MSDUs	21
3.1	Paramètres de la couche PHY 802.11	36
3.2	Paramètres de la couche MAC 802.11ac	37

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Liste des abréviations

A	A-MPDU	A ggregate M AC P rotocol D ata U nit	
	A-MSDU	A ggregate M AC S ervice D ata U nit	
	AC	A ccess C ategory	
	ACK	A cknowledgment	
	AC-BE	B est E ffort AC	
	AC-BK	B ackground AC	
	AC-VI	V ideo AC	
	AC-VO	V oice AC	
	AD	D estination A ddress	
	ADSL	A symmetric D igital S ubscriber L ine	
	AIFS	A rbitration I nter-frame S pacing	
	AM	A mplitude M odulation	
	ANNGW	A nalysis N etwork N ext G eneration W ifi	
	AP	A ccess P oint	
	AR	R eceptor A dress	
	ASK	A mplitude S hift- K eyping	
	AT	T ransmiter A ddress	
	ATV	A matior T ransmiter V oice	
	B	BA	B lock A CK
		BE	B est E ffort
BEB		B inary E xponential B ack-off	
BK		B ackground	

C	BPSK	Bit PSK
	CCA	Clear Channel Assessmen
	CCK	Complementary Code Keyig
	CFP	Centention Free Period
	CF-POLL	Centention Frame POLLing
	CL	Controlled Load
	COFDM	Coded OFDM
	CP	Cyclic Redundancy Check
	CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
CTS	Clear To Send	
D	CW	Contention Window
	DCF	Distributed Coordination Function
	DIFS	DCF Inter-Frame Spacing
	DPSK	Differential Phase Shift-Keying
	DSL	Digital Subscriber Line
	DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
E	EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
F	EE	Excellent Effort
F	FCS	Frame Check Sequence
	FDM	Frequency Division Multiplexing
	FHSS	Frequency Hoping Spread Spectrum
	FM	Frequency Modulation
	FSK	Frequency Shift Keying
G	GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
	GSM	Global System for Mobile
	GPRS	General Packet Radio Service
H	HC	Hybride Coordination
	HCCA	Hybrid Controled Centention Access
	HCF	HC Function
	HR-DSSS	High Rate DSSS
I	IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineer
	ICI	Inter-Carrier Interférence
	IFS	Inter Frame Spacing
L	IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
	L-LTF	Layer LTF

	L-SIG	Layer S ignal field	
	LTF	Long T raining F ield	
M	MAC	Medium A ccess C ontrol	
	MCS	Modulation and C oding S cheme	
	MIMO	Multiple-Input, Multiple O utput	
	MISO	Multiple I nput S ingle O utput	
	MPDU	MAC P rotocol D ata U nit	
	MSDU	MAC S ervice D ata U nit	
	MU-MIMO	Multiple-User MIMO	
N	NC	Nombre de C anaux regroupés	
	NS	Nombre de canaux S econdaires	
O	OFDM	Orthogonal F requency D ivision M ultiplexing	
	OSI	Open S ystem I nterconnect	
P	PDA	Personal D igital A ssistant	
	PCF	Point C oordination F unction	
	PHY	P hysical layer	
	PIFS	PCF I nter- F rame S pacing	
	PM	Phase M odulation	
	PPDU	PHY P rotocol D ata U nit	
	PSDU	PHY S ervice D ata U nit	
	PSK	Phase S hift K eyping	
	Q	QAM	Quadrature A mplitude M odulation
		QoS	Quality of S ervice
		QPSK	Quadrature P hase- S hift K eyping
		QSTA	Quality S T A
	R	RES	RE Seaux
RTS		Request T o S end	
S	SDMA	Spatial D ivision M ultiple A ccess	
	SIFS	Short I nter- F rame S pacing	
	SIMO	Single-Input, Multiple- O utput	
	SISO	Single-Input, Single- O utput	
	STBC	Space- T ime B lock C oding	
	STA	S T A tion	
	STC	Space T ime C oding	
	SU-MIMO	Single U ser MIMO	
	T	TCP	Transmission C ontrol P rotocol

	TDMA	T ransmission D ynamic M edium A ccess
	TID	T ransmitter I Dentifier
	TXOP	T ransmit O pportunity
U	UP	U ser P riority
V	VHT	V ery H igh T hroughput
W	WiFi	W ireless F idelity
	WLAN	W ireless L ocal A rea N etwork
	WMAN	W ireless M etropolitan A rea N etwork
	WPAN	W ireless P ersonal A rea N etwork
	WWAN	W ireless W ide A rea N etwork

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les applications sans fil s'incrument dans notre vie quotidienne et deviennent parfois un besoin essentiel. En effet, les compagnies et les laboratoires de recherche ont investi dans le domaine des réseaux sans fil et particulièrement dans les WLANs (Wireless Local Area Network). L'usage des tablettes, des ordinateurs portables et des Smartphones ajoute une souplesse pratique et simplifie les différentes tâches quotidiennes des gens et réduit les coûts d'échange et de mobilité dans le temps et dans l'espace. Ce nouveau mode d'usage technologique engendre un besoin d'application de plus en plus performantes en termes de sécurité, de mobilité et surtout de débit. En effet, le réseau WLAN devient une cible d'innovation pour les entreprises High-Tech. Selon Froest and Sullivan [1], l'industrie des WLANs a dépassé les 300 millions de dollars en 1998 et représente 1,6 milliards de dollars en 2005. Grâce à sa souplesse et son coût réduit, la technologie WLAN a été implémentée et utilisée dans plusieurs domaines, tel que : les aéroports, les usines, les entreprises, les hôpitaux et même dans le domaine militaire.

Parmi les compagnies qui se sont distinguées durant ces dernières années, on cite la IEEE, avec sa norme IEEE 802.11 connu sous le nom commercial WI-FI. Depuis la publication du premier standard IEEE 802.11 en 1997 [2], cette norme gagne du terrain et prend de l'envergure, avec les drafts qui ont suivi (802.11b, a, g, e, n, etc.).

Le 802.11a est l'un des drafts qui ont fait plus de bruit, et cela avec l'utilisation de la bande des 5 GHz, et la nouvelle couche physique OFDM. En Mai 2007, le groupe de travail IEEE 802.11 a lancé un projet qui porte le nom "Very High Throughput (VHT) ", dans le but d'atteindre les plus haut débits tel qu'il est annoncé dans [3]. Ce projet s'inscrit dans le cadre du 802.11n, qui vient pour l'interopérabilité des deux bandes de fréquences 2.4 GHz et 5 GHz, avec l'intégration du MIMO 4X4X4. Après plusieurs améliorations, IEEE décide de lancer le standard 802.11ac qui est toujours en cours de développement.

Le 802.11ac affiche des débits physiques qui peuvent atteindre les 7 Gbps. Ce standard opère sur la bande de fréquences des 5 GHz avec 19 canaux indépendants de 20 MHz chacun. La couche physique OFDM a été retenue avec l'intégration de la modulation 256-QAM, associée à la technique MU-MIMO avec 8 flux spatiaux simultanés. Le groupe de travail a pensé aussi à élargir la bande passante en regroupant plusieurs canaux pour avoir une bande de 20, 40, 80 MHz, 160 ou 80+80 MHz comme option, ce qui permet d'envoyer plus de données, par conséquent augmenter le débit. En vue de toutes ces modifications au niveau de la couche physique, de nouvelles règles au niveau de la couche MAC seront suggérées pour une meilleure exploitation de cette couche physique. Pour cela, le protocole MAC doit subir des modifications, qui seront adaptées à l'évolution de cette couche physique.

La couche MAC a pour rôle principal de gérer l'accès au support physique. Le DCF était retenu comme une méthode d'accès performante dans la topologie Ad Hoc, qui peut même être intégré dans une topologie avec infrastructure tout seul ou bien associé au PCF. La méthode DCF est à la base dédiée pour l'accès à un seul canal de 20 MHz. Pour exploiter plusieurs canaux regroupés, le DCF a été étendu pour gérer l'accès à une bande plus large. Notre travail s'inscrit dans le cadre de l'accès multi-canaux. Le standard a proposé deux méthodes d'accès basés sur le DCF intitulées l'accès statique et l'accès dynamique. Dans l'accès statique, lors de l'expiration du backoff, une station accède à tous les canaux simultanément ou bien elle diffère sa transmission. Dans le cas où plusieurs stations 802.11a/n opèrent sur les canaux secondaires, les stations 802.11ac seront pénalisées et réussissent rarement à gagner l'ensemble des canaux. Car la probabilité d'accès multi-canaux diminue avec l'augmentation du nombre de canaux qui peuvent être regroupés. Par contre avec l'accès dynamique, lors de l'expiration du Backoff, une station 802.11ac accèdera à la totalité des canaux ou à une partie des canaux regroupés. Il est clair que l'accès dynamique est meilleur que l'accès statique, mais dans le cas où une station 802.11ac accède à un canal étroit pour envoyer un long A-MPDU (qui peut atteindre 1048579 octets), les canaux qui ne sont pas gagnés pourront se libérer pendant la transmission de ce long A-MPDU. Dans ce cas, la bande passante qui a été prévue d'être utilisée n'est pas exploitée d'une manière optimale.

Notre objectif est de proposer une méthode d'accès MAC multi-canaux permettant une utilisation optimale de la bande passante. Cette méthode d'accès doit remédier aux inconvénients des méthodes d'accès statique et dynamique tout en gardant leurs avantages.

Ce mémoire contient une introduction, trois chapitres et une conclusion.

Dans l'introduction, nous avons justifié l'étude réalisée. Nous y soulignons les limites des protocoles existant en posant la problématique.

Dans le premier chapitre, nous présentons une description détaillée de la norme IEEE 802.11.

Le deuxième chapitre présente, dans un premier temps, une description de l'amendement IEEE 802.11. Dans un deuxième temps, nous dresserons une synthèse sur les travaux existants.

Dans le troisième chapitre nous proposons une méthode d'accès multi-canaux. Par la suite, nous évaluons son niveau d'amélioration, en terme de débit par rapport aux méthodes existantes.

Finalement, ce mémoire s'achève par une conclusion générale, suivie de quelques perspectives.

CHAPITRE 1

PRÉSENTATION DU STANDARD IEEE 802.11

Introduction

Les réseaux sans fil ont connu une considérable évolution ces dernières années, grâce à leur souplesse et leur prix abordable. Le WI-FI n'a pas connu une exception, il s'est généralisé notamment au niveau des entreprises, grâce à la standardisation qui a offert à cette technologie l'homogénéité et la chute des prix de ses équipements. Derrière ce nom commerciale se cache un standard intitulé IEEE 802.11 avec ses différentes variantes. Cette technologie est considéré comme un réseau local sans fil (ou en anglais, wireless Local Area Network) par excellence.

Dans ce chapitre, nous allons aborder les différentes modifications apportées au fil du temps à la couche physique (PHY) et à la couche de contrôle d'accès au médium (MAC), ainsi nous aurons une vue d'ensemble des différents mécanismes et techniques adoptés par ce standard.

1.1 Bandes de fréquences

Seules quelques bandes de fréquences assez limitées sont libres pour tout usage et sans avoir à faire de demande au préalable auprès d'un service du gouvernement. L'IEEE 802.11 utilise les bandes de fréquences des 2.4 GHz et 5 GHz, chaque bande de fréquences a ses caractéristiques, ses avantages et ses limites.

1.1.1 Bande de fréquences des 2.4 GHz :

Cette bande de fréquence est gratuite, elle occupe une plage de fréquences entre 2400 MHz et 2483,5 MHz. Donc sa largeur est de 83.5 MHz. Elle est souvent découpée en 14 canaux de 22 MHz chacun [4]. Ces 14 canaux se superposent car ils sont espacés de 5 MHz. Pour éviter les interférences et le chevauchement. Au moins un espacement de 5 canaux est recommandé, donc on ne peut utiliser que 3 canaux libre et habituellement on utilise les canaux 1, 6 et 11 comme le montre *la Figure 1.1*.

Dans la bande des 2.4 GHz, on ne peut deployer que 3 points d'accès au même temps dans le même endroit.

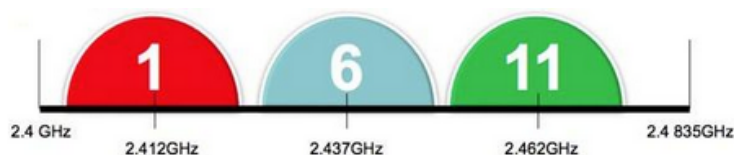


FIGURE 1.1 – Bande de fréquence de 2.4 GHz

1.1.2 Bande des fréquences des 5 GHz

Cette bande est plus large par rapport à la bande des 2.4 GHz. Elle occupe deux plages de fréquences, l'une allant de 5,150 à 5,350 GHz et l'autre allant de 5,470 à 5,725 GHz. La bande des 5 GHz est partagée en 140 canaux de 20 MHz chacun. Les centres de 2 canaux successifs sont espacés de 5 MHz. Naturellement, si on souhaite éviter tout chevauchement [4], il faut utiliser au moins un écart de 4 canaux, comme le montre *la Figure 1.2* on aura 19 canaux utilisables. Donc, on pourra deployer jusqu'à 19 points d'accès indépendants au même temps et dans le même endroit.

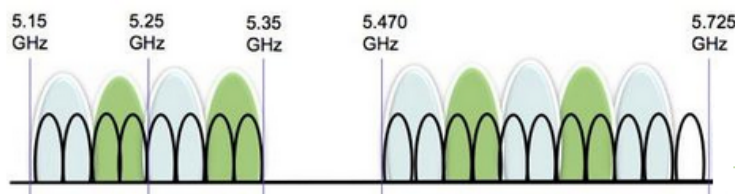


FIGURE 1.2 – Bande de fréquence de 5 GHz

1.1.3 Tableau comparatif

Bande de fréquences	2.4 GHz	5 GHz
Liberté d'usage	Libre	Libre
Plage de fréquences	2400 MHz à 2483,5 MHz	5,150 à 5,350 et 5,470 à 5,725 MHz
Coût	gratuite	Payante
Canaux libres	3	19
Modulation	FHSS, DSSS et HR-DSSS	OFDM
Débit théorique	54 Mbps	1 Gbps
Norme qui utilise	802.11 b/g/n	802.11 a/n
Porté	longue porté	faible porté

TABLE 1.1 – Comparaison entre les deux bandes de fréquences 2.4 GHz et 5 GHz

1.2 Couches Physiques

La norme IEEE 802.11 définit les couches d'accès au médium (MAC) et physique (PHY) du modèle OSI (Open Systems Interconnection). Dans le but d'augmenter le débit, plusieurs mécanismes ont été proposés pour la couche physique. Les modifications au niveau de la couche physique se résument alors dans : la densité, la modulation, les techniques de transmission multi-antennes et le regroupement de canaux.

Les principales couches PHY qui ont été proposées pour le standard IEEE 802.11 depuis la publication de sa première norme (IEEE 802.11) se résument dans ce qui suit :

1.2.1 FHSS

Cette couche se base sur la modulation FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). Elle a été inventée et brevetée en 1942 par l'actrice Hedy Lamarr et le pianiste George Antheil.

Le principe du FHSS est assez simple : une large bande de fréquences est divisée en de multiples canaux et les communications se font en sautant (hopping) successivement d'un canal à un autre, selon une séquence et un rythme convenus à l'avance entre l'émetteur et le récepteur.

En Wi-Fi, la bande des 2.4 GHz est subdivisée en 79 canaux de 1 MHz, avec 2.5 sauts par second. Le saut de fréquences garantie l'évitement d'interférence, car plusieurs communications peuvent avoir lieu en même temps sur la même bande de fréquences pourvu qu'elles utilisent pas la même séquence de canaux. Une émission dure 400 ms.

A cause des sauts de fréquences, ce principe a été utilisé dans le domaine militaire car le signal ne peut être intercepté par un tiers qui ne connaît pas la séquence de sauts. Cette couche n'a pas été exploitée dans le cas du 802.11 car les séquences de canaux ne sont pas secrètes.

1.2.2 DSSS

La couche 802.11 DSSS a connu une réussite pour le standard. Elle est utilisée dans une large gamme de produits et d'équipements Wi-Fi. Elle se base sur la modulation DSSS (Direct Séquence Spread Spectrum), qui est un autre type de modulation. Elle est également une technique d'étalement de spectre. Contrairement au FHSS, au lieu de sauts de fréquences, le DSSS provoque des transitions d'état très rapides (chipping) qui tendent à étaler le spectre du signal. Donc, on représente un caractère par plusieurs bits significatifs appelé code de Baker. Par exemple, on envoie la séquence "1001" pour représenter 1 et son complément "0110" pour un 0.

1.2.3 HR-DSSS

La modulation HR-DSSS (High Rate DSSS) exploite une technique de transmission par étalement de spectre à haut débit par séquence directe. C'est une extension de la couche DSSS qui rajoute la technique de modulation CCK (Complementary Code Keying) [4] afin de supporter les débits de 5,5 Mbps et 11 Mbps en plus de ceux déjà supportés par la couche DSSS.

1.2.4 OFDM

Le principe de l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) consiste à répartir sur un grand nombre de porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. La bande de fréquences disponible pour l'émission est découpée en N sous bandes étroites ; la séquence binaire est partagée en N blocs et sont transmis simultanément sur les N sous porteuses [5].

En Wi-Fi, 52 sous-porteuses d'environ 312,5 kHz chacune permettant de couvrir un spectre de 16,66 MHz, qui forme un canal de communication OFDM. Chaque sous-porteuse est modulée en PSK (Phase Shift Keying) (2 PSK ou 4 PSK) ou en QAM (Quadrature Phase-Shift Keying) (16 QAM ou 64 QAM). Sur ces 52 sous-porteuses, le Wi-Fi utilise quatre comme "pilotes" qui servent à synchroniser les fréquences et à mesurer en permanence les interférences et les décalages de phase, afin de s'y adapter au mieux. Ainsi, les données à émettre sont groupées en symboles de 48 bits en 2 PSK (six fois plus en 64 QAM par exemple). Ces symboles sont émis en 48 portions simultanément : une par sous-porteuse [4].

1.2.5 MIMO

La plupart des points d'accès et même de nombreux adaptateurs Wi-Fi sont équipés de plusieurs antennes. Celles-ci sont mises à profit en Wi-Fi pour améliorer la portée, la fiabilité ou encore le débit des communications, à l'aide de plusieurs techniques assez sophistiquées. La *Figure 1.3* montre les différentes techniques multi-antennes qui sont : SISO, SIMO, MISO, MIMO.

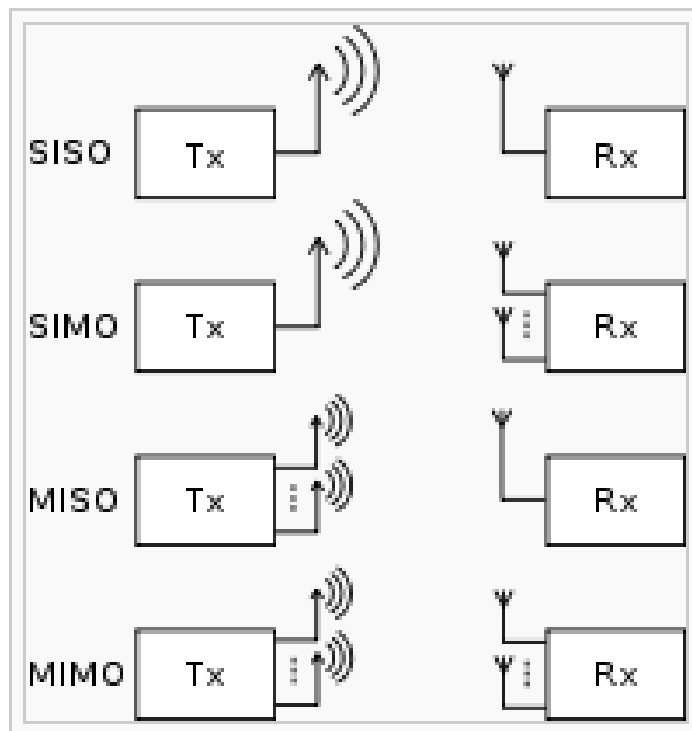


FIGURE 1.3 – Différence entre SISO, SIMO, MISO et MIMO

Précisons le vocabulaire :

- Si l'émetteur n'utilise qu'une seule antenne pour émettre et le récepteur n'utilise qu'une seule antenne pour recevoir, on parle de Single-Input Single-Output (SISO).
- Si l'émetteur n'utilise toujours qu'une seule antenne mais que le récepteur en utilise plusieurs, alors on parle de Single-Input Multiple-Output (SIMO).
- Si l'émetteur utilise plusieurs antennes et le récepteur une seule, on parle de Multiple-Input Single-Output (MISO).
- Si l'émetteur utilise plusieurs antennes et le récepteur plusieurs antennes, on parle de Multiple-Input Multiple-Output (MIMO).

Par exemple, si l'émetteur a trois antennes et le récepteur en a deux, alors (avec le 802.11n) l'émetteur se limitera automatiquement à deux flux simultanés. On parle dans ce cas de MIMO $3 \times 2 \times 2$: trois antennes à l'émission, deux antennes à la réception et deux flux simultanés. Le 802.11n prévoit au maximum $4 \times 4 \times 4$, ce qui suppose que l'émetteur et le récepteur aient quatre antennes et soient compatibles avec ce mode. Dans la pratique, au maximum, les produits se limitent à $3 \times 3 \times 3$.

1.2.6 Regroupement de canaux

La méthode qui permet de doubler le débit sans effort est le regroupement de canaux. Son principe consiste à choisir un canal principal, qui sera le canal primaire. Puis, on le regroupe avec un canal adjacent qui sera le secondaire. Au lieu d'envoyer des données sur un canal 20 MHz, on les envoie sur un canal double de 40 MHz. De cette manière le débit sera doublé car le débit est proportionnel à la largeur de la bande passante utilisée.

En 2006, l'arrivée du 802.11n a vu la standardisation des canaux doubles de 40 MHz. Mais cette méthode est loin d'être massivement utilisée.

On peut être tenté de systématiquement d'utiliser un "double canal" de 40 MHz pour doubler le débit, mais il ne faut pas oublier que l'on occupera deux fois le spectre radio. Or, celui-ci est limité, surtout pour la bande des 2,4 GHz : on dispose en tout et pour tout en France d'un peu plus de 80 MHz dans cette bande. Si vous déployez un point d'accès dans la bande des fréquences 2,4 GHz sur 40 MHz, vous ne laissez pas beaucoup de places pour les réseaux voisins (notamment pour vos autres points d'accès) et vous risquez donc de subir de fortes interférences. D'ailleurs, bien que le mode 40 MHz sur les canaux à 2,4 GHz soit prévu par le 802.11n. La Wi-Fi Alliance, quant à elle choisi de l'ignorer pour l'instant : ce mode ne fait pas partie des tests d'interopérabilité. Pour résumer, ce mode 40 MHz peut doubler le débit, mais il est surtout recommandé à 5 GHz [4].

1.3 Protocoles MAC

La couche MAC (Medium Access Control) correspond à la partie "basse" de la deuxième couche du modèle OSI. Elle fournit des services pour les couches supérieures, elle est le cerveau du WI-FI. La couche MAC intègre un certain nombre de fonctionnalités cruciales, telles que le partage de la parole entre utilisateurs, les modalités de connexion au réseau, le contrôle d'erreur ou encore la sécurité [6].

Le groupe de travaille IEEE a défini deux méthode de base d'accès au médium pour le standard 802.11 [10] et [11] : DCF (Distributed Coordination Function) ; une fonction d'accès non déterministe basée sur la contention et PCF (Point Coordination Function) ; une fonction d'accès centralisée où toutes les communications sont orchestrées par un point d'accès [6].

En plus de ces deux méthodes de base ; L'amendement IEEE 802.11e a introduit de nouvelles méthodes ainsi que d'autres mécanismes afin d'apporter certaines propriétés QoS au niveau de l'accès [7].

1.3.1 Fonction DCF (Distributed Coordination Function)

Cette méthode d'accès est basée sur le protocole CSMA/CA, l'algorithme BeB et des durées inter-trames IFS, c'est la méthode d'accès utilisée pour un réseau Ad Hoc.

Le protocole CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance)

Une station qui veut émettre un paquet choisit un nombre aléatoire dans un intervalle suivant l'algorithme du BeB (il sera décrit dans le paragraphe suivant), puis elle écoute le canal s'il est libre pendant un intervalle de temps DIFS (Distributed Inter Frame Space), si le canal est occupé, alors elle diffère la transmission, sinon elle émet la trame et attend l'accusé de réception. Si l'accusé de paquet n'arrive pas pendant un intervalle de temps SIFS (Short Inter Frame Space) plus le temps de réception de l'accusé, alors la trame a subi une collision. La station retransmet le paquet et si le nombre de retransmissions autorisé est atteint, la station détruit le paquet.

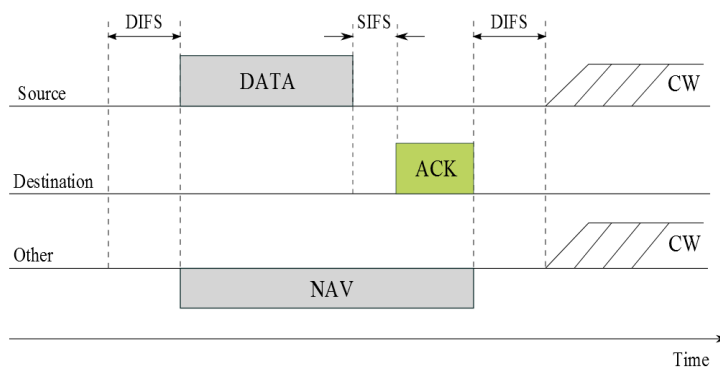


FIGURE 1.4 – La méthode d'accès CSMA/CA

BEB (Binary Exponentiel Backoff)

Le backoff est une méthode pour résoudre la concurrence d'accès au support pour différentes stations qui partagent le même canal. Avant de transmettre, une station tire un nombre aléatoire dans un intervalle appelé la fenêtre de contention CW (Contention Windows), qui est égale à un nombre de slot de temps (unité de mesure). Avant d'émettre, la station décrémente ce nombre à chaque slot de temps jusqu'à ce qu'il soit égale à zéro.

Dans le cas d'une collision, cet intervalle est doublé. Donc elle tire un autre nombre aléatoire dans le nouveau intervalle. CW est la taille de la fenêtre de contention, $CW = [CW_{min}, CW_{max}]$.

La figure 1.5 illustre un exemple de déroulement de l'algorithme BeB.

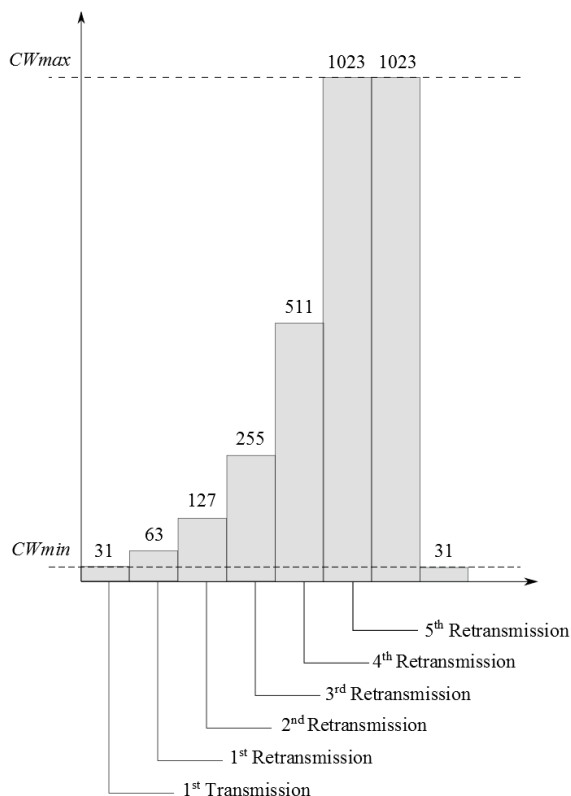


FIGURE 1.5 – Exemple de Backoff exponentiel.

IFSs

La norme *802.11* définit quatre types d'espace *IFSs* (*Inter Frame Space*) entre deux trames, ils sont classés du plus court au plus long :

SIFS (*Short IFS*) est le plus court IFS. Il est utilisé pour la transmission des trames ACK, CTS, réponse a un polling et des rafales de trames issues d'une même station.

PIFS (*PCF IFS*) est utilisé en mode PCF, il permet aux transmissions PCF de gagner l'accès au médium par l'utilisation d'un IFS plus petit que celui utilisé pour la transmission des trames en DCF.

DIFS (*DCF IFS*) est le plus couramment connu, il est utilisé en mode DCF comme un temps minimal d'attente avant la transmission.

EIFS (*Extended IFS*) est utilisé lorsqu'il y a détection de collision. Ce temps relativement long par rapport aux autres IFS, est utilisé comme inhibiteur pour éviter des collisions en série. Les valeurs de PIFS et DIFS sont calculées de la manière suivante :

$$PIFS = SIFS + SlotTime \quad (1.1)$$

$$DIFS = SIFS + 2 * SlotTime \quad (1.2)$$

où un Slot Time est la durée minimale pour détecter un canal libre [12].

Mécanisme RTS/CTS (Request to Send/ Clear To Send) :

Ce mécanisme est utilisé pour éviter les collisions et le problème des "stations cachées et exposées", i.e./ deux stations (non à portée de communication l'une de l'autre) cherchent à envoyer des paquets à un même destinataire [13].

Avant de commencer la transmission, la station commence par envoyer une trame RTS et attend en réponse une trame CTS. La station réceptrice d'une trame RTS répond par sa trame CTS. Ces deux trames contiennent la durée prévue pour l'échange qui va suivre [14].

La trame RTS est envoyé en mode diffusion, grâce à elle toutes les stations du réseau sont informées qu'une station est entrain d'envoyer. Les tailles de ces deux trames sont petites (20 octets pour RTS et 14 octets pour CTS).

Ce mécanisme est associé au protocole CSMA/CA comme optionnel, mais il est très couteux en terme de temps et de bande passante donc il n'est pas souvent recommandé de l'utiliser.

1.3.2 Fonction PCF (Point Coordination Function)

Au contraire du DCF cette stratégie est déterministe, elle est utilisée dans une topologie avec infrastructure. Le point d'accès qui gère le trafic et distribue la parole pour les stations dans sa zone de couverture.

Le point d'accès (AP) donne la parole à tour de rôle pour les stations du réseau. L'AP envoie une requête CF-Poll. Si la station accepte de prendre la parole, elle répondra avec un paquet CF-ACK. Une période sera allouée à cette station pour émettre des paquets de données. Si elle n'a rien à émettre pendant une période PIFS (PCF Inter Frame Space), cette station perd la parole et l'AP passe à la suivante.

Ce mode d'accès est plus fiable et assure l'équité, de telle sorte que chaque station bénéficie de même intervalle de temps pour transmettre une séquence de trame. Nous déduisons que cette méthode est bénéfique dans le cas de transfert de données synchrone, telle que la voix et la vidéo.

1.3.3 Fonction HCF (Hybrid Coordination Function)

Bien que le PCF assure un débit fluide et une certaine garantie de service, cette méthode a des défauts. Le HCF (Hybrid Coordination Function) est apparu pour remédier aux défauts du PCF et améliore de plus en plus la qualité de service. Elle combine et intègre deux méthodes d'accès (EDCA et HCCA) pour fournir un protocole MAC plus fiable. Dans ce qui suit, nous décrivons les méthodes d'accès de la fonction HCF :

1.3.4 Fonction EDCA (Enhanced Distribution Channel Access)

Dans le mode DCF, nous avons constaté qu'il s'agit d'un protocole basé sur la contention. EDCA apporte de plus la différenciation de service. La méthode définit quatre catégories d'accès appelées ACs. Pour chaque station, les ACs ont des priorités différentes. Cette priorité est définie grâce aux AIFS (Arbitration Inter Frame Space) et à des fenêtres de contention. On classe ces catégories selon l'ordre suivant ($AC_Voice > AC_Video > AC_BestEffort > AC_Background$). Nous résumons ces catégories et leurs spécificités dans la table 1.2.

Catégorie d'accès	AIFS	CWmin	CWmax
AC_VO	$SIFS + 2aSlotTime$	$\frac{aCWmin+1}{4} - 1 ; 3$	$\frac{aCWmin+1}{4} - 1 ; 7$
AC_VI	$SIFS + 2aSlotTime$	$\frac{aCWmin+1}{4} - 1 ; 7$	aCWmin ; 15
AC_BE	$SIFS + 3aSlotTime$	aCWmin ; 15	aCWmax ; 1023
AC_BK	$SIFS + 7aSlotTime$	aCWmin ; 15	aCWmax ; 1023

TABLE 1.2 – Paramètres de la fonction EDCA.

Chaque station a quatre files d'attente, chaque paquet est mis dans la file d'attente qui lui correspond. Deux compétitions sont menées pour transmettre un paquet : une compétition interne entre les files d'attente de la même station et une autre compétition dite externe entre station. Lorsque une AC donnée gagne la compétition interne, elle lui reste une autre compétition externe. Exactement comme le DCF, la station qui gagne l'accès au canal pour AC donnée, elle bénéficiera d'une opportunité de transmission appelée TXOP. Durant cette période la station peut envoyer plusieurs paquets de la file d'attente qui a gagné le canal (Transmission opportunity).

1.3.5 Fonction HCCA (Hybrid-Coordination-Function Controlled Channel Access)

HCCA est une implémentation d'un accès par scrutation. Il met en place des améliorations par rapport à PCF. La division de la supertrame en CP et CFP cesse d'être importante lorsque la fonction HCCA est employée. Cette division continue à exister afin de permettre aux non-QoS STA de fonctionner dans un réseau QoS. Cependant, HCCA permet au HC d'intervenir durant une CP ou une CFP pour mettre en place une scrutation. L'accès du HC pour ce genre de procédure se faisant avec une temporisation PIFS qui est inférieure aux AIFS, cet accès devient ainsi plus prioritaire que les accès par EDCA. La scrutation est mise en place grâce à une connaissance supposée du HC de l'état des files des stations au sein de la BSS.

Durant la CP, une QSTA peut accéder au médium si elle y parvient par EDCA, ou si elle y est explicitement invitée par un paquet CF-POLL envoyé par le HC. Le HC peut accéder au médium afin de scruter les QSTA (envoi d'un paquet CF-POLL) suite à une période PIFS d'inactivité du médium. Durant la CFP, les QSTA ne peuvent accéder au médium à moins qu'elles y soient explicitement invitées par un paquet CF-POLL envoyé par le HC. Le HC peut s'accorder un TXOP pour un envoi sur la voie descendante ou peut envoyer un paquet de scrutation CF-POLL suite à une période PIFS d'inactivité du médium. Un paquet CF-POLL contient une valeur TXOPLimit, indiquant à la station scrutée la durée d'utilisation du médium à ne pas dépasser.

1.4 Agrégation de trame et Acquiescement regroupé

1.4.1 Format d'une trame MAC

La trame au niveau de la couche MAC est appelée MPDU (MAC Protocol Data Unit). elle est composée des champs qui définissent son identité, son format et sa destination finale. La trame MAC est constituée d'un en-tête, d'une charge utile et d'un champs FCS (Frame Check Sequence) comme le montre *la figure 1.6*.

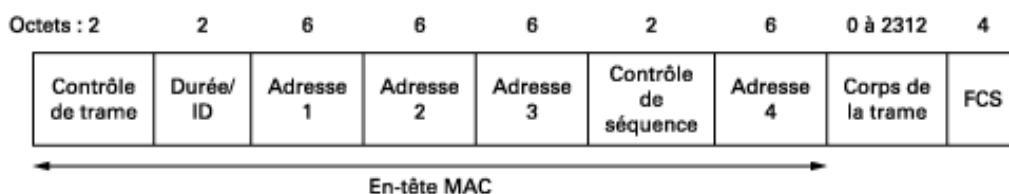


FIGURE 1.6 – Format générale d'une trame MAC

Le FCS est un champ de 4 octets, il est calculé en utilisant l'algorithme CRC (Cyclic Redundancy Code), pour détecter et corriger les erreurs de transmission.

La charge utile contient les données utiles à envoyer. Sa taille varie de 0 à 2312 octets.

Un champ " contrôle de trame " contient des données telles que le protocole utilisé et le type de trame transmise.

Le champ " durée/ID " contient la durée calculée pour la transmission de la trame. Cette valeur est dépendante du débit de la couche physique.

Les champs adresses contiennent respectivement :

- L'adresse du destinataire des données contenues dans le corps du paquet transmis ;
- L'adresse de la source des données contenues dans le corps du paquet transmis ;
- L'adresse de la station à laquelle cette trame est envoyée (utile lorsque la trame doit transiter par des relais avant d'atteindre sa destination finale) ;
- L'adresse de la station expédiant la présente trame (utile lorsque cette station est une station relais).

1.4.2 Acquittements groupés

Ce mécanisme est optionnel et permet d'optimiser l'utilisation du médium. Il permet à des stations d'envoyer plusieurs trames à la fois avant de recevoir des acquittements regroupés dans une seule trame.

Le 802.11n optimise la couche MAC du WiFi en réduisant d'une part la taille du paquet ACK, qui passe de 128 octets à 8 octets, et surtout en permettant à une station d'émettre plusieurs trames, puis d'attendre un acquittement groupé, qu'on appelle le " Block-ACK ". On économise ainsi un peu de bande passante. Ceci est particulièrement utile lorsque l'on met en oeuvre l'agrégation de trames. Par exemple, au lieu d'émettre trois trames en attendant à chaque fois un ACK, soit en tout 6 trames émises, on peut émettre une seule trame agrégée A-MPDU et recevoir un seul Block-ACK [8].

1.4.3 Agrégation des trames

Un système d'agrégation pour 802.11n permet de réduire l'impact des en-têtes lors des émissions. Cette réduction a été placée à l'endroit où le rendement est le plus faible, c'est à dire au sein de la couche MAC [9]. Le principe est de regrouper un ensemble de trames qui ont la même source et la même destination avec un seul entête MAC pour former un A-MPDU (MPDU agrégé) comme le montre *La figure 1.7*. Cette technique permet de limiter l'effet des en-têtes.

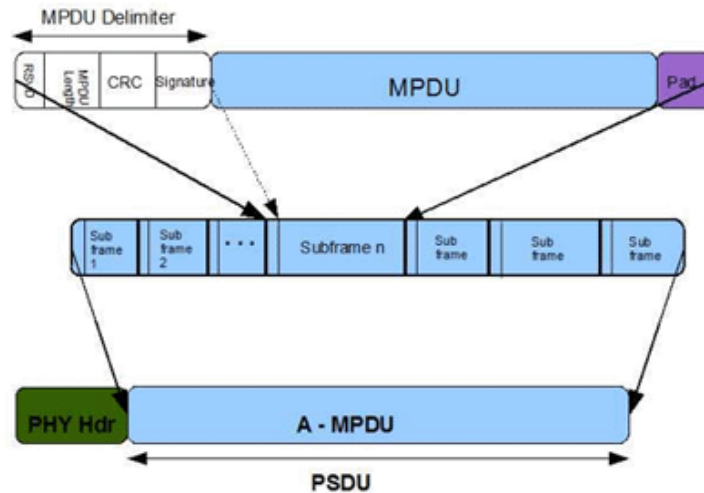


FIGURE 1.7 – A-MPDU.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les spécifications du standard IEEE 802.11, notamment la couche physique et la couche MAC, leurs mécanismes de base et les améliorations qui ont été apportées par le standard.

Le DCF que procure le standard IEEE 802.11 a fait de cette norme la technologie la plus répandue commercialement. De même, le regroupement de canaux révèle un avenir prometteur à cette norme, grâce au débit qu'on peut atteindre avec cette technique. Le prochain chapitre fera l'objet d'une synthèse sur les principaux travaux qui vont permettre d'atteindre le très haut débit pour le standard IEEE 802.11.

CHAPITRE 2

L'AMENDEMENT IEEE 802.11AC ET LES TRAVAUX EXISTANTS

Introduction

Après avoir présenté des généralités sur le standard IEEE 802.11, nous allons passer à la nouvelle norme à très haut débit IEEE 802.11ac. L'amendement 802.11ac est proposé pour améliorer le débit de la norme 802.11n et aller au delà du gigabit par seconde [15] [24].

Dans ce chapitre, nous allons présenter premièrement les nouvelles caractéristiques PHY et MAC de l'amendement 802.11ac. Ensuite, un état de l'art sur les méthodes d'accès multi-canaux sera dressé dans la deuxième partie du chapitre. Enfin, nous terminerons ce chapitre par des critiques concernant la synthèse bibliographique.

2.1 Présentation de l'amendement IEEE 802.11ac

2.1.1 Couche Physique

256-QAM

Avant d'être transmis, le signal est modulé suivant une méthode de modulation. Plusieurs méthodes ont été définies :

- FSK (Frequency Shift Keying) c'est la plus simple, les deux niveaux logique (0 et 1) sont représentés par deux valeurs opposées de fréquence (+f et -f) ;
- PSK (Phase Shift Keying) c'est la plus utilisée, les deux niveaux logique (0 et 1) sont représentés par des angles différentes.

Cette technique a été développée pour avoir le BPSK (Binary Phase Shift Keying) au lieu de représenter 2 symboles (0 et 1), on représente quatre symboles de deux bits chacun (00, 01, 10, 11) et le QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) pour représenter 16 symboles de 4 bits chacun ;

- AM (Amplitude modulation) au lieu de varier la phase ou bien la fréquence, on varie l'amplitude du signal pour représenter les deux niveaux logiques (0 et 1).

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) est une technique de modulation qui combine deux types de modulation de base qui sont PSK et AM. La combinaison de ces deux types de modulation permet d'augmenter le débit des symboles (Valence), de manière suivante : un seul saut de phase ou bien d'amplitude permet d'obtenir un symbole différent.

On désigne par le chiffre qui précède QAM la valence ; cette dernière signifie le nombre de symboles différents qui peuvent être codés par la modulation QAM. En pratique, on exploite des valences allant de $M=4$ à $M=256$. D'où vient le nom 256-QAM.

Pour le 802.11ac, les données au niveau physique sont modulées en utilisant BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM et 256-QAM. Cette dernière n'est pas supportée par le 802.11n. [16]. Avec 256-QAM, le débit maximum qu'on peut atteindre avec un seul utilisateur pour un canal de 80 MHz est de 866,66 Mbps, et seulement 650 Mbps pour le 64-QAM [17].

DL MU-MIMO

MIMO (Multiple Input Multiple Output) est le premier mécanisme à être introduit dans la norme 802.11 [17]. Comme nous avons constaté dans le chapitre 1, cette technique permet d'envoyer et de recevoir plusieurs flux en utilisant plusieurs antennes. Le standard 802.11n supporte au maximum quatre flux simultanés et peut servir un seul utilisateur à la fois (cette technique est connue sous le nom Single-User MIMO, SU-MIMO) avec le multiplexage spatial à quatre flux [19]. Dans le cas de la différenciation de service, un flux ne peut contenir que des données du même type. DL désigne la période du Downlink, la durée où les utilisateurs sont servis par l'AP. La *Figure 2.2.a* montre un exemple de DL SU-MIMO.

Le MU-MIMO désigne une technique où plusieurs utilisateurs peuvent être servis à la fois. la (*Figure 2.2.b*) montre le principe du système MU-MIMO adopté par le standard 802.11ac. Dans ce standard, MU-MIMO supporte quatre utilisateurs au maximum avec quatre flux spatiaux par utilisateur au maximum. Le nombre de flux spatiaux ne dépasse pas huit flux pour un équipement 802.11ac [17].

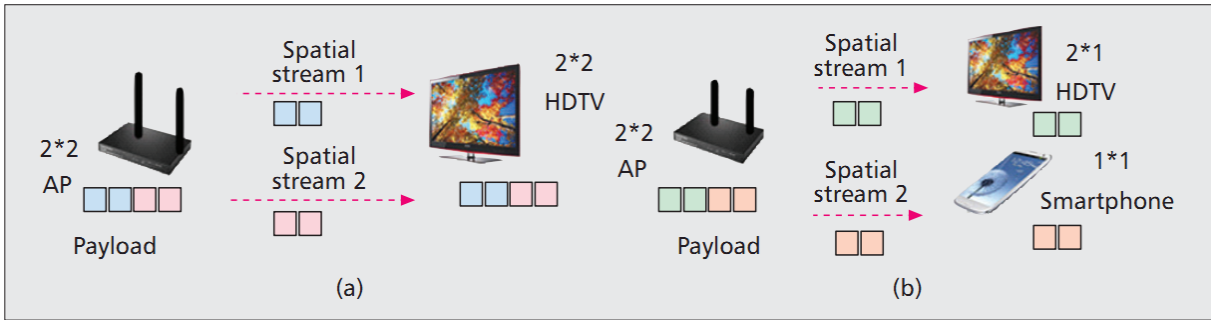


FIGURE 2.1 – a) SU-MIMO ; b) MU-MIMO.

Transmission multi-canaux

Dans le chapitre précédent, nous avons introduit le principe de regroupement de canaux. Ce dernier a été adopté comme un mécanisme optionnel dans le standard 802.11n. L'un des plus importantes améliorations pour le 802.11ac, est que ce standard supporte des canaux plus larges.

La bande des 5 GHz est divisée en canaux de 20 MHz, 19 canaux disponibles en Europe et 24 canaux aux USA ; l'Algérie suit la réglementation européenne. Le regroupement de deux canaux adjacents de 20 MHz nous offre un canal plus large de 40 MHz, cette concaténation a été utilisée dans le standard 802.11n, mais comme option. Le 802.11ac peut aller plus loin et peut supporter des canaux de 80 MHz et 160 MHz formés à partir des combinaisons de deux canaux de 40 et 80 MHz, respectivement. Un autre atout très important, la transmission sur deux canaux de 80 MHz non adjacents : 80+80 MHz. La *Figure 2.2* représente la répartition des canaux dans la bande des 5 GHz, et la manière dont ces canaux sont regroupés dans le cas des USA. Dans le cas de notre pays et en Europe les canaux 149 à 165 ne sont pas utilisés.

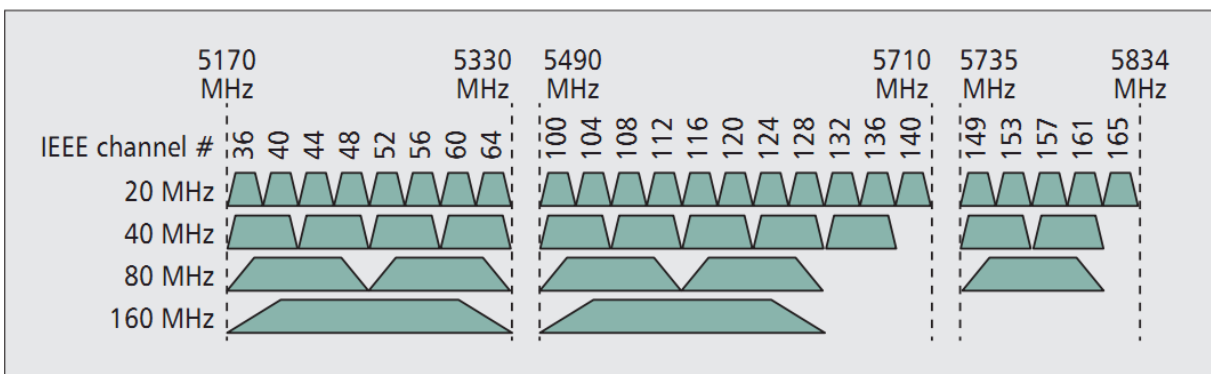


FIGURE 2.2 – Regroupement des canaux.

Dans un canal de 40 MHz, on trouve un sous-canal de 20 MHz primaire et un autre secondaire. Dans les canaux de 80 MHz, 160 MHz et 80 MHz + 80 MHz, on trouve des sous-canaux primaires et secondaires de 40 MHz, 80 MHz, respectivement. La *Figure 2.3* montre la répartition des canaux primaires et secondaires.

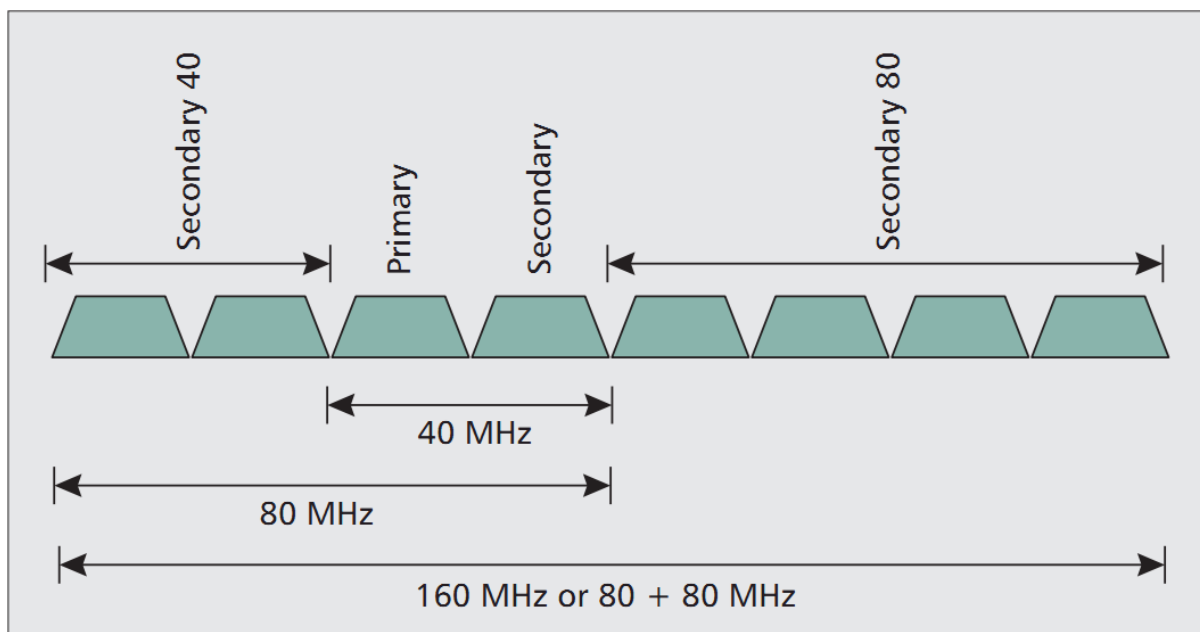


FIGURE 2.3 – Selection des canaux primaires et secondaires.

On différencie un canal primaire du canal secondaire grâce à ses caractéristiques physiques. Pour assurer la compatibilité avec les autres équipements des autres normes, un canal primaire a les mêmes caractéristiques qu'un simple canal utilisé par les autres normes du standard 802.11. Le canal primaire a pour rôle d'écouter, et s'assurer qu'aucun autre équipement n'est entrain d'émettre grâce à la technique CCA (Clear Channel Assessment). En général, un canal primaire moins large est plus sensible qu'un canal primaire plus large, et un canal secondaire est moins sensible qu'un canal primaire. Il a été mentionné dans [20], qu'un équipement 802.11ac peut détecter qu'un sous-canal primaire est occupé dans $4 \mu\text{s}$ avec une probabilité de 90 %. Contrairement, un canal secondaire qui détecte l'occupation dans $25 \mu\text{s}$ avec la même probabilité.

Les canaux larges ont été une très bonne solution pour atteindre le très haut débit. Avec un canal de 160 MHz et un seul flux spatial, on peut aller jusqu'à 866.6 Mbps en utilisant 256-QAM, et avec huit flux spatiaux, on peut aller jusqu'à 6.933 Gb/s [17].

2.1.2 Couche MAC

Agrégation de trames

Pour éviter les espaces de temps inter-trames et les overheads. Le standard IEEE 802.11 a apporté des modifications au niveau MAC. La première amélioration qui a été proposée est les acquittements groupés, ensuite l'agrégation des trames est apparue.

Dans le contexte de l'amélioration du protocole MAC, le 802.11n a proposé deux types d'agrégation des trames, à savoir A-MSDU et A-MPDU, selon l'ordre de leurs publications [21]. Un autre type d'agrégation intitulé hybride A-MSDU/A-MPDU a été aussi proposé [22].

Dans le 802.11ac, on a poussé les limites de la taille des A-MPDU et A-MSDU, l'augmentation des tailles de ces dernières permet d'optimiser les temps de transmission et d'améliorer le débit. La table *Table 2.1* publiée dans [23], nous donne un aperçu sur cette amélioration.

Standard	802.11n	802.11ac
A-MSDU(Bytes)	7935	11426
A-MPDU(Bytes)	65535	1048579

TABLE 2.1 – Taille des A-MPDUs et A-MSDUs

TXOP Sharing

Pour assurer la qualité de service (QoS), le protocole EDCA a été introduit avec le TXOP. Une station qui obtient une TXOP, peut envoyer seulement les trames qui appartiennent à la même catégorie d'accès (AC). L'idée principale du TXOP Sharing est de permettre à un point d'accès d'exécuter des transmissions simultanées à de multiple stations réceptrices en employant l'identification de groupe. Durant la période du Downlink, la catégorie d'accès qui gagne une TXOP sera considérée comme une AC primaire et les autres seront des ACs secondaires. Nous pouvons avoir seulement une AC primaire et de multiple ACs secondaires, mais il pourrait y avoir de multiples destinations primaire et secondaire [24]. Le MU-MIMO a été un atout important pour le partage de la TXOP comme le montre la *Figure.2.4*, de telle sorte que plusieurs utilisateurs seront servis simultanément durant une seule TXOP, on parle bien de MU-TXOP.

Le 802.11ac ajoute une nouvelle phase pour garantir le mécanisme TXOP Sharing. Dans cette période c'est l'AC primaire qui décidera avec quelles ACs secondaires partager la TXOP, aussi bien vers des destinations (*primaires et secondaires*). D'ailleurs, la durée de la TXOP est définie à base de la TXOP limit de l'AC primaire et le temps de transmission est basé sur la quantité de données programmées pour être transmises par l'AC primaire. La période du MU-TXOP est finie quand l'AC primaire termine sa transmission, même si les ACs secondaires ont plus de trames à transmettre.

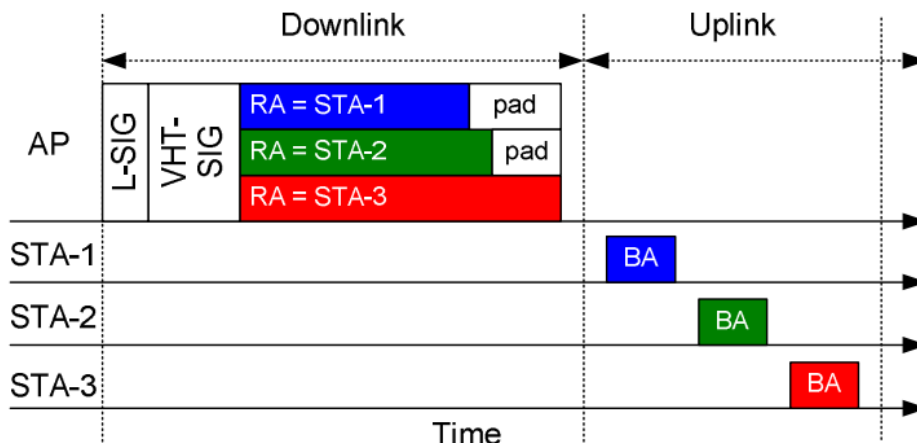


FIGURE 2.4 – Transmission DL MU-MIMO.

La *Figure 2.5.* représente comment des ACs différentes peuvent partager un EDCA TXOP. AC-VI est considérée comme l'AC primaire, et elle veut envoyer deux blocs de trames MSDUs pour STA-1 et STA-3, respectivement. Par conséquent, ces deux stations sont les destinations primaires. Les ACs secondaires sont des AC-VO et des AC-BE, la STA-2 est une destination secondaire. Des trames MSDUs seront transmises dans de multiples A-MPDUs. Pour les deux ACs secondaires, la plus haute priorité est transmise en premier [24].

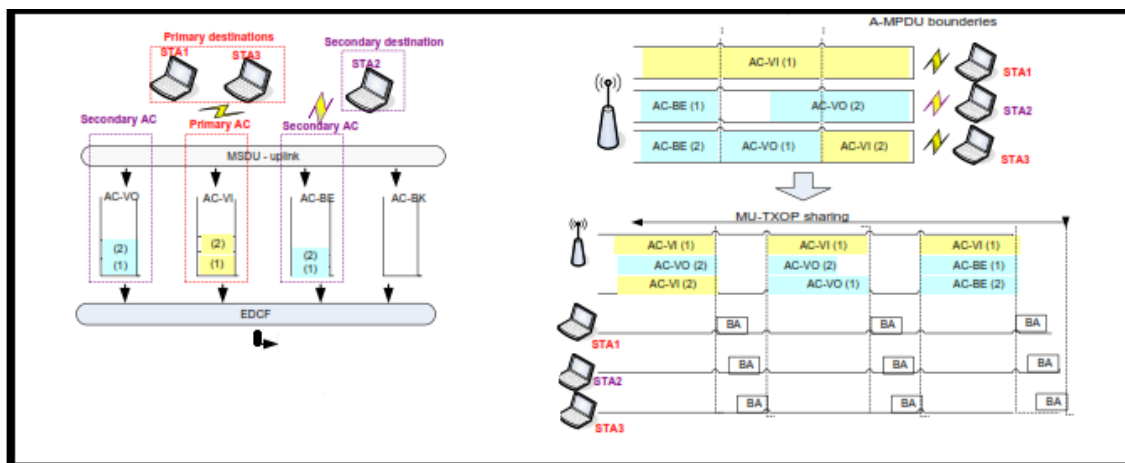


FIGURE 2.5 – Illustration du TXOP Sharing.

Les méthodes d'accès multi-canaux

Dans la section précédente, nous avons constaté que l'amendement 802.11ac a élargi d'avantage la bande passante. Des canaux de 80 MHz et de 160 MHz comme option ont été proposés. Deux méthodes d'accès multi-canaux ont été proposées par le 802.11n, à savoir :

la méthode statique pour l'accès à un canal de 40MHz et la méthode dynamique pour l'accès à un canal de 20/40 MHz [25]. Dans [26] une extension a été proposée pour les deux méthodes pour des canaux de 80 MHz et 160 MHz. Ils consistent à avoir un canal primaire et trois canaux secondaires pour un canal de 80 MHz. Dernièrement, le standard a publié dans l'article [19] ces règles et une autre méthode qui se base sur le RTS/CTS.

L'accès statique :

Les stations 802.11ac écoutent exclusivement le canal primaire durant une période égale à DIFS+Backoff. Si le canal primaire est libre durant cette période, et tout les canaux secondaires sont libres pendant un PIFS avant l'expiration du Backoff, la station transmet sur toute la largeur des canaux regroupés, si un canal secondaire n'est pas libre durant un PIFS avant l'expiration du backoff, la station diffère sa transmission et choisit un autre Backoff dans la fenêtre de contention courante. Plus que le canal est large, plus la probabilité d'accès à ce canal est faible. La *Figure 2.6* donne un schéma explicatif pour la méthode d'accès statique sur un canal de 80 MHz.

L'accès 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. La *Figure 2.7* donne un schéma explicatif pour l'accès dynamique sur un canal de largeur 80 MHz.

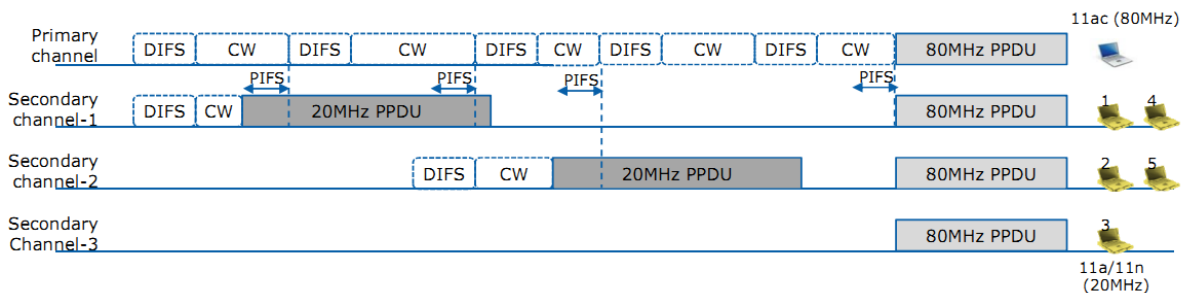


FIGURE 2.6 – Accès statique.

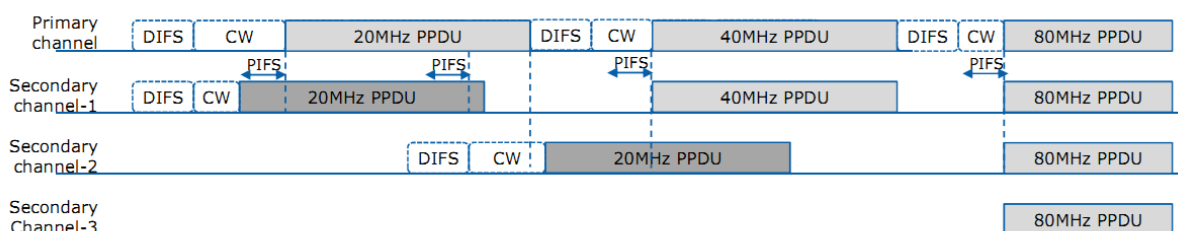


FIGURE 2.7 – Accès dynamique.

L'accès avec RTS/CTS :

Si un point d'accès (AP) 802.11ac est proche des autres points d'accès du standard 802.11a/n et qui opère sur n'importe quel canal de 20 MHz dans la bande de 80 MHz ou 160 MHz, des interférences peuvent être engendrées entre ces équipements. Car deux équipements peuvent transmettre au même temps. Pour résoudre ce problème, le 802.11ac a défini un mécanisme de prise de contact, qui s'intègre pour les deux modes statique et dynamique. Le principe est d'étendre le mécanisme RTS/CTS pour les méthodes d'accès multi-canaux.

Pour bien expliquer ce principe, prenons le scénario qui a été exposé dans [19] et [27] : un point d'accès (AP) qui veut transmettre sur un canal de 80 MHz trouve le canal libre, il transmet un RTS sur chaque canal de 20 MHz. Ce RTS peut être compris par tous les équipements 802.11ac et aussi les autres équipements 802.11a et 802.11n, les clients concernés répondront par un CTS dupliqué sur les canaux libres de 20 MHz. L'AP transmet sur les canaux à partir desquels il a reçu des CTSs.

La Figure 2.8 illustre le mécanisme de l'accès avec RTS/CTS.

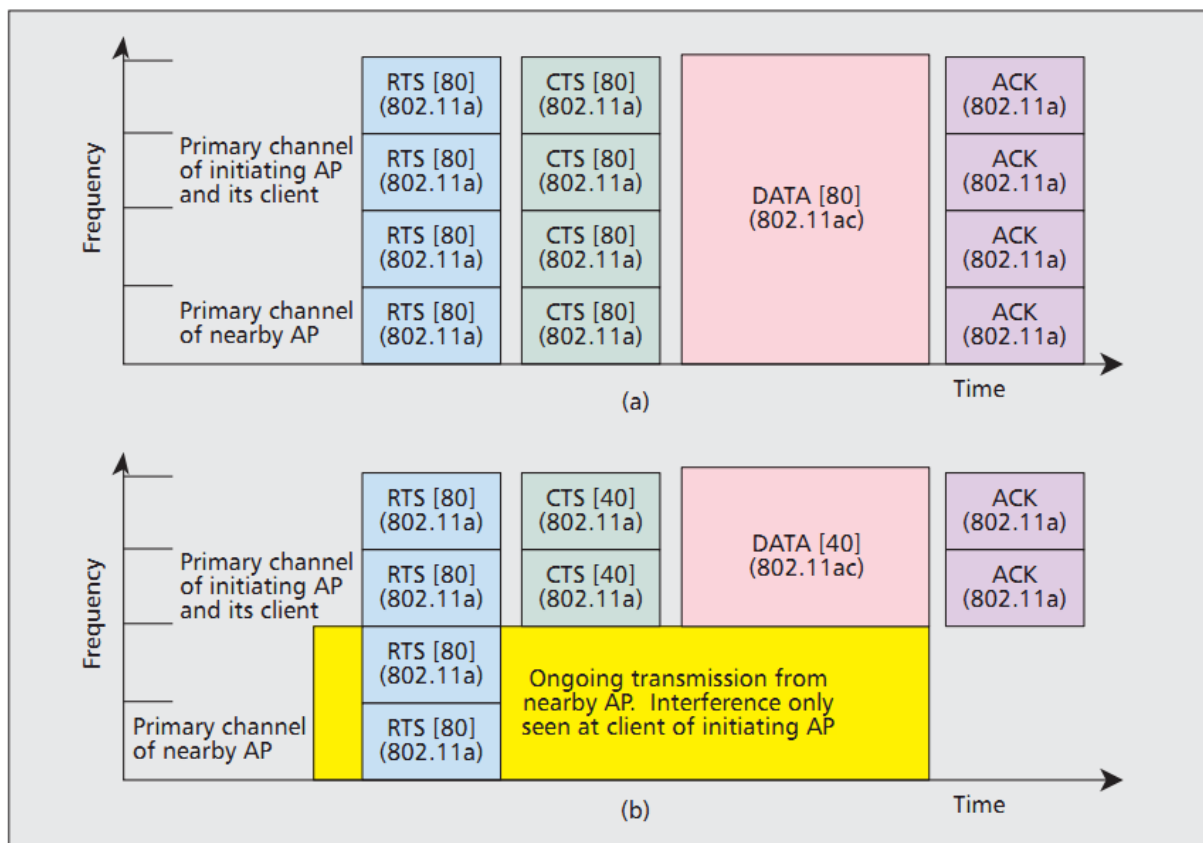


FIGURE 2.8 – Amélioration RTS/CTS : a)comportement sans interférences ; b) comportement avec interférences.

2.2 Etat de l'art sur la transmission multi-canaux

Cette section sera dédiée aux travaux de recherche qui ont été faits dans le contexte de la transmission multi-canaux. Durant notre recherche bibliographique, nous avons constaté que très peu de travaux ont été faits dans ce sens, en plus la plupart de ces travaux ont visé beaucoup plus la couche physique plutôt que la couche MAC, qui est le cerveau du Wi-Fi comme nous avons dit dans le premier chapitre. Les principaux travaux sont résumés dans un ordre qui se rapproche à notre proposition :

Michelle et al. (2011) [26] : .

Cet article s'inscrit dans l'amélioration de la 802.11ac, il vient pour résoudre le problème des noeuds cachés au niveau des canaux secondaires, de telle sorte que les auteurs ont fait une extension directe du mécanisme de base RTS/CTS.

Park (2011) [28] :

Cet article est comme un trait d'union entre la 802.11a/n et la 802.11ac, car l'auteur a exposé les deux protocoles statique et dynamique du 802.11n, puis il leur a fait une extension pour des bandes plus larges. Les deux principaux problèmes qui ont été traités sont : premièrement, la cohabitation des équipements 802.11ac avec des équipements 802.11a/n, deuxièmement, le positionnement du canal primaire dans la bande des 5 GHz.

Redieteab et al. (2010) [29] :

Les auteurs pensent que la concaténation des canaux au niveau de la couche physique augmente le risque de collision, car le A-MPDU est étalé sur toute la largeur des canaux comme le montre la *Figure 2.9.(a)*. Dans ce cas, une collision sur un des canaux peut corrompre tout les MPDUs, les auteurs l'ont nommé "Agrégation verticale". Les auteurs ont déduit que plus le nombre de canaux agrégés augmente, plus la probabilité de collision augmente aussi. Donc, ils pensent d'envoyer un A-MPDU sur toute la largeur des canaux, mais un MPDU est étalé seulement sur une partie des canaux agrégés ou bien un sous bloc de canaux comme le montre la *Figure 2.9.(b)*. De cette manière, si une collision survient sur un canal, c'est juste les MPDUs qui sont corrompus qui doivent être ré-envoyer. Si la probabilité de collision est de P , alors dans leur proposition la probabilité de collision est de $P = P/B$, telle que B est le nombre de sous-bloc de canaux. Dans la *Figure 2.9.(b)*, $B=2$.

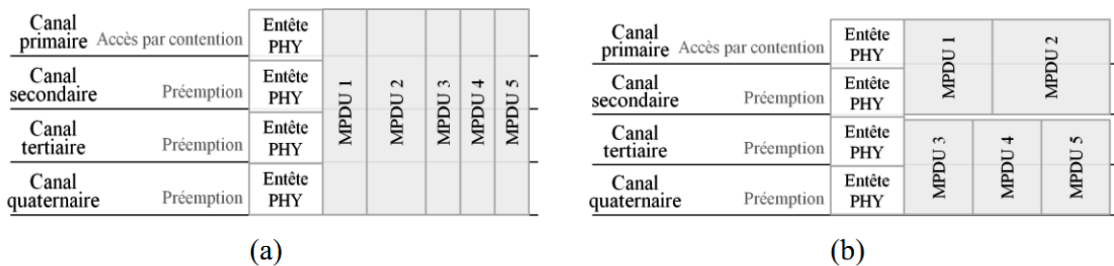


FIGURE 2.9 – a) Agrégation verticale; b) Agrégation horizontale.

Cette technique doit être très efficace dans la diminution du taux de collision qui est un problème à traiter dans le sans fil. Les auteurs ont exigé que le type d'agrégation doit être signalé dans l'entête physique pour que la machine réceptrice comprenne. Les questions qui se posent : est ce qu'on doit basculer entre les deux modes d'agrégation? Quand ce basculement sera t-il intéressant? Dans le cas de collision comment peut on ré-envoyer juste la partie corrompue? En plus de toutes ces questions, la couche physique doit être modifiée pour lui permettre de comprendre ce nouveau mode qui présente un point négatif pour cette proposition.

Stelter (2013) [30] :

Cette lettre est très riche. Cependant, elle présente une autre approche très loin des protocoles standards proposés. L'auteur propose le protocole PbMAC qui consiste à fonctionner dans le mode avec infrastructure, Durant la période du uplink, le canal primaire est réservé pour l'écoute et recevoir des ACKs qui sont envoyés par l'AP. Les stations du réseau choisissent un backoff et le décrémentent si un des canaux secondaires est libre, sinon elle arrêtera la décrémentation du backoff. Pour terminer la période de uplink, l'AP envoie une trame sur la canal primaire pour informer l'ensemble des station qu'il débutera la période de downlink. Durant le downlink, le point d'accès occupe toute la largeur de la bande pour envoyer ses données pour les stations.

Cette méthode est très bonne dans un réseau avec infrastructure, mais elle perdra tout son contexte dans un réseau Ad Hoc. En plus de ça, la couche physique doit être modifiée en ajoutant des modules radios. Cette modification est coûteuse en terme d'énergie.

Béjarano (2013) [19] :

cet article résume toutes les nouvelles propositions de ces dernières années apportées à 802.11ac et fait un constat sur les méthodes les plus adaptées à ce standard. En plus de ça, nous donne beaucoup de liberté pour faire de plus en plus de proposition, et de chercher des méthodes plus proches du standard, qui vont être commercialisées. D'ailleurs on a pris cet article comme un point de départ pour élaborer notre proposition.

2.3 Critiques des travaux existants

Notre thème s'inscrit dans le cadre de l'optimisation de la couche MAC pour le standard IEEE 802.11 qui est la tendance de notre ère. La dernière version IEEE 802.11ac est une perspective dans l'avenir grâce à des débits promoteurs et des prix abordables. L'une des préoccupations actuelles du standard est l'accès aux canaux multicanaux, pour atteindre les très hauts débits.

Durant notre recherche, on a constaté un énorme manque de documentation et très peu de publication, surtout ce qui concerne les méthodes d'accès multi-canaux. Donc, nous et nos encadreurs, on s'y penché directement, dans le vif du sujet et de l'actualité pour participer au développement de ce standard.

Après avoir analysé les protocoles existants dans le contexte d'accès multi-canaux, on a pu découvrir des défaillances et quelques manques. Les critiques qui nous ont permis d'aboutir à des conclusions seront clarifiées dans le prochain chapitre. La bonne analyse et le sens de la critique nous ont guidé directement à proposer une nouvelle approche pour l'accès multi-canaux.

Conclusion

Ce chapitre a été riche et plein d'informations. Nous avons survolé presque toute l'actualité de l'amendement 802.11ac sous ses deux aspects MAC et PHY. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux méthodes d'accès multi-canaux. Cette introduction au standard 802.11ac va être cruciale pour aborder le prochain chapitre qui portera sur notre proposition.

CHAPITRE 3

PROPOSITION ET SIMULATION D'UNE NOUVELLE MÉTHODE D'ACCÈS MULTI-CANAU

Introduction

Après avoir étudié les travaux existants dans les chapitres précédents, nous entrerons dans le vif du sujet en posant notre problématique dans la première section. La section qui suit sera consacrée à la présentation de notre proposition. Enfin une dernière section qui sera dédiée pour l'implémentation, la simulation et l'analyse de nos résultats.

3.1 Problématique et motivations

Nous avons centré notre recherche sur les deux méthodes d'accès multi-canaux statique et dynamique, car comme nous avons vu dans le chapitre précédent que la plus part des propositions qui ont été faites engendrent des modifications au niveau de la couche physique avec toute les limites qu'elles représentent. En plus leurs publications dans l'article [24], peut être une confirmation que les équipements qui seront industrialisés dans l'avenir, intégreront sans doute ces protocoles de base.

Après avoir étudié les deux méthodes d'accès de base statique et dynamique, nous avons constaté qu'ils ont des limites, peut être le dynamique est mieux que le statique quelque part, mais après avoir approfondit nos recherches ; nous avons déduit que même le dynamique n'est pas efficace dans certaines situations.

Le statique est le premier protocole qui a été proposé, loin d'être performant, il suffit qu'un seul canal secondaire soit occupé durant la période PIFS avant l'expiration du backoff pour que la station diffère sa transmission en tirant un nouveau backoff dans la même fenêtre de contention. Ainsi l'accès dépend de l'occupation et de liberté de tous les canaux secondaires. On peut exprimer la probabilité d'accès pour le protocole statique comme suit :

$$P = P_c/NC. \quad (3.1)$$

Telle que P_c est la probabilité d'accès d'une station à un seul canal et NC est le nombre maximum de canaux qu'on peut gagner. Dans le cas où beaucoup de stations 802.11a/n opèrent sur les canaux secondaires, il se peut qu'une station 802.11ac ne pourra jamais transmettre, car lorsque le nombre de canaux augmente la probabilité d'accès tend vers zéro.

Contrairement à l'accès statique, l'accès dynamique est une meilleure approche pour palier à ces problèmes, car une station peut accéder à tous les canaux ou bien à une partie des canaux regroupés. En effet, lorsque la valeur de backoff égale à PIFS, la station écoute tous les canaux secondaires de manière qu'elle peut gagner 1, 2, 4 ou 8 canaux pour accéder à une bande de largeur 20, 40, 80 ou 160 MHz respectivement. Durant notre analyse : nous avons conclu que ce protocole a des limites ; la taille d'un A-MPDU est très importante dans la norme 802.11ac, elle peut aller jusqu'à 1048579 octets. Nous avons constaté que cette taille peut être pénalisante dans l'accès dynamique, car une station qui gagne un canal étroit et s'amuse à envoyer ce long A-MPDU, alors que les autres canaux peuvent se libérer dans quelques instants qui succède le gain du canal étroit.

Nous avons pris un exemple illustratif qui engendre un scénario qui exprime la différence entre les deux protocoles et leurs faiblesses. Prenons un exemple de réseau qui opère sur une bande de fréquence de 5 GHz, sur une largeur de canal de 80 MHz, divisé en 4 canaux de 20 MHz chacun. Des stations 802.11ac qui opèrent sur toute la largeur du canal et des stations 802.11 n/a qui opèrent sur les canaux de 20 MHz.

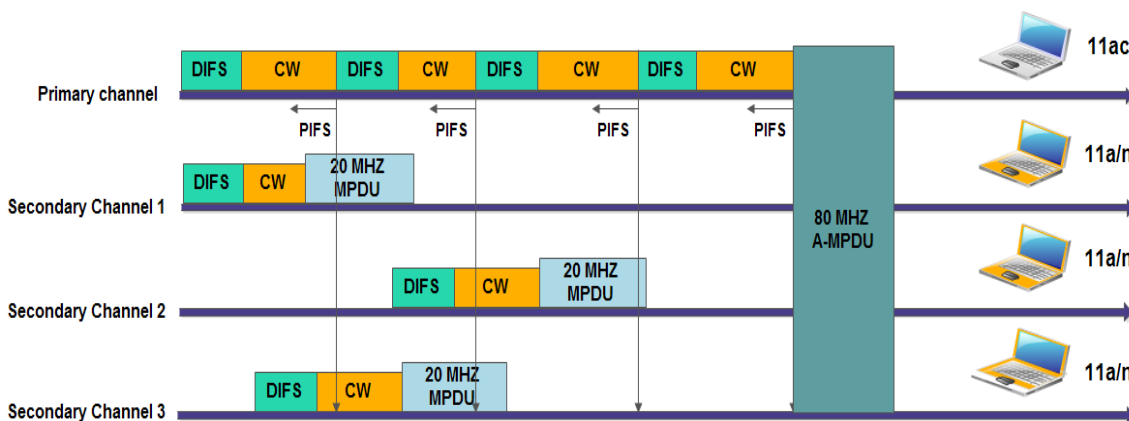


FIGURE 3.1 – transmission multi-canaux avec l'accès statique sur 80 MHz.

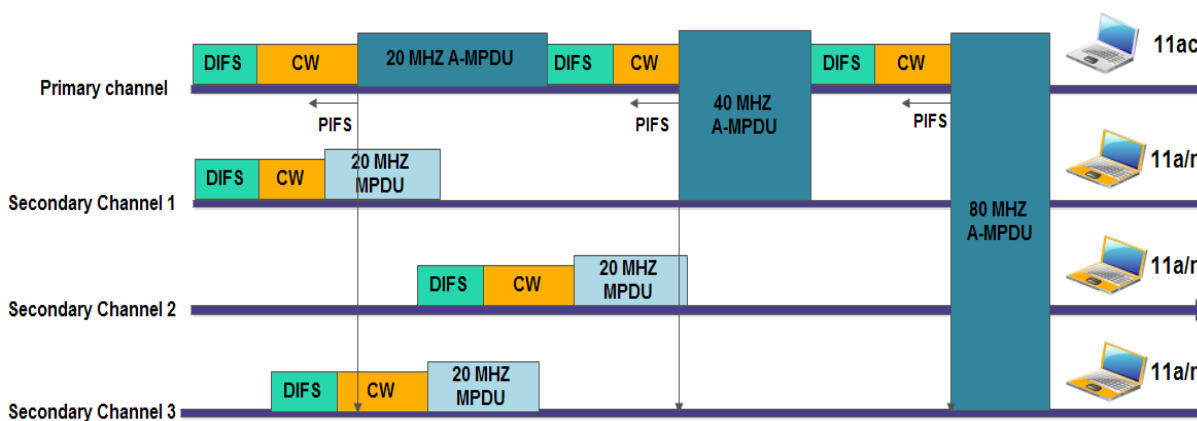


FIGURE 3.2 – transmission multi-canaux avec l'accès dynamique sur 80 MHz.

Dans l'accès statique, les stations 802.11ac diffèrent leurs transmissions plusieurs fois avant de réussir à gagner toute la largeur du canal, les stations 802.11 n/a empêchent sévèrement les stations 802.11ac d'accéder au canal, comme il est montré dans *la figure 3.1*.

Dans l'accès dynamique, les stations 802.11ac accèdent aux canaux, mais cet accès est en générale sur une bande étroite, comme il est montré dans *la figure 3.2*, le canal est sous-exploité à cause du A-MPDU qui est long.

3.2 Proposition d'une méthode d'accès multi-canaux

A partir des limites des deux protocoles de base, nous avons pensé à une approche qui améliore le protocole dynamique, l'accès sera de la même façon que le dynamique, lors de l'expiration du backoff la station débute l'envoi du A-MPDU, c'est là où nous avons apporté une modification. Au lieu d'envoyer un long A-MPDU sur un canal étroit, la quantité du A-MPDU à envoyer dépend de la largeur des canaux gagnés. Donc, un nombre de MPDUs ($Nbre_MPDU$) qui convient à la largeur du canal gagné est envoyé. Après avoir transmis une partie du A-MPDU, on sépare les transmissions par une période équivalente à SIFS. Avant la fin de la transmission et lorsque le reste de la durée de transmission + SIFS égale à PIFS, on écoute les canaux secondaires qui ne sont pas encore gagnés, s'ils sont libres. Les canaux qui sont libres pendant un PIFS seront agrégés aux canaux déjà gagnés de sorte à avoir un canal plus large. La transmission d'un A-MPDU sera découpée plusieurs fois avant d'envoyer la totalité d'un A-MPDU, elle peut se faire de la manière suivante :

$$Nbre_MPDU = (A - MPDU * (NS + 1)) / NC. \quad (3.2)$$

Un nombre de MPDUs est envoyé selon le nombre de canaux gagnés ($NS+1$), durant l'écoute qui succède cette transmission, sachant que NC est le nombre maximum de canaux qui peuvent être agrégés, si toute la largeur du canal est gagnée sans doute le protocole se comporte comme le Statique, sinon il se comportera comme le dynamique mais avec les règles de transmission que nous avons définies.

Prenons le même exemple de la section précédente, comme nous remarquons dans la *Figure 2.3*, grâce aux règles de transmissions que nous avons proposées, le canal est mieux exploité, car après avoir gagné un canal étroit de 20 MHz, 1/4 de la taille A-MPDU est envoyé, après le test des canaux secondaires pendant un PIFS. Un canal de 40 MHz est gagné et 2/4 de la taille du A-MPDU est envoyée, enfin la station envoie le reste du A-MPDU sur le même canal. Comme le montre la *figure 3.3*, le canal est mieux exploité par conséquent le débit sera amélioré.

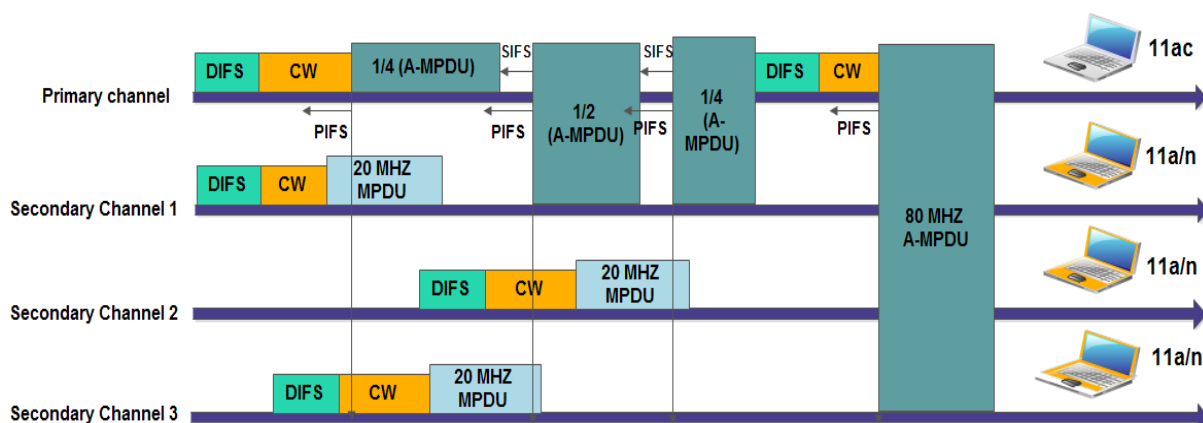


FIGURE 3.3 – transmission multi-canaux de la proposition sur 80 MHz.

3.3 Implémentation, simulation et analyse des résultat

3.3.1 Conception du simulateur

Pour réaliser l'évaluation de performance de notre proposition et l'étude comparative entre les protocoles existants, nous avons développé un simulateur. Nous avons tout d'abord fait une étude de l'existant sur le simulateur 802.11-ANSRE réalisé par Yazid et Khodja dans [6]. La souplesse et la simplicité et surtout le besoin de simuler uniquement la couche MAC en tenant compte des paramètres de la couche physique nous ont poussés à utiliser le noyau de ce simulateur dans notre travail. Le diagramme SADT de ce simulateur est présenté dans la figure 3.4 :

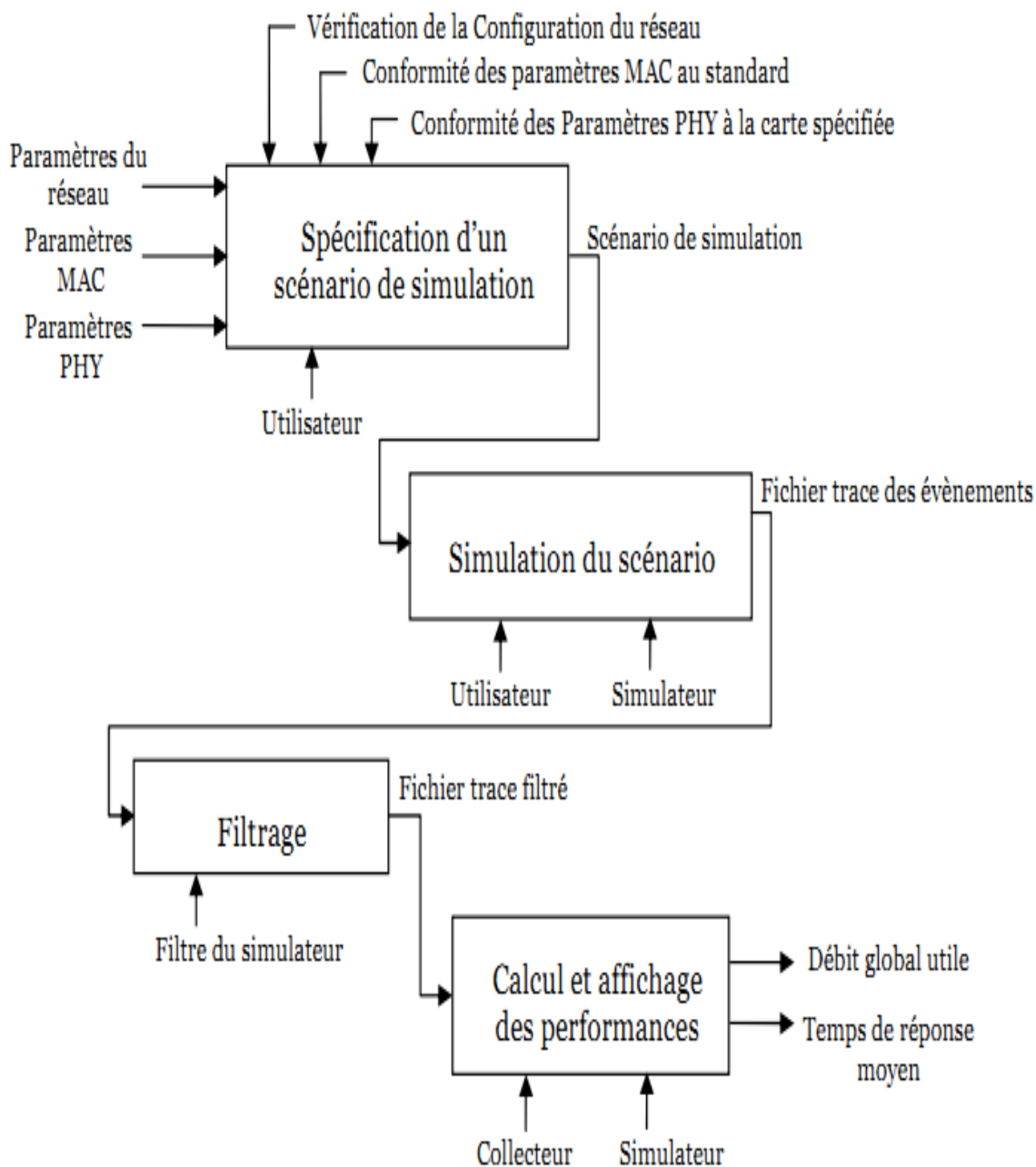


FIGURE 3.4 – Schéma SADT du simulateur.

Nous avons utilisé les sémaphores et la programmation multi-threadée de la norme Posix, cela pour exprimer le partage des canaux dans le but de bien gérer les ressources du réseau. Après avoir étendu le simulateur, en plus de ces fonctionnalités de base, nous avons ajouté une couche physique qui répond au besoin du 802.11ac. Au niveau de la couche MAC, nous avons intégré les trois méthodes d'accès sur lesquelles porte notre étude. *La figure 3.5* montre le diagramme de classes proposé en [6], ainsi que notre apport mentionné en couleur jaune.

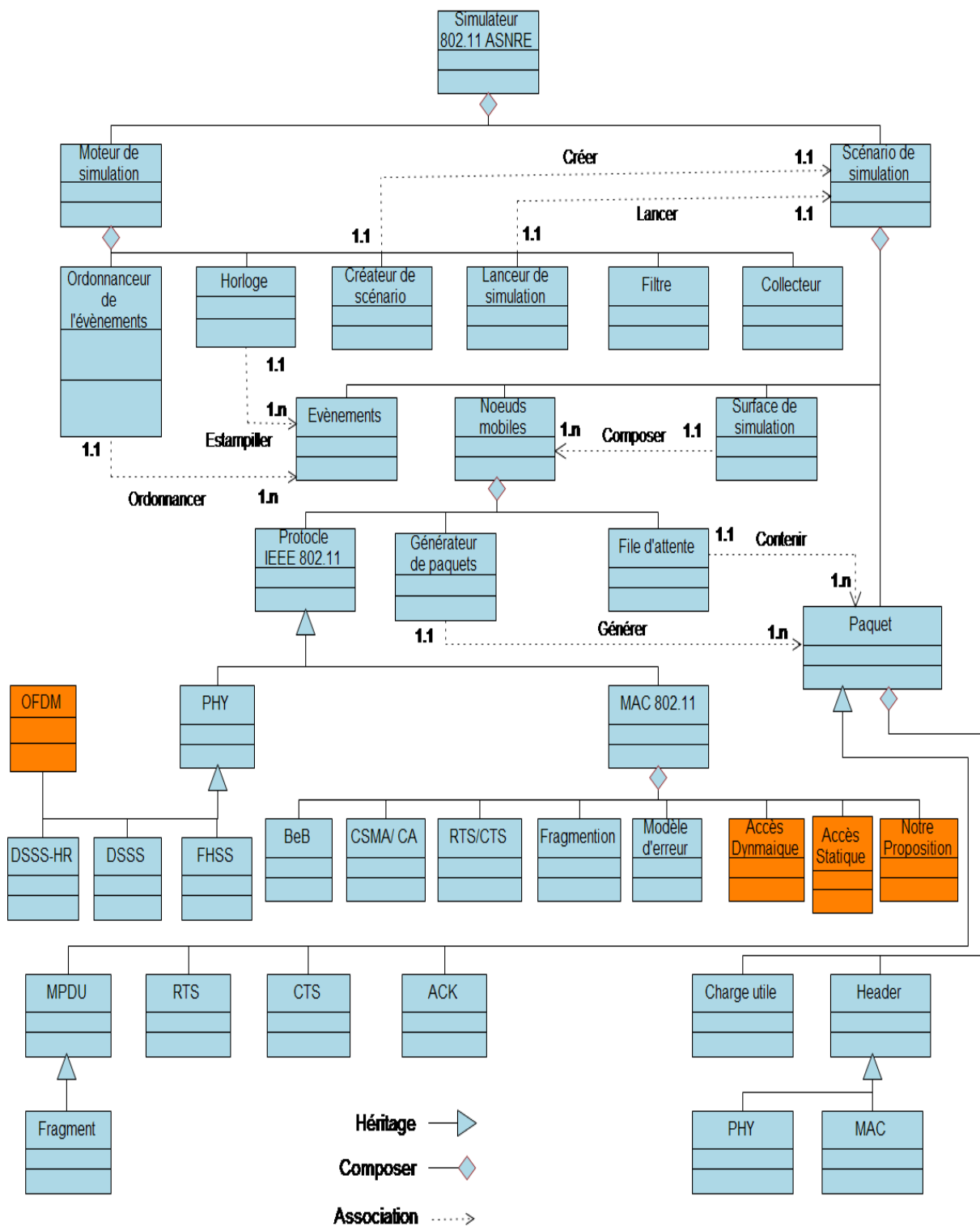


FIGURE 3.5 – Diagramme des classes du simulateur.

3.3.2 Réalisation du simulateur

Pour faire une évaluation de performance complète, nous avons constaté qu'il fallait faire une étude comparative, pour cela nous avons jugé de programmer les trois protocoles (statique, dynamique et notre proposition). Pour la première fois des organigrammes ont été proposés, car jusqu'à maintenant toutes les études qui ont été faites étaient des études superficielles et générales. Donc, nous allons donner dans ce qui suit toutes les nouveautés que nous avons intégrés dans notre simulateur, les paramètres ainsi que les organigrammes.

Paramètres de la couche physique et MAC

Les paramètres physique et MAC ont subi des modifications avec l'apparition de la norme 802.11ac. Nous allons définir les différents paramètres qu'on a intégrés dans notre simulateur dans les *Tables 2.1, 2.2* respectivement. Ces paramètres sont extraits des deux derniers drafts du standard IEEE 802.11 celui de Février 2012 [32], et celui de Septembre 2013 [31].

Paramètres	Valeurs
DIFS	34 μs
PIFS	25 μs
SIFS	16 μs
Durée d'un slot vide	9 μs
Débit de transmission des paquets de control	6.5 Mbits/s
Débit de transmission de l'entête PHY	6.5 Mbits/s
Débit de transmission de l'entête MAC	6.5 Mbits/s
Durée de l'entête PHY	40 μs

TABLE 3.1 – Paramètres de la couche PHY 802.11

Parèmtres	Valeurs
Taille minimal de la fe- nêtre de contention	32
Taille maximal de la fe- nêtre de contention	1024
Nombre minimum de re- transmission	5
Nombre maximum de retransmission	7
Taille de l'entête MAC	36 octets
Taille ACK	14 octets
Taille BA	40 octets
Taille delemiter	4 octets
Taille pading	3 octets
Taille FCS	4 octets
Debit Transmission Pa- quet	78 octets

TABLE 3.2 – Paramètres de la couche MAC 802.11ac

Organigramme de la méthode d'accès statique

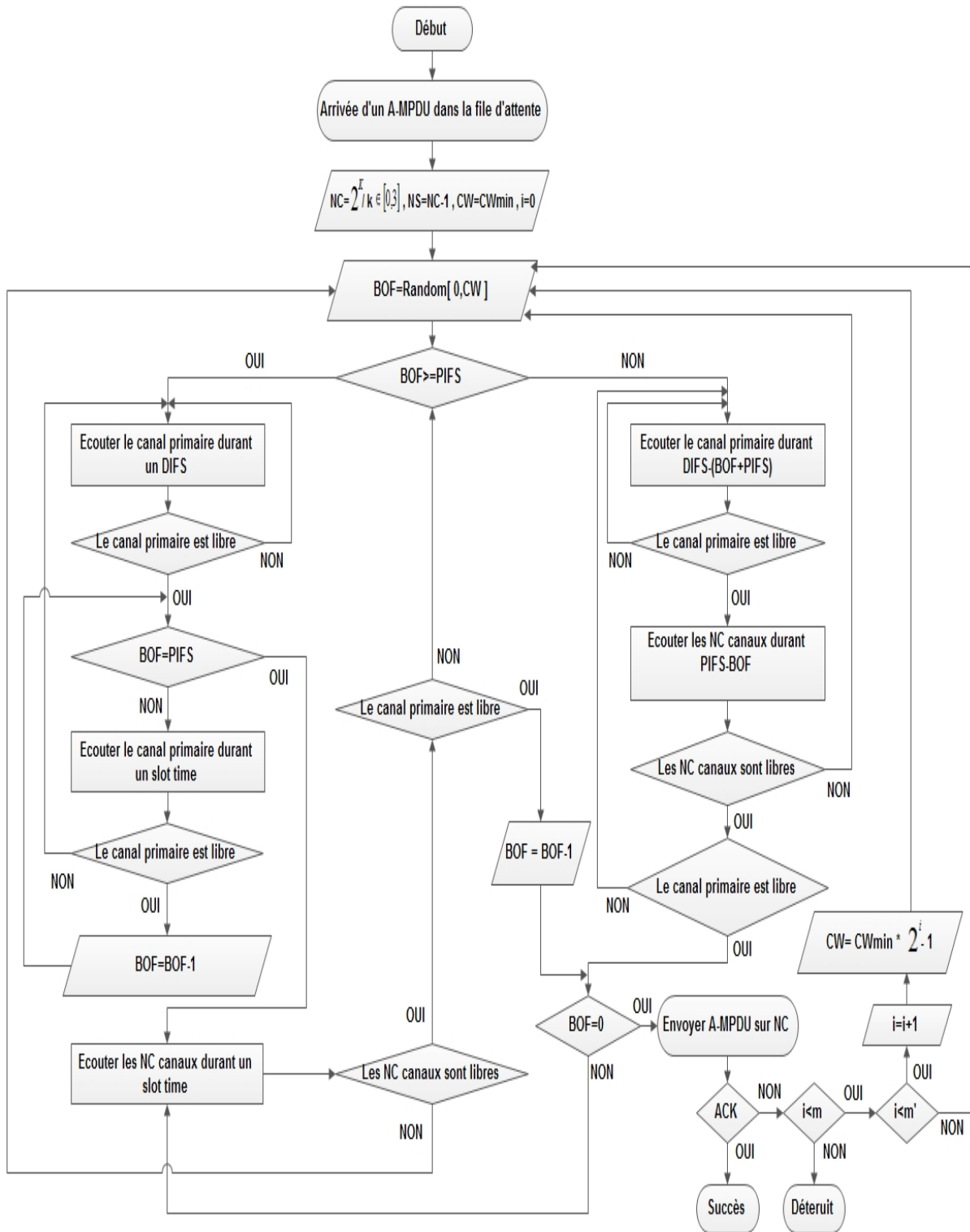


FIGURE 3.6 – Organigramme du protocole Statique.

Organigramme de la méthode d'accès Dynamique

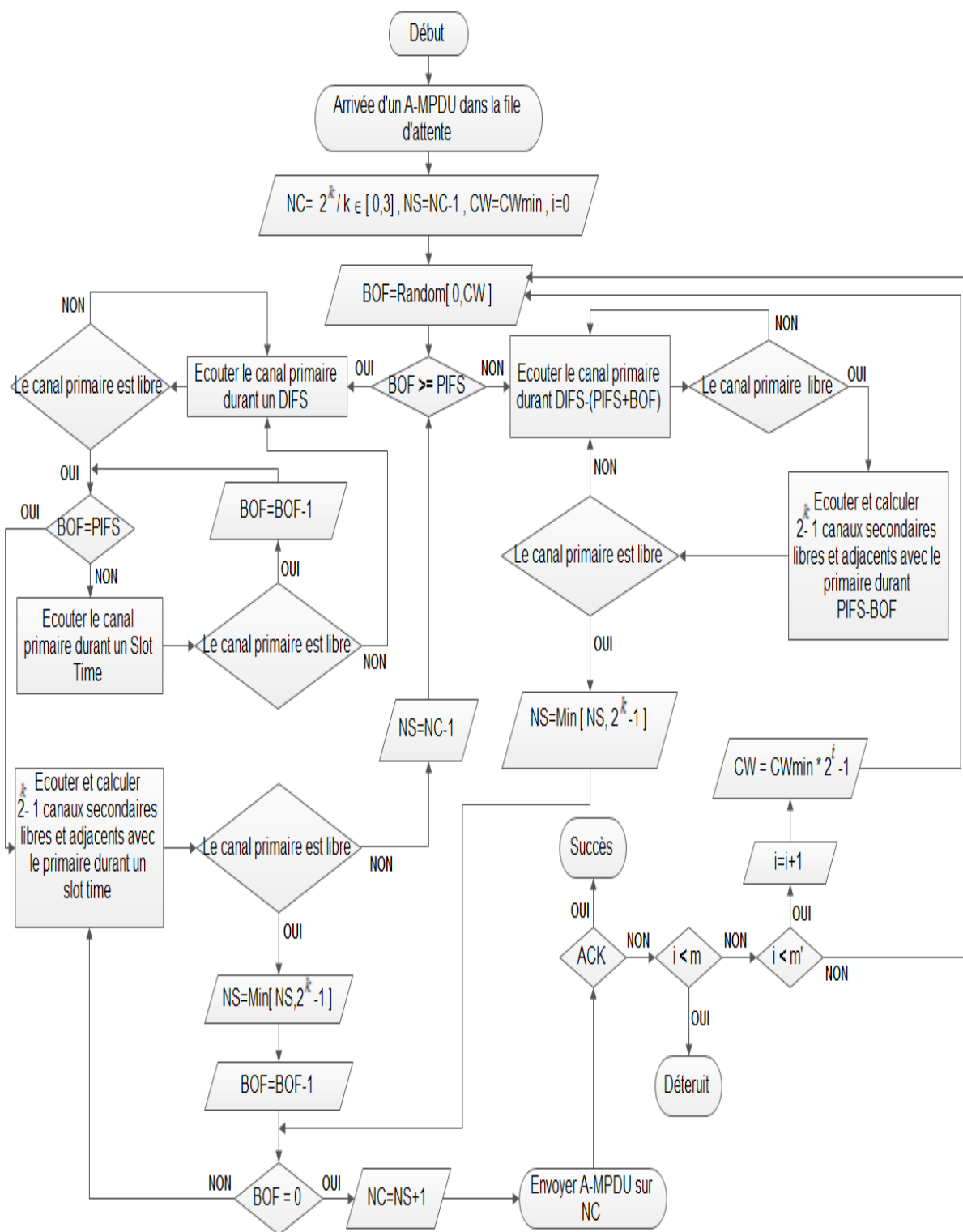


FIGURE 3.7 – Organigramme du protocole Dynamique.

Organigramme de la méthode d'accès proposée

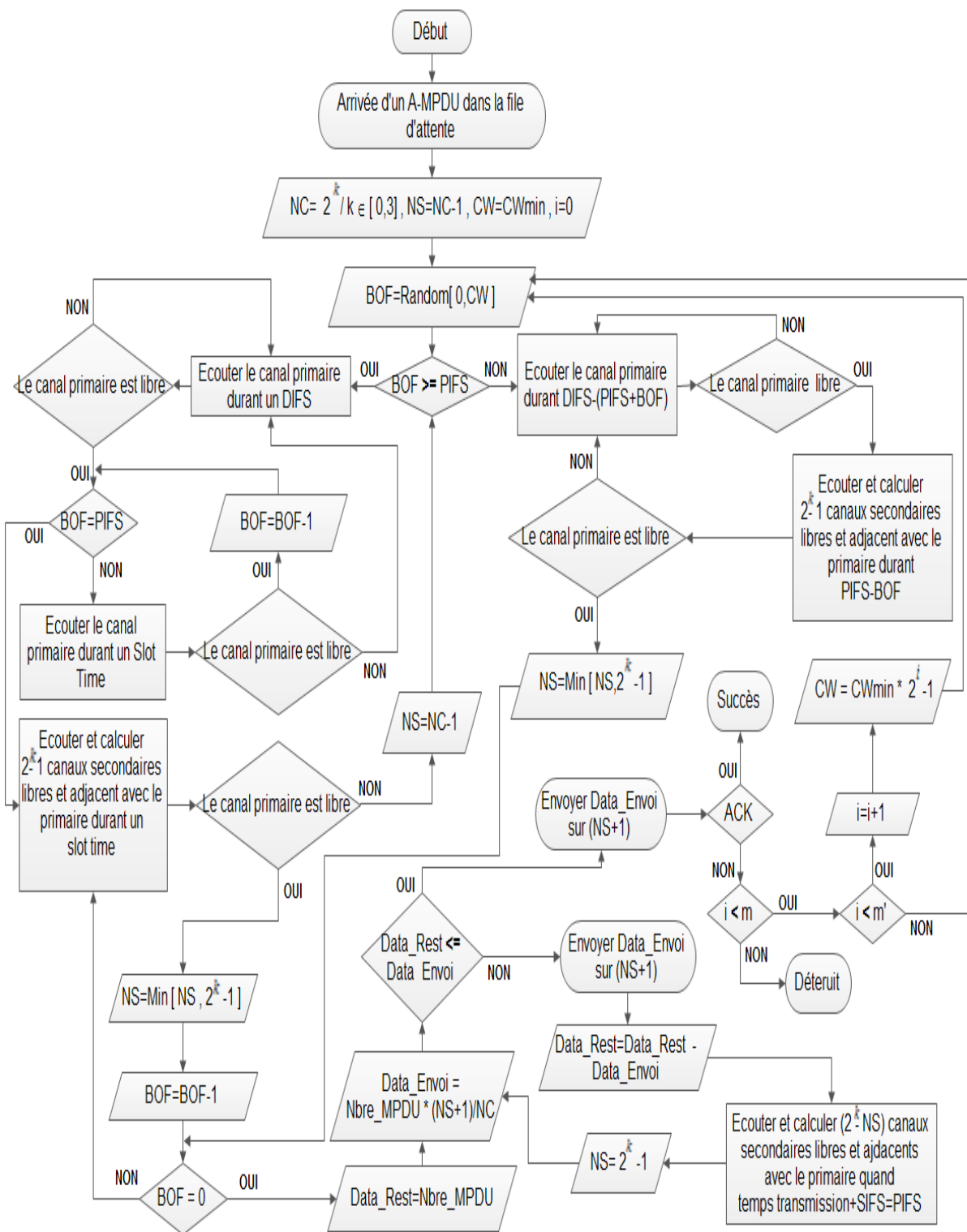


FIGURE 3.8 – transmission multi-canaux proposition sur 80 MHz.

3.3.3 Comparaison et analyse de performances

Nous avons fait quatre études comparatives pour évaluer les performances des trois protocoles statique, dynamique et notre proposition. Cette étude se résume dans les points suivants :

- L'impact du taux d'occupation des canaux secondaires sur le débit atteignable.
- L'impact de la taille des A-MPDU sur le débit atteignable.
- L'impact du nombre de MPDU agrégé dans un seul A-MPDU sur le débit atteignable.
- L'impact du nombre de stations dans le réseau sur le débit.

Cette étude a été faite avec des largeurs de canaux différentes 40, 80 et 160 MHz, pour voir l'apport de notre proposition sur des largeurs des canaux différents.

L'impact du taux d'occupation des canaux secondaires sur le débit atteignable :

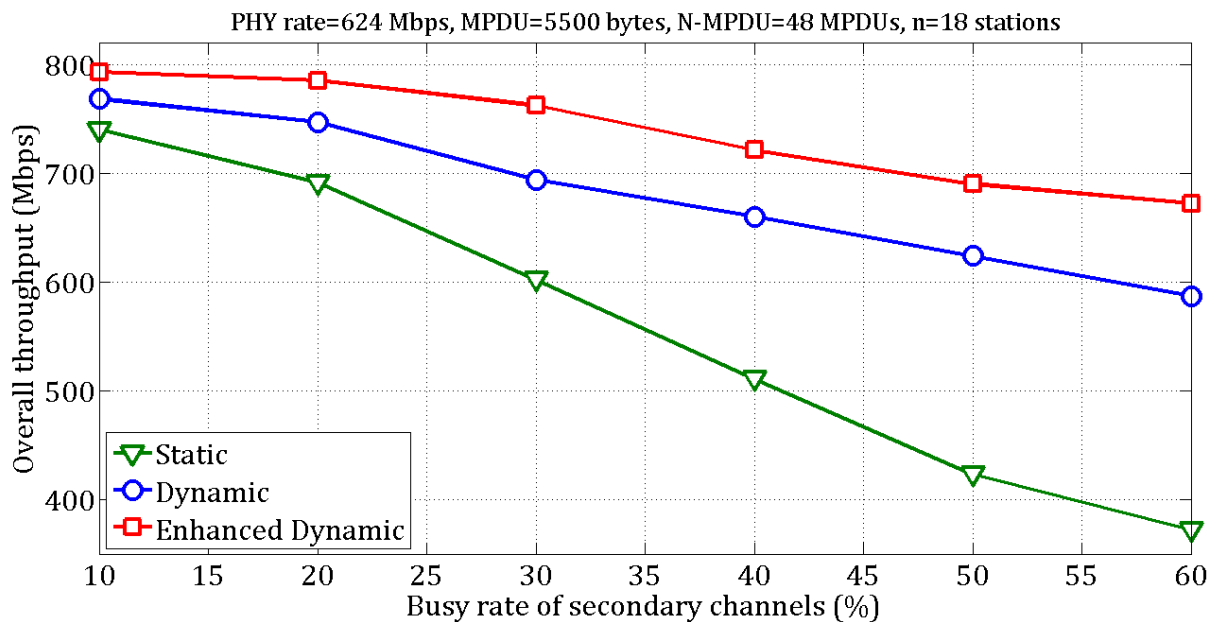


FIGURE 3.9 – Débit effectif par rapport au taux d'occupation sur 40 MHz.

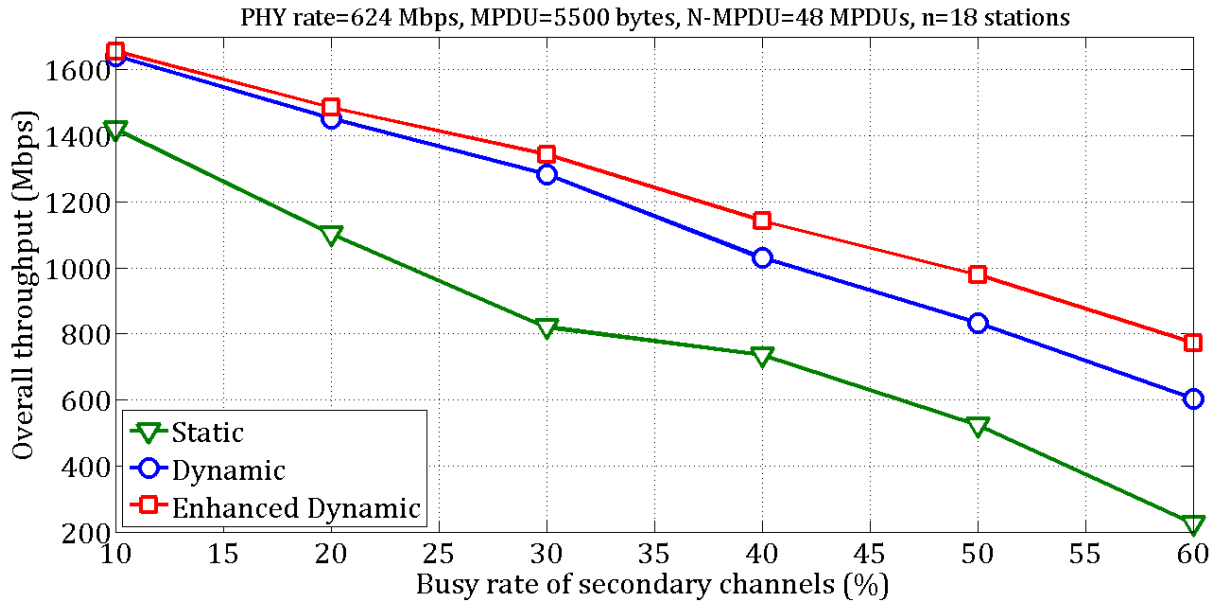


FIGURE 3.10 – Débit effectif par rapport au taux d'occupation sur 80 MHz.

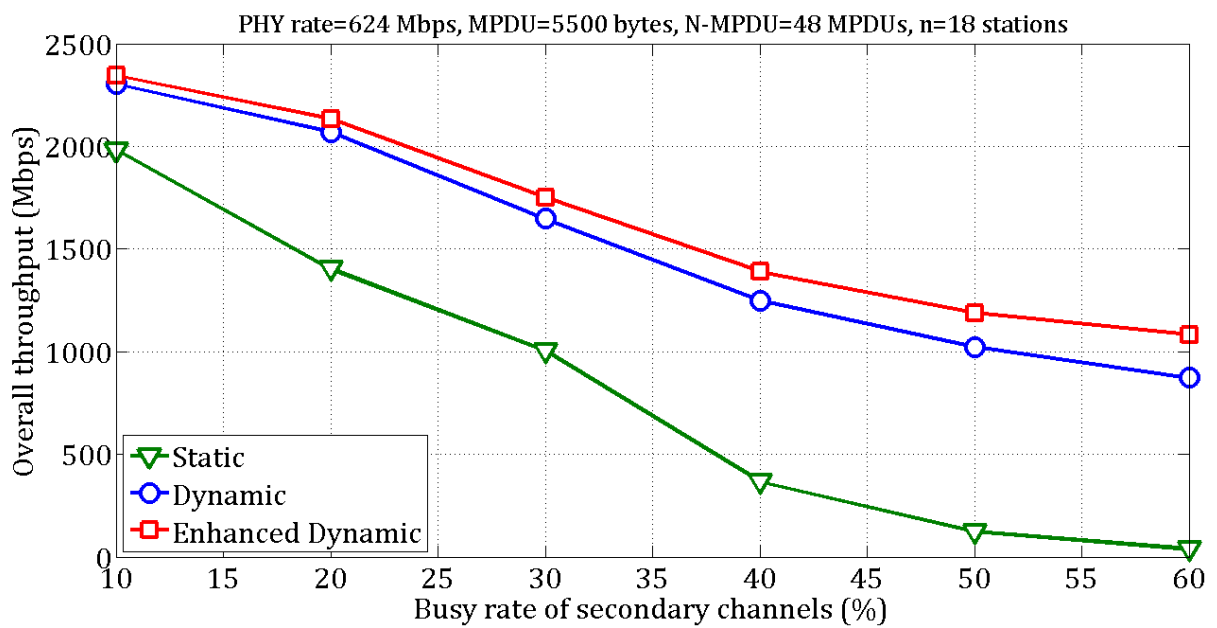


FIGURE 3.11 – Débit effectif par rapport au taux d'occupation sur 160 MHz.

Les figures 2.7, 2.8 et 2.9 illustrent la variation du débit effectif global d'un réseau 802.11ac, suivant le taux d'occupation des canaux secondaires pour les trois protocoles, sur différentes largeurs des canaux : 40 MHz, 80 MHz et 160 MHz, respectivement.

Premièrement, nous remarquons que le débit de notre proposition est meilleur par rapport au dynamique qui est meilleur à son tour par rapport au statique quelque soit la largeur du canal et quelque soit le taux d'occupation des canaux secondaires. Deuxièmement, le débit chute avec l'augmentation du taux d'occupation des canaux secondaires, notons que le débit du statique décroît rapidement, surtout quand la largeur du canal devient plus importante. Troisièmement, notre proposition devient de plus en plus meilleure que les deux protocoles avec la croissance du taux d'occupation.

Ces résultats ne sont guère surprenant, vu que notre proposition exploite mieux les canaux que les protocoles dynamique et statique. Cette simulation nous a permis de voir l'influence des stations 802.11 a/n qui opèrent sur les canaux secondaires dans un réseau 802.11ac, car la cohabitation de ces stations avec des 802.11ac constitue une véritable limite pour le débit.

L'impact de la taille des A-MPDU sur le débit atteignable :

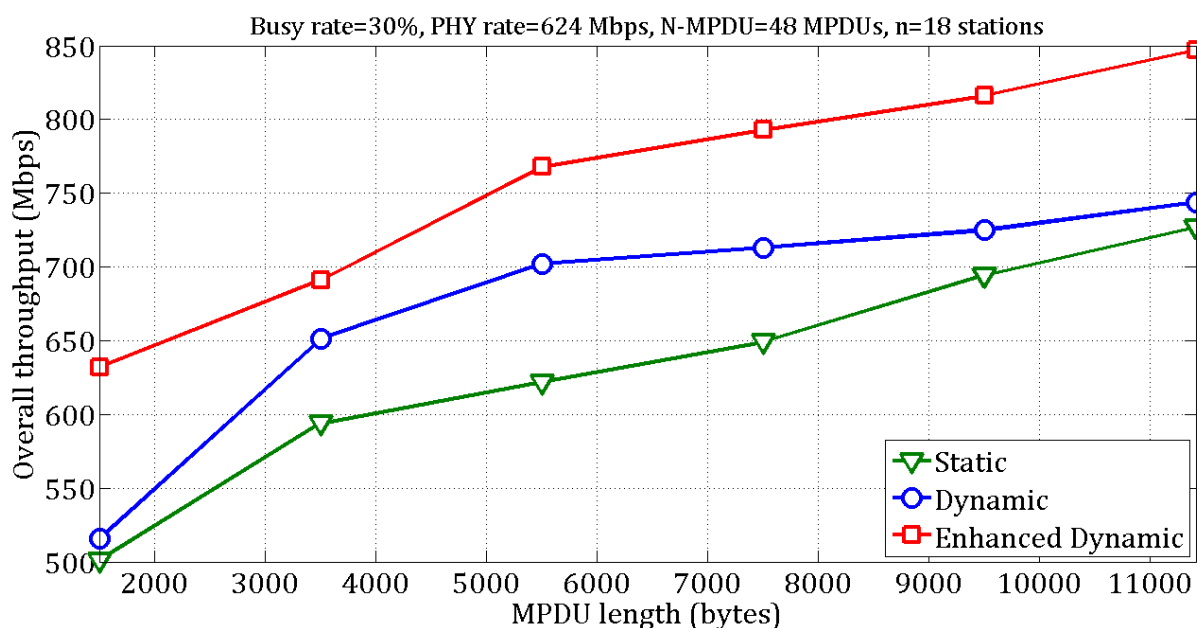


FIGURE 3.12 – Débit effectif par rapport à la taille A-MPDU sur 40 MHz.

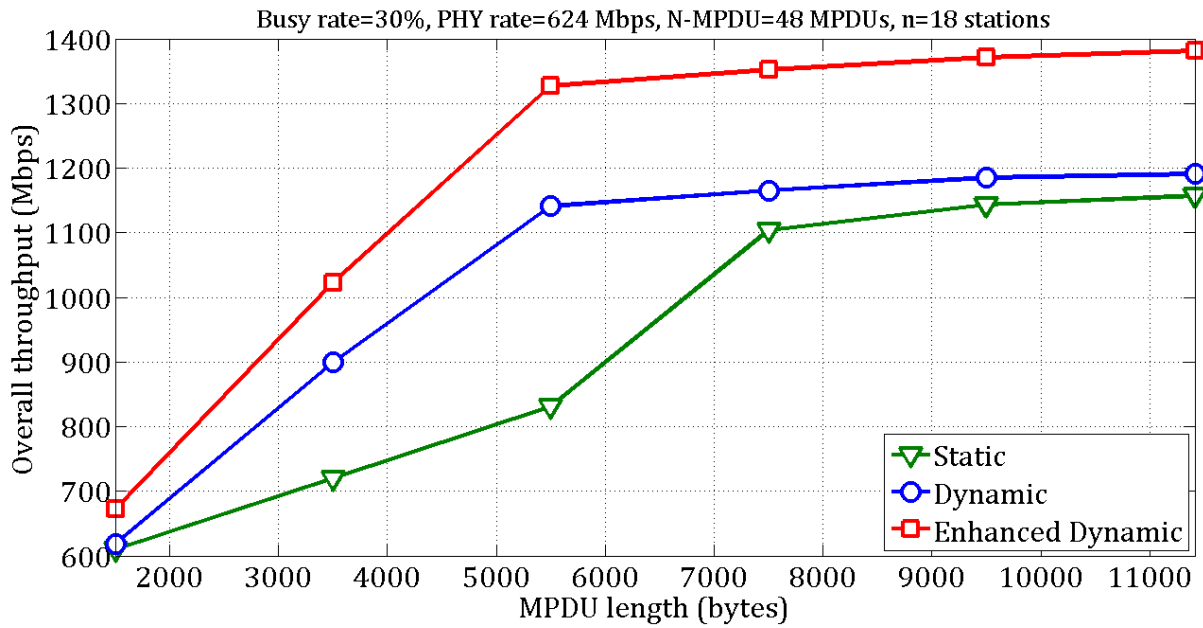


FIGURE 3.13 – Débit effectif par rapport à la taille A-MPDU sur 80 MHz..

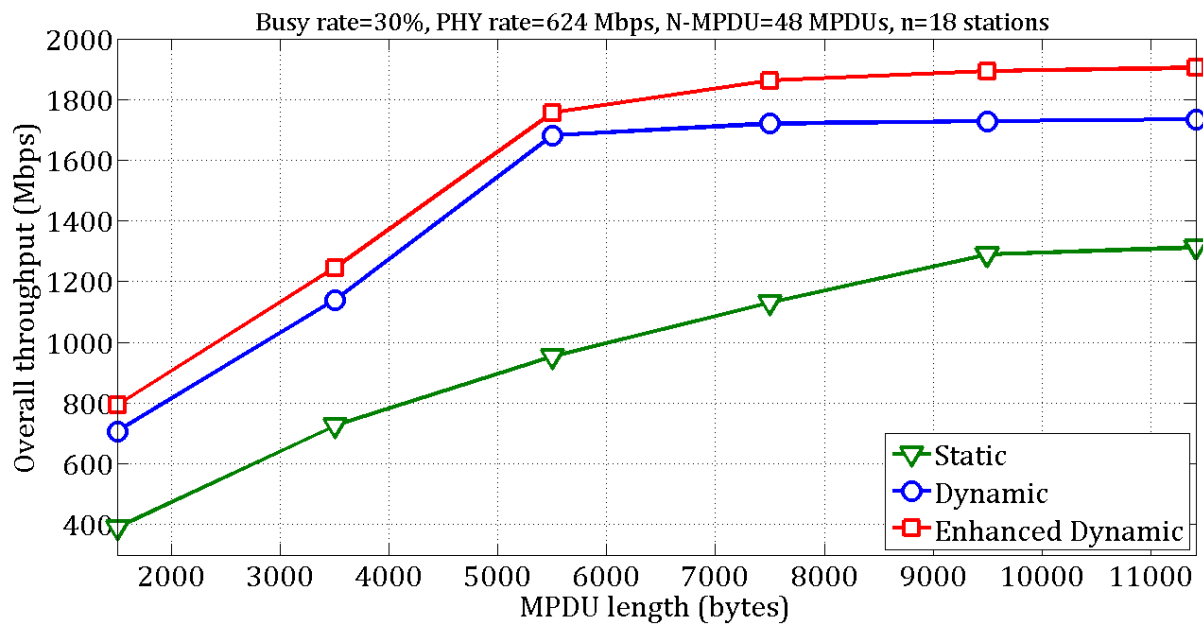


FIGURE 3.14 – Débit effectif par rapport à la taille A-MPDU sur 160 MHz.

Les figures 2.10, 2.11 et 2.12 illustrent la variation du débit effectif global d'un réseau 802.11ac, suivant la variation de la taille des A-MPDUs pour les trois protocoles, sur différente largeur des canaux : 40 MHz ,80 MHz et 160 MHz, respectivement.

Premièrement, le débit est croissant par rapport à l'augmentation de la taille des A-MPDUs, nous remarquons une légère stabilisation sur les canaux de 80 et 160 MHz lorsque la taille des A-MPDUs dépasse 5000 octets et 7000 octets pour le statique. Deuxièmement, plus la taille des A-MPDUs est importante plus le débit de notre proposition devient important par rapport au dynamique, et la courbe du statique se rapproche d'avantage à celle du dynamique.

Ces résultats sont très logiques, car comme nous l'avons constaté dans la problématique, la taille importante des A-MPDUs est pénalisante dans le cas du dynamique.

L'impact du nombre de MPDU agrégé dans un seul A-MPDU sur le débit atteignable :

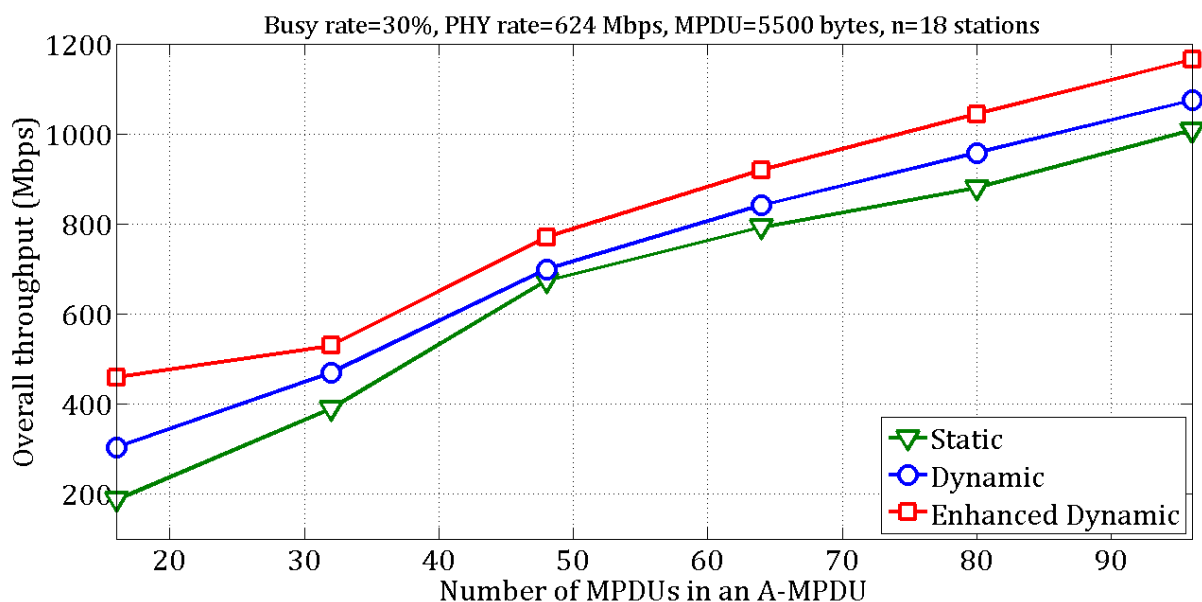


FIGURE 3.15 – Débit effectif par rapport aux nombres de MPDUs sur 40 MHz.

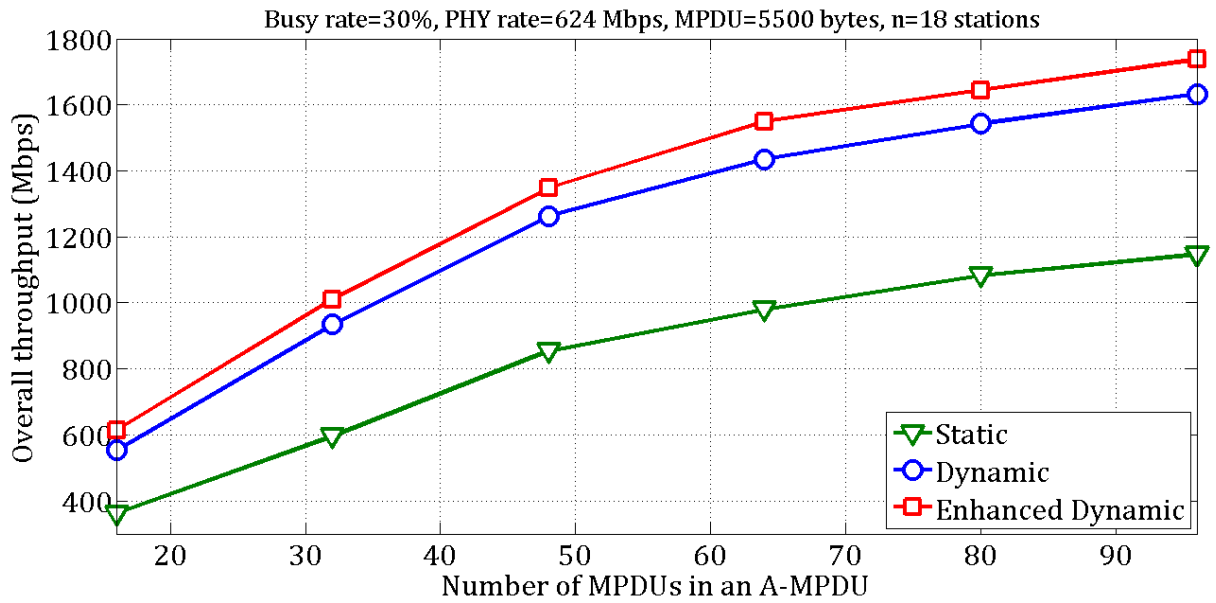


FIGURE 3.16 – Débit effectif par rapport aux nombres de MPDUs sur 80 MHz.

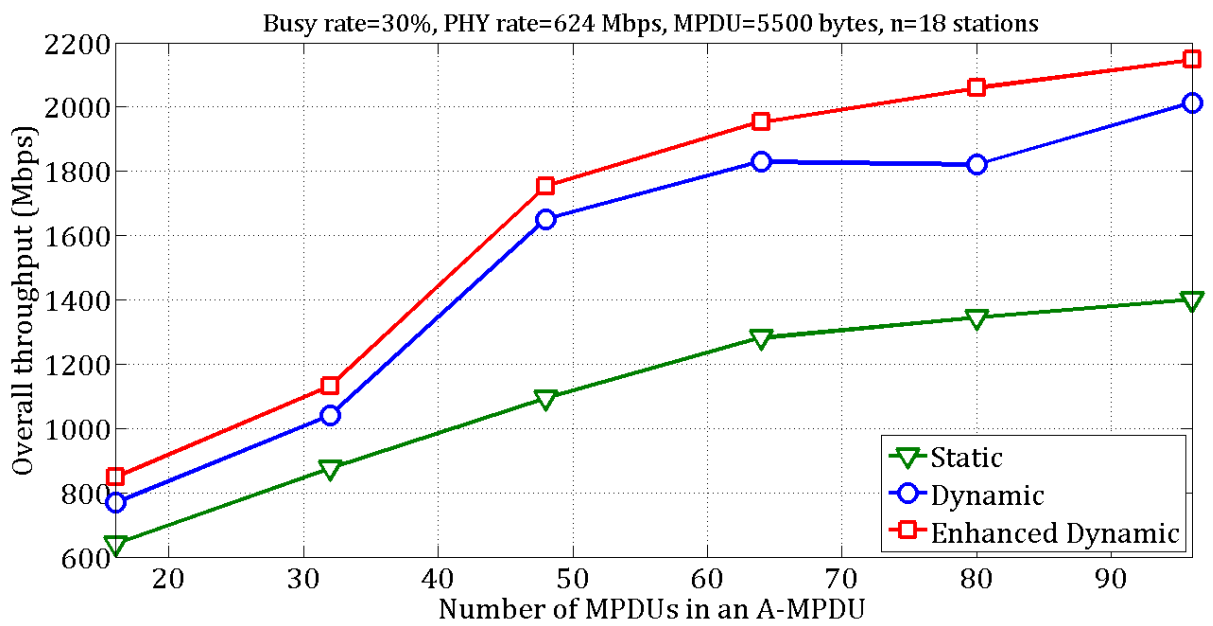


FIGURE 3.17 – Débit effectif par rapport aux nombres de MPDUs sur 160 MHz.

Les figures 2.16, 2.17 et 2.18 illustrent la variation du débit effectif global d'un réseau 802.11ac, suivant la variation du nombre de MPDUs dans un A-MPDU pour les trois protocoles, sur différentes largeurs de canaux : 40 MHz, 80 MHz et 160 MHz, respectivement.

Sur les trois figures, les courbes des trois protocoles sont croissantes en fonction du nombre de MPDUs, car l'agrégation de plusieurs MPDUs dans un seul A-MPDU signifie que la quantité de donnée à envoyer est importante. De ce fait, nous aurons des débits très élevés. Dans le cas de notre proposition, le réseau a atteint son très haut débit. Sur un canal de 160 MHz, elle dépasse 2 Gbps et pour un canal de 80 MHz elle dépasse 1.6 Gbps.

Cette simulation nous donne une idée sur l'importance de l'agrégation de trames, car pour les trois protocoles, exprime leurs plus haut débit par rapport aux simulations précédentes.

L'impact du nombre de stations dans le réseau sur le débit :

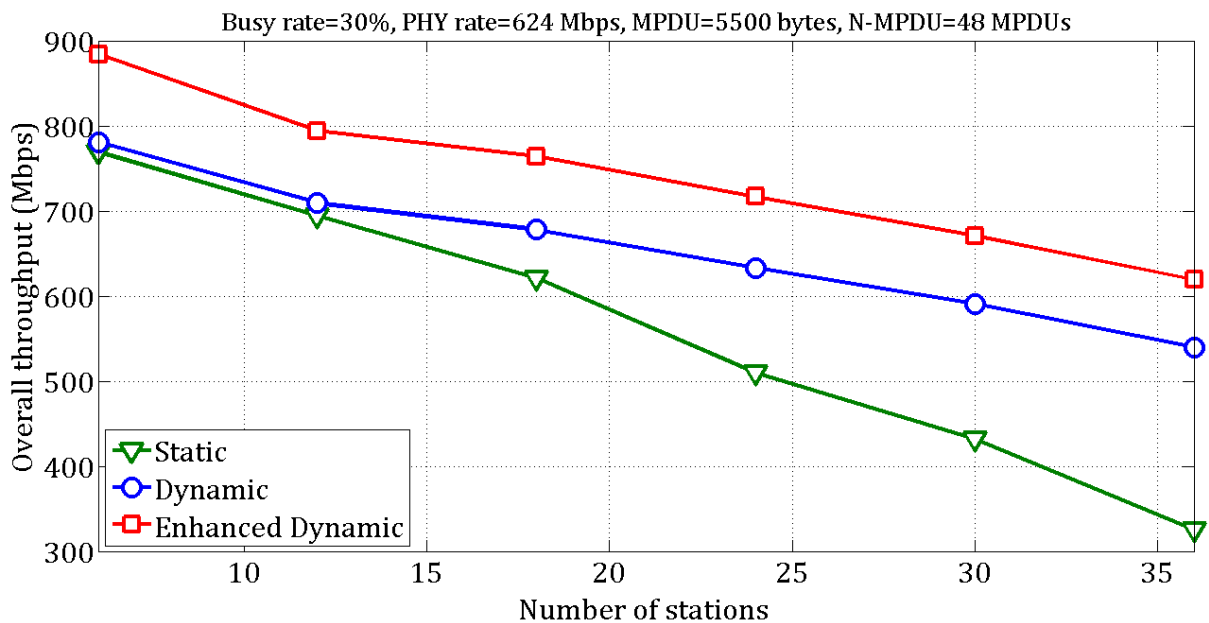


FIGURE 3.18 – Débit effectif par rapport aux nombres de station sur 40 MHz.

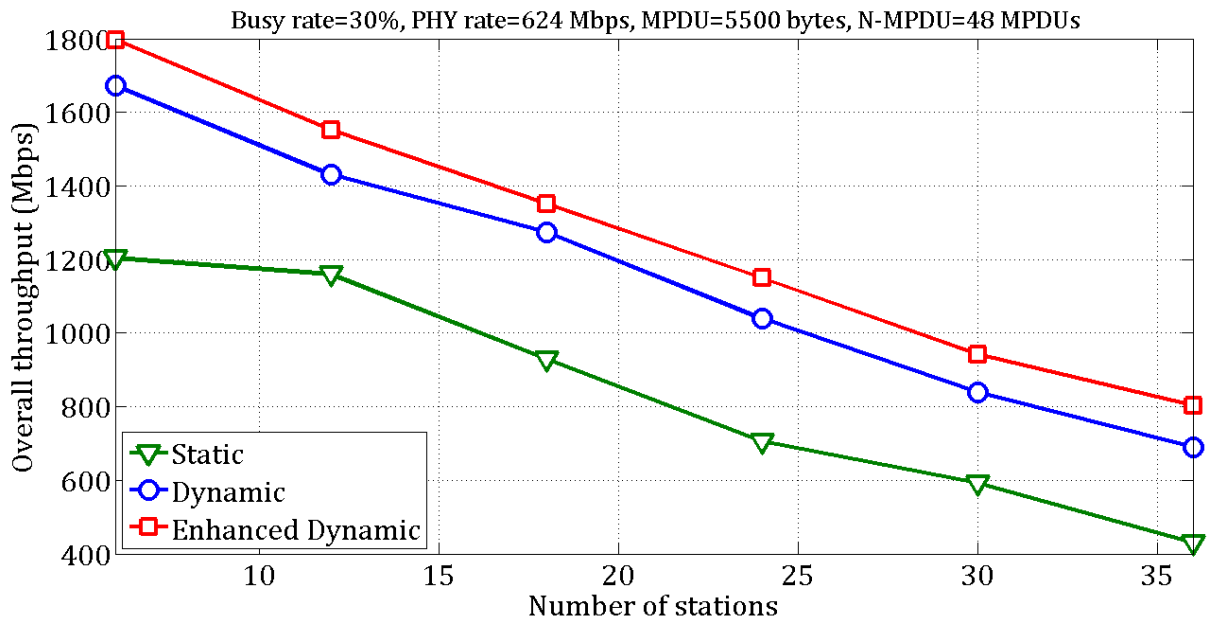


FIGURE 3.19 – Débit effectif par rapport aux nombres de stations sur 80 MHz.

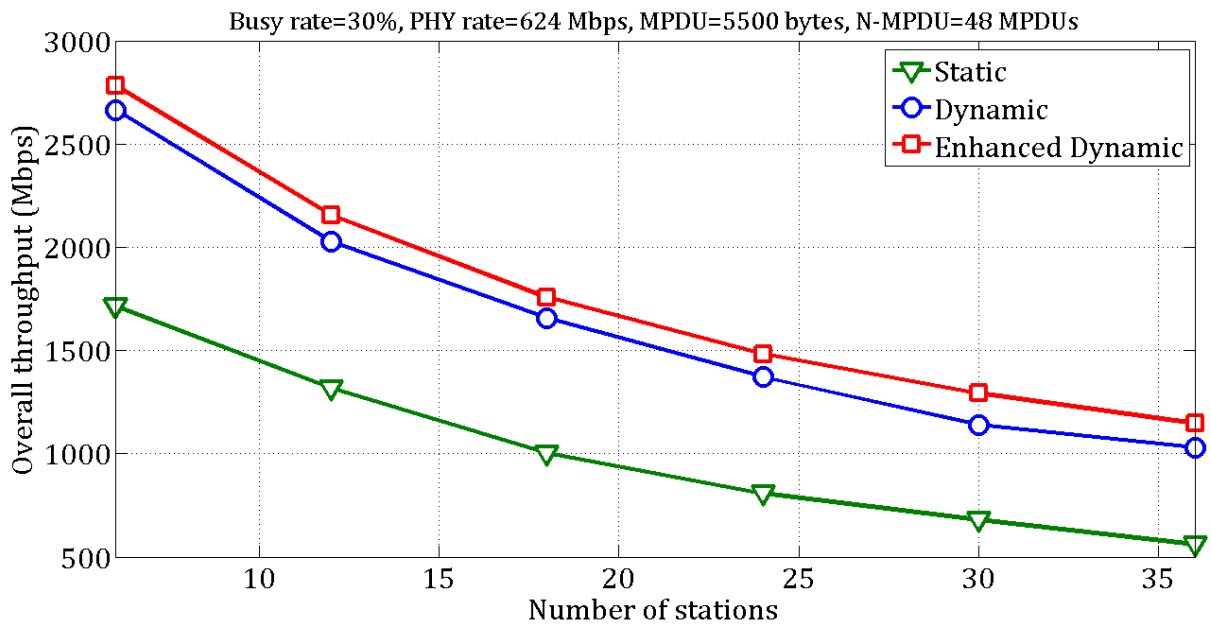


FIGURE 3.20 – Débit effectif par rapport aux nombres de station sur 160 MHz.

Les *figures 2.19, 2.20 et 2.21* illustrent la variation du débit effectif global d'un réseau 802.11ac, suivant l'augmentation du nombre de stations pour les trois protocoles, sur différentes largeurs des canaux : 40 MHz ,80 MHz et 160 MHz respectivement.

Comme montrer dans les trois figures, le débit déminu avec l'augmentation du nombre de stations dans le réseau, pour les trois protocoles, et pour toutes les largeurs du canal. Une autre fois notre proposition donne des débits plus importants par rapport aux deux protocoles existant.

Cette étude vient pour renforcer et crédibiliser les résultats de notre simulation, nous déduisent que notre simulation est très fiable.

Conclusion

Notre travail a été concrétisé par une proposition, qui vient pour améliorer le protocole dynamique. Les résultats de simulation ont montré l'importance du 802.11ac d'une part, et l'importance de notre proposition par rapport aux deux protocoles "statique" et "dynamique", d'une autre part.

Les résultats présentés dans ce chapitre, donnent une idée sur l'ampleur qu'aura cette norme dans les futures générations Wi-Fi.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans ce projet de fin de cycle, nous nous sommes intéressés à l'étude des solutions d'optimisation de la couche MAC pour les futures générations Wi-Fi, permettant d'atteindre le très haut Débit (VHT). Notre approche consiste à améliorer les performances sans modifier l'architecture du standard 802.11. Nous nous sommes intéressés à la norme 802.11ac

Dans la 802.11ac, plus de deux canaux peuvent être regroupés pour augmenter le débit. Nous nous sommes penchés sur les méthodes d'accès multi-canaux, dans le but d'augmenter le débit. L'état de l'art que nous avons dressé, montre que la plus part des publications de ces dernières années modifie d'une part où d'une autre la couche physique. Nous avons décidé de garder les mêmes caractéristiques de base et les faire évoluer. Les améliorations qui sont portées sur le protocole d'accès dynamique ont donné naissance à notre proposition.

Notre proposition a tiré profit des limites de l'accès multicanaux dynamique afin de mieux exploiter le support lors de la transmission d'un long A-MPDU. Ce dernier sera découpé selon la largeur du canal gagné et sera transmis en plusieurs étapes en espérant de gagner un canal plus large. De plus, nous avons constaté qu'il existe une faille dans les deux protocoles d'accès de base, l'accès statique et l'accès dynamique. Cette faille survient lorsque le backoff choisi par une station est inférieur à PIFS. Ce qui nous a motivés à proposer des organigrammes illustrant les deux protocoles existant et aussi notre proposition.

Afin d'évaluer notre méthode d'accès et la comparer aux méthodes existantes, nous avons proposé un simulateur. Ce dernier est une extension du 802.11ANSRE. Il a été Développé avec le langage C sous linux (Programmation avancée Multi threads). Ce simulateur implémente un modèle réel du mode DCF (CSMA/CA, BeB, RTS/CTS et l'agrégation A-MPDU) de la norme IEEE 802.11ac et intègre les différents paramètres de la couche PHY.

En particulier, ce simulateur implémente les deux méthodes de base d'accès multi-canaux ainsi que notre proposition.

Pour valider notre proposition, nous avons évalué ses performances et réaliser une étude comparative grâce au simulateur que nous avons développé. Les résultats obtenus prouvent que notre proposition est plus performante que l'accès dynamique qui est à son tour meilleur que l'accès statique dans tous les scénarios de simulation que nous avons fait. La simulation a montré que, lorsque des stations 802.11 a/n opèrent sur les canaux secondaires, le débit diminue et l'accès statique a affiché ses faiblesses dans ce cas. La simulation montre aussi que plus la taille du A-MPDU devient importante, plus notre proposition devient meilleur que l'accès dynamique. Les débits effectifs que nous avons obtenus sont très proches des attentes du standard pour le 802.11ac, car ils dépassent les 2 Gbps dans certains cas.

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

- ▷ Etendre la plate-forme de simulation PHY+MAC 802.11ac aux normes : IEEE 802.11ah et IEEE 802.11ad ;
- ▷ Intégrer le MU-MIMO avec l'accès multi-canaux ;
- ▷ Améliorer notre proposition afin de réduire l'impact des collisions.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] <http://www.frost.com> (06 Mai 2014).
- [2] Chung, C., Chung, T., Kang, B., Kim, J. (2013, October). *A-MPDU using Fragmented MPDUs or IEEE 802.11ac MU-MIMO WLANs*. In TENCON 2013-2013 IEEE Region 10 Conference (31194) (pp. 1-4). IEEE.
- [3] Poole, P. (2014). *A Survival Guide*. Bookpubber.
- [4] GERON, A. (2009) *WiFi Professionnel*. 3ème Edition, DUNOD.
- [5] Lohier, S. *Réseaux sans fil, Signal.*, ESIPE-IR2, 1(10),11.
- [6] YAZID, M. KHODJA, L. Z. (2008). *Analyse des performances du standard IEEE 802.11 mode ad hoc dans un environnement radio.*, (mémoire d'ingénieur, U.A.M.B).
- [7] El Masri, M. (2009). *Contribution à la qualité de service dans les réseaux d'accès sans fils*, (Doctoral dissertation, INSA de Toulouse).
- [8] Manshaei, M. H. *Cross layer Interactions for Adaptive Communication in IEEE 802.11. Wireless LANs* (Doctoral dissertation, PhD thesis, Université de Nice-Sophia Antipolis).
- [9] Breck, D., Georges, J. P., Divoux, T. (2013). *Évaluation des performances de trafics agrégés 802.11 n*. Évaluation des performances de trafics agrégés 802.11 n.

-
- [10] Jabri, I. (2008). *Gestion dynamique des topologies sans fils*(Doctoral dissertation, Université Henri Poincaré-NancyI).
- [11] Taher, N. C. (2009). *Modélisation analytique et contrôle d'admission dans les réseaux 802.11 e pour une maîtrise de la Qualité de Service* (Doctoral dissertation, Université d'Evry-Val d'Essonne).
- [12] Lemainque, F. (2005). *Tous sur les réseaux sans fil*. DUNOD.
- [13] LASSOUS, I. G. (2013). *Étude prospective de performances des réseaux Wi-Fi*,volume TE,7(381).
- [14] Trezentos, D. (2002). *Standard pour réseaux sans fil : IEEE 802.11. Traité Télécoms*,volume TE, 7(375).
- [15] Ksentini, A., Ibrahim, M. (2007, September). *Modeling and performance analysis of an improved DCF-based mechanism under noisy channel*. In *Broadband Communications, Networks and Systems, 2007*,BROADNETS 2007. Fourth International Conference on (pp. 874-879) IEEE.
- [16] Verma, L., Fakharzadeh, M., Choi, S. *Wifi on steroids : 802.11 AC and 802.11 AD*. *Wireless Communications, IEEE*, 20(6), 30-35.
- [17] Van Nee, R. *Breaking the gigabit-per-second barrier with 802.11 ac*. *Wireless Communications, IEEE*, 18(2), 4-4.
- [18] IEEE 802.11n-2009. (2009). *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks -Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5 : Enhancements for Higher Throughput*.
- [19] Bejarano, O., Knightly, E. W., Park, M. (2013). *IEEE 802.11 ac : From Channelization to Multi-User MIMO.*, *IEEE Communications Magazine*, 85.
- [20] Rohde, Schwarz, , (2012). *802.11ac Technology Introduction*,White Paper.

- [21] Ong, E. H., Knecht, J., Alanen, O., Chang, Z., Huovinen, T., Nihtila, T. (2011, September). *IEEE 802.11ac : Enhancements for Very High Throughput WLANs*, In Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2011 IEEE 22nd International Symposium on (pp. 849-853). IEEE.
- [22] Skordoulis, D., Ni, Q., Chen, H. H., Stephens, A. P., Liu, C., Jamalipour, A. (2008). *IEEE 802.11 n MAC frame aggregation mechanisms for next-generation high-throughput WLANs*. *Wireless Communications, IEEE*, 15(1), 40-47.
- [23] Charfi, E., Chaari, L., Kamoun, L. (2012, July). *Upcoming WLANs MAC access mechanisms : An overview*. In Communication Systems, Networks Digital Signal Processing (CSNDSP), 2012 8th International Symposium on (pp. 1-6). IEEE.
- [24] Redieteb, G. (2012). *Optimisation cross-layer pour des futures générations de réseaux Wi-Fi*. (Thèse de doctorat, INSA).
- [25] Park, M. (2011). *IEEE 802.11 ac : Dynamic bandwidth channel access*. In Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
- [26] Park, M. (2011, June). *80 MHz and 160 MHz Channel Access Modes*, In Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
- [27] Cisco (2012). *802.11ac : The Fifth Generation of Wi-Fi Technical*. White Paper.
- [28] Gong, M. X., Hart, B., Xia, L., Want, R. (2011, December). *Channel Bounding and MAC Protection Mechanisms for 802.11 ac*. In Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), 2011 IEEE (pp. 1-5). IEEE.
- [29] Redieteb, G., Cariou, L., Christin, P., Héland, J. (2010, November). *Cross-layer multichannel aggregation for future WLAN systems*. In Communication Systems (ICCS), 2010 IEEE International Conference on (pp. 740-745). IEEE.
- [30] Stelter, A. (2013). *Efficient access to extended channel bandwidth in wireless LAN*. *Electronics Letters*, 49(21), 1356-1358.

- [31] IEEE 802.11n/D 5.00. (2012). *Approved Draft Standard for Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 4 : Enhancements for Higher Throughput*, IEEE.
- [32] IEEE P802.11ac/D 7.0 (2013). *Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements-Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 4 : Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz*, IEEE.

Résumé

Les normes IEEE 802.11, également connues sous l'appellation commerciale Wi-Fi, sont devenues une référence en termes de réseaux locaux sans fil. Dans ce mémoire, nous avons pour objectif d'étudier la nouvelle norme 802.11ac qui permet d'atteindre le très haut débit. En particulier, nous nous sommes intéressés au regroupement des canaux et aux méthodes d'accès multi-canaux (l'accès statique et l'accès dynamique) qui sont considérés comme des améliorations essentielles du 802.11ac. Une approche d'accès multi-canaux améliorée permettant d'optimiser la couche MAC a été proposée dans ce mémoire. Les résultats de simulations montrent l'apport de notre proposition par rapport aux méthodes existantes en terme de débit.

Mots-clé : IEEE 802.11ac, Accès Multi-canaux, Accès Dynamique, Simulation et analyse de performance.

Abstract

The 802.11 standard known as Wi-Fi, is the well-known standard in Wireless Local Area Network (WLANs). In this work, we focus our study on the improvement of the 802.11ac amendment in order to reach Gigabit transmission. Particularly, we study the multi-channel access methods (static and dynamic access methods). So, we propose an enhancement of the dynamic access which is recommended in case of long A-MPDU. Simulation results show the benefit gains of the proposed multi-channel access method to increase the overall throughput.

keyword : IEEE 802.11ac, Multi-channel Access, Dynamic Access, Simulation and performance Analysis.