

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

Université A/Mira de Béjaia
Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique



Mémoire de Master

Option

Réseaux et Systèmes Distribués

Thème

Proposition d'une nouvelle méthode d'accès
multi-canaux avec QoS dans les réseaux
WLANs 802.11ac

Présenté par

Belkhir Thanina

Soutenu le 01 juillet 2017 devant le jury composé de

Président	LARBI Ali	M.A.A.	Univ. A/Mira Béjaia
Rapporteur	BOUALLOUCHE Louiza	Professeur	Univ. A/Mira Béjaia
Co-Rapporteur	YAZID Mohand	M.C.A.	Univ. A/Mira Béjaia
Examinatrice	BOULFEKHAR Samra	M.C.A.	Univ. A/Mira Béjaia
Examinatrice	MAMMERI Souhila	Doctorante	Univ. A/Mira Béjaia

Année universitaire : 2016-2017

Remerciements

Je voudrais exprimer toute ma gratitude à Madame Bouallouche-Medjkoune Louiza, Professeur au département d'informatique, pour m'avoir proposé ce sujet et accueillie au sein de son groupe. Elle m'a encadrée avec beaucoup de rigueur et d'efficacité. Je tiens à la remercier pour sa patience et la confiance qu'elle n'a cessée de m'accorder tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à mon co-directeur de mémoire, Dr. Yazid Mohand, maître de conférences A au département de recherche opérationnelle, pour sa disponibilité, sa rigueur scientifique et ses orientations.

Je voudrais remercier Mademoiselle Mammeri Souhila, Doctorante au département d'informatique, pour l'aide qu'elle m'a apportée en me faisant bénéficier de son expérience. Je la remercie également pour avoir accepté de faire partie du jury.

Je remercie vivement Monsieur Larbi Ali, maître-assistant A au département de recherche opérationnelle et Madame Boulfekhar Samra, maître de conférences A au département de mathématiques, pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail en acceptant de siéger dans le jury.

J'exprime ma profonde gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Enfin, je remercie particulièrement mes parents. Sans leur soutien indéfectible, il m'aurait été plus difficile de mener à bien ce travail.

Liste des tableaux

1.1	Paramètres préconisés pour chaque catégorie d'accès [8]	17
2.1	Taille des trames améliorée avec 802.11ac [10]	26
3.1	Variables utilisées dans l'algorithme	38
3.2	Paramètres utilisés pour la simulation	43

Table des figures

1.1	Décomposition de la bande de fréquence en 14 canaux [3]	6
1.2	Mécanisme d'accès DCF (sans RTS/CTS)	9
1.3	Problème du terminal caché (a) et Problème des stations exposées (b) . . .	9
1.4	Mécanisme d'accès DCF (avec RTS/CTS)	10
1.5	Mécanisme d'interrogation utilisé en PCF [17]	11
1.6	Format de la trame 802.11 [4]	12
1.7	Exemple illustrant l'accès au canal selon le mécanisme EDCA [1]	17
2.1	Canaux primaire et secondaires [4]	21
2.2	Single-user MIMO versus Multi-User MIMO [18]	22
2.3	Wifi versus Technologie beamforming 802.11ac [4]	22
2.4	Modulation 64-QAM versus 256-QAM [18]	23
2.5	Scénario d'accès statique sur 80 MHz [19]	24
2.6	Scénario d'accès dynamique sur 80 MHz [19]	25
2.7	Exemple de fonctionnement du TXOP Sharing [15]	26
2.8	Format de la trame MAC 802.11ac [2]	27
2.9	Exemple de problème de goulot d'étranglement [26]	31
2.10	Exemple de DDBCA [26]	32
3.1	Exemple de fonctionnement de la méthode proposée EDMA avec Qos . . .	37
3.2	Variation des débits individuels suivant le taux d'occupation des canaux secondaires	44
3.3	Variation des débits individuels suivant la taille de la TXOP	45

Liste des abréviations

AC	A ccess C ategory
ACK	A CKnowledgment
AIFS	A rbitration I nter- F rame S pace
A-MPDU	A ggregated M edim A ccess C ontrol P rotocol D ata U nit
A-MSDU	A ggregated M edim A ccess C ontrol S ervice D ata U nit
AP	A ccess P oint
BA	B loc A CK
BE	B est E ffort
BK	B acKground
BSS	B asic S ervice S et
BW	B and W idth
CAP	C ontrolled A ccess P hase
CCA	C lear C hannel A ssessment
CFB	C ontention F ree B urst
CFP	C ontention F ree P eriod
CP	C ontention P eriod
CSMA/CA	C arrier S ense M ultiple A ccess with C ollision A voidance
CSMA/CD	C arrier S ense M ultiple A ccess with C ollision D etection
CTS	C lear T o S end
CW	C ontention W indow
DPBSK	D ifferential B inary P hase S hift K eying
DCF	D istributed C oordination F unction
DIFS	D istributed C oordination F unction I nter- F rame S pacing
DL MU-MIMO	D own L ink M ulti U ser- M ultiple I nput M ultiple O utput
DMA	D ynamic M ulti- C hannel A ccess
DQPSK	D ifferential Q uadrature P hase S hift K eying

DSSS	D irect S equence S pread S pectrum
EDCA	E nhanced D istributed C hannel A ccess
EDCAF	E nhanced D istributed C hannel A ccess F unction
EDMA	E nhanced D ynamic M ulti- C hannel A ccess
EIFS	E xtended I nter- F rame S pace
ERP	E xtended R ate P HY
FHSS	F requency H opping S pread S pectrum
HC	H ybrid C oordinator
HCF	H ybrid C oordination F unction
HCCA	H ybrid C oordination F unction C ontrolled C hannel A ccess
HR-DSSS	H igh R ate- D SSS
ISM	I ndustrial S cientific and M edical
LAN	L ocal A rea N etwork
L-STF	L egacy S hort T raining F ield
L-LTF	L egacy L ong T raining F ield
L-SIG	L egacy S IGNAL
MAC	M edium A ccess C ontrol
MIMO	M ultiple I nput M ultiple O utput
MPDU	M edium A ccess C ontrol P rotocol D ata U nit
MSDU	M edium A ccess C ontrol S ervice D ata U nit
MU-MIMO	M ulti U ser- M ultiple I nput M ultiple O utput
NAV	N etwork A llocation V ector
OBSS	O verlapping B asic S ervice S et
OFDM	O rthogonal F requency D ivision M ultiplexing
PCF	P oint C oordination F unction
PHY	C ouche P HYsique
PIFS	P oint C oordination F unction I nter- F rame S pacing
PLCP	P hysical L ayer C onvergence P rotocol
PPDU	P hysical L ayer C onvergence P rotocol D ata U nit
QoS	Q uality of S ervice
QSTA	Q oS-enabled S TATION
RTS	R equest T o S end
SIFS	S hort I nter- F rame S pace
SP	S ervice P eriod
TXOP	T ransmission O Pportunity
VHT	V ery H igh T hroughput

VO	VO ix
VI	VI deo
WiFi	WI reless F idelity
WLAN	WI reless local A rea N etwork
16-QAM	16 -ary Q uadrature A mplitude M odulation
64-QAM	64 -ary Q uadrature A mplitude M odulation
256-QAM	256 -ary Q uadrature A mplitude M odulation

Table des matières

Remerciements	i
Liste des tableaux	ii
Liste des figures	iii
Liste des abréviations	iv
Introduction générale	2
1 Évolution du standard IEEE 802.11	4
1.1 Introduction	4
1.2 Historique du standard IEEE 802.11	4
1.3 IEEE 802.11-1997 et IEEE 802.11-1999	4
1.3.1 Architectures des réseaux 802.11	5
1.3.2 Couche physique	5
1.3.2.1 Les canaux	7
1.3.2.2 La fragmentation	7
1.3.3 Couche MAC	8
1.3.3.1 DCF	8
1.3.3.2 PCF	11
1.3.4 Format de la trame 802.11	12
1.4 Principaux amendements d'IEEE 802.11	12
1.4.1 IEEE 802.11b : vers un débit de 11 Mbit/s	12
1.4.2 IEEE 802.11a : vers un débit de 54 Mbit/s dans la bande de fréquence des 5 GHz	13
1.4.2.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	14

1.4.3	IEEE 802.11g : vers un débit de 54 Mbit/s dans la bande de fréquence des 2,4 GHz	14
1.4.4	IEEE 802.11e : mise en place de la Qualité de Service (QoS)	15
1.4.4.1	HCCA	15
1.4.4.2	EDCA	16
1.4.4.3	Bloc d'acquittements	18
1.4.5	IEEE 802.11n : vers des débits encore plus élevés	18
1.5	Conclusion	19
2	Présentation de la norme 802.11ac et état de l'art sur les méthodes d'accès MAC multicanaux	20
2.1	Introduction	20
2.2	Principales améliorations PHY et MAC de la norme 802.11ac	20
2.2.1	Principales améliorations PHY	21
2.2.1.1	Regroupement de canaux	21
2.2.1.2	Technologie Multi-User MIMO	21
2.2.1.3	Beamforming	22
2.2.1.4	Modulation 256-QAM	23
2.2.2	Principales améliorations MAC	24
2.2.2.1	Méthodes d'accès au canal	24
2.2.2.2	Mécanisme TXOP sharing	25
2.2.2.3	L'agrégation améliorée	26
2.2.2.4	Trame MAC 802.11ac	27
2.3	État de l'art sur les méthodes d'accès MAC multicanaux	28
2.3.1	Park (2011) [19]	28
2.3.2	Gong et al. (2011) [20]	28
2.3.3	Stelter (2013) [21]	29
2.3.4	Huang et al. (2013) [22]	29
2.3.5	Stelter et al. (Février 2014) [23]	29
2.3.6	Stelter et al. (Mai 2014) [24]	30
2.3.7	Fang et al. (2015) [25]	30
2.3.8	Kim et al. (2017) [26]	31
2.4	Conclusion	32

3	Proposition, et évaluation de performance d'une nouvelle méthode d'accès MAC	33
3.1	Introduction	33
3.2	Problématique et motivations	33
3.3	Objectif et Démarche	35
3.4	Proposition d'une nouvelle méthode MAC multicanaux	35
3.4.1	Proposition	35
3.4.1.1	Exemple de fonctionnement	37
3.4.2	Algorithme de la méthode proposée	37
3.4.2.1	Variables utilisées dans l'algorithme	38
3.4.2.2	L'algorithme et sa description	38
3.5	Évaluation de performance	43
3.5.1	Outil de simulation	43
3.5.2	Paramètres de simulation	43
3.5.3	Interprétation des résultats	43
3.5.3.1	Les débits individuels en fonction du taux d'occupation des canaux secondaires	44
3.5.3.2	Les débits individuels en fonction de la taille de la TXOP	45
3.6	Conclusion	45

Introduction générale

IEEE 802.11 est le groupe de travail IEEE développant des spécifications du réseau local sans fil WLAN. Le groupe a commencé à travailler à la fin des années 1990 et depuis, il a créé plusieurs normes et amendements réussis. Le réseau sans fil est maintenant omniprésent, une ou plusieurs de ces technologies WLAN étant incluses comme fonctionnalités standards sur la plupart des ordinateurs portables et de nombreux smartphones [2].

Le standard 802.11 a été complété et amélioré à plusieurs reprises depuis l'approbation du standard initial par l'IEEE en 1997. Ces améliorations sont définies comme étant des amendements au standard initial, et leur rédaction est gérée et validée par l'IEEE. La principale application commerciale est la technologie Wi-Fi (Wireless Fidelity) qui s'appuie sur ces spécifications.

Les principaux amendements applicables qui modifient de 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 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 de délais de transmission de manière à permettre, notamment, une meilleure transmission de la voix et de la vidéo. Pour cela, quatre catégories (AC) ont été définies, dans cet amendement, grâce au mécanisme EDCA (Enhanced Distributed Channel Access), qui accorde une priorité à chaque AC, selon les paramètres d'accès de chacune (VO (voix), VI (vidéo), BE (best-effort), BK(background)). Ainsi, cet amendement améliore la qualité de service Qos exigée. Afin d'atteindre des débits encore plus élevés, la norme 802.11ac (également connue sous le nom de VHT, Very High Throughput) a été ratifiée, en 2014, améliorant ainsi la couche PHY et MAC de la norme qui la précède (802.11n). Dans cette version, la technique de DL MU-MIMO a permis d'améliorer le débit en procurant la communication multi-utilisateurs avec l'envoi de plusieurs flux de

données vers différents utilisateurs. Aussi, la bande passante a été augmentée : les bandes larges de 80 MHz et 160 MHz ont été obtenues grâce à la technique du regroupement de 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. D'après notre étude, l'accès dynamique permet un accès rapide au canal, mais n'exploite pas la bande large efficacement. Pour cela, nous avons profité de ce désavantage, pour proposer une nouvelle méthode d'accès multi-canaux avec QoS qui permet de résoudre un problème lié aux ACs moins prioritaires (BE, BK) définies dans EDCA.

Notre méthode utilise les canaux secondaires libérés durant la transmission d'un A-MPDU (Aggregated MAC protocol Data Unit) par une AC prioritaire (VO,VI) pour les attribuer aux ACs moins prioritaires (BK, BE) afin que ces dernières puissent envoyer leurs A-MPDUs durant la période TXOP (Transmit Opportunity) en cours.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Le premier présente le standard 802.11 ainsi que son évolution au fil des années, en indiquant les principales améliorations apportées.

Le deuxième est constitué de deux parties : la première partie fournit une description détaillée (PHY et MAC) de la norme 802.11ac. La seconde partie est une revue bibliographique des travaux de recherche sur les méthodes d'accès MAC multi-canaux.

Le troisième et dernier chapitre, présente le fonctionnement détaillé de notre méthode d'accès proposée, suivi d'une simulation et une analyse de performances.

Chapitre 1

Évolution du standard IEEE 802.11

1.1 Introduction

Les réseaux locaux sans fil basés sur le standard IEEE 802.11 sont de plus en plus utilisés et constituent de plus en plus une alternative aux réseaux d'accès filaires. Ce standard est en constante évolution et les cartes sans fil disponibles sur le marché subissent, elles aussi, des changements.

Dans ce chapitre, nous allons faire le point sur le standard IEEE 802.11, puis l'accent porté sur son évolution à travers ses versions successives.

1.2 Historique du standard IEEE 802.11

Les amendements sont réalisés par les sous-groupes du groupe de travail IEEE 802.11. Ils sont dénotés par IEEE 802.11 suivi d'une lettre minuscule (correspondant à la dénomination du sous-groupe de travail associé).

Le sous-groupe a pour objectif la mise à jour du standard. C'est lui qui combine le standard courant et les différents amendements qui ont suivi afin de produire le nouveau standard IEEE 802.11.

1.3 IEEE 802.11-1997 et IEEE 802.11-1999

Le premier standard IEEE 802.11 a vu le jour en 1997. Il a ensuite été révisé en 1999, donnant lieu au standard IEEE 802.11-1999. Les principales caractéristiques de ce standard sont :

- Une description des architectures des réseaux 802.11 pouvant être mises en œuvre avec ce standard ;
- Une description de plusieurs couches physiques qui permettent la communication sur le médium radio ;
- Une description de la couche MAC (Medium Access Control).

1.3.1 Architectures des réseaux 802.11

Dans ce standard, deux architectures sont possibles :

- **l'architecture ad hoc** qui permet à toutes stations à portée de communication de pouvoir transmettre entre elles. Un tel réseau ne nécessite aucune infrastructure.
- **l'architecture basée sur une infrastructure** qui nécessite la présence de points d'accès interconnectés par un système de distribution. Dans un tel réseau, les stations mobiles doivent passer par le point d'accès auquel elles sont rattachées afin de pouvoir communiquer. Les communications peuvent se faire entre des stations hors portée de communication. Cette architecture permet aussi aux stations mobiles de pouvoir accéder à d'autres réseaux, par exemple Internet. Le réseau constitué d'un point d'accès et des mobiles se trouvant sous sa zone de couverture est appelé **BSS** pour Basic Service Set. La combinaison de différents BSSs et du système de distribution permet de construire un réseau étendu. On parle alors d'ESS (Extended Service Set) [1].

1.3.2 Couche physique

La couche physique permet la transmission sur les liens de communication. Ce standard définit trois couches physiques : une couche infrarouge et deux couches radio :

- la **couche physique infrarouge** ondes lumineuses permettant d'obtenir un débit physique de 1 Mbit/s avec une extension possible à 2 Mbit/s ;
- la **couche physique radio** basée sur la **technique FHSS** (Frequency Hopping Spread Spectrum) permet d'obtenir un débit physique de 1 Mbit/s.

La FHSS désigne une technique d'étalement de spectre fondée sur le saut de fréquence, dans laquelle la bande de fréquences (2.4 GHz) est divisée en 79 canaux ayant chacun 1 MHz de largeur. Pour l'envoi des données, l'émetteur et le récepteur s'accordent sur un ordre de séquences de sauts précis effectués sur les 79 sous-canaux. La couche FHSS définit trois ensembles de 26 séquences, soit 78 séquences de sauts

possibles au total [3].

- la **couche physique radio** basée sur la **technique DSSS** (Direct Spread Sequence Spectrum) permet d'obtenir des débits physiques de 1 et 2 Mbit/s. Comme la FHSS, la technique d'étalement du spectre DSSS divise la bande de fréquences en sous-bandes. Cependant, la division se fait en 14 canaux de 20 MHz chacun. Vue la largeur 83.5 MHz de la bande de fréquences, il n'est pas possible de placer, sans recouvrement, les 14 canaux adjacents (voir la figure 1.1) . Puisque la transmission ne se fait que via un seul canal, la technique DSSS est par conséquent plus sensible aux interférences que la FHSS qui, quant à elle, s'étale sur toute la largeur de la bande de fréquences [3].

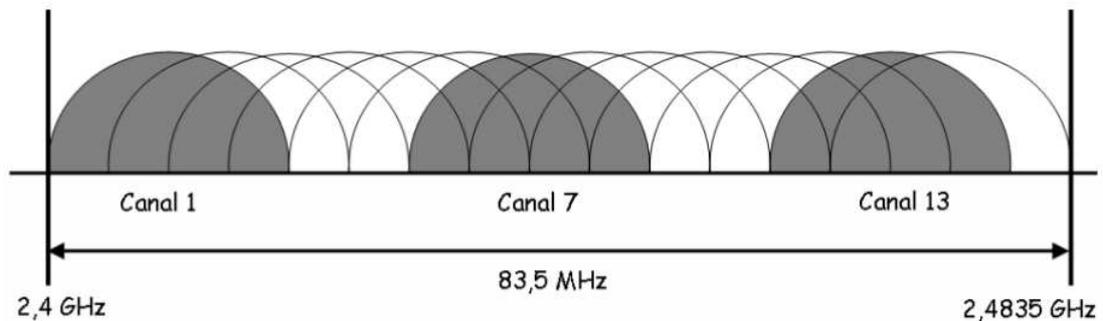


FIGURE 1.1 – Décomposition de la bande de fréquence en 14 canaux [3]

Une couche physique se décompose en deux parties :

- la sous-couche **PMD** (Physical Medium Dependent) qui implémente toutes les fonctions dont a besoin une couche physique donnée ;
- la sous-couche **PLCP** (Physical Layer Convergence Protocol) qui réalise une correspondance entre les fonctions de la sous-couche PMD et la couche MAC. La couche radio DSSS, ajoute notamment à chaque trame provenant de la couche MAC, un préambule PLCP afin de se synchroniser sur un signal détecté et déterminer le début d'une trame, ainsi qu'un en-tête PLCP indiquant la modulation utilisée pour transmettre cette trame, la durée de la transmission de la trame ainsi qu'un champ de détection/ correction d'erreur pour protéger le contenu de cet en-tête. L'en-tête PLCP est transmis avec un débit de 1 Mbit/s [4].

1.3.2.1 Les canaux

- **Les canaux à 2,4 GHz**

Le 802.11 FHSS utilise la bande de 2,4 GHz et la découpe en canaux de 1 MHz numérotés à partir de 2 400 MHz.

Pour toutes les autres variantes du WiFi sur la bande de 2,4 GHz, c'est-à-dire le 802.11 DSSS, le 802.11b, le 802.11g et le 802.11n, quatorze canaux de 22 MHz de largeur sont définis, également numérotés à partir de 2 400 MHz. Leurs centres ne sont espacés que de 5 MHz de sorte qu'ils se superposent en partie. Ceci permet de choisir avec une certaine souplesse la bande de fréquence que l'on préfère utiliser, mais si l'on a deux réseaux au même endroit et qu'ils utilisent des canaux voisins, on aura beaucoup d'interférences. Pour éviter les interférences, on recommande un espace de cinq canaux au moins, donc on ne peut utiliser que trois canaux simultanément au même endroit [6].

- **Les canaux à 5 GHz**

En ce qui concerne le 802.11a et le 802.11n sur la bande de fréquences de 5 GHz, les centres de deux canaux successifs sont également espacés de 5 MHz, mais la numérotation commence à 5 000 MHz.

Dans un même lieu, on peut donc avoir jusqu'à 19 points d'accès indépendants, en utilisant ces différents canaux. Cela signifie que l'on peut atteindre un débit total maximal de 1 Gb/s avec le 802.11a. Avec le 802.11n, la capacité théorique à 5 GHz est presque de 3 Gb/s.

- **Le regroupement de canaux**

Le débit que l'on peut atteindre est proportionnel à la largeur de la bande de fréquences utilisée. Le regroupement de deux canaux permet donc de doubler le débit, sans effort [6].

1.3.2.2 La fragmentation

D'autre part le taux d'erreur de transmission sur les réseaux sans fil augmente généralement avec des paquets de taille importante, c'est la raison pour laquelle la norme 802.11 offre un mécanisme de fragmentation, permettant de découper une trame en plusieurs morceaux (fragments).

1.3.3 Couche MAC

Le standard IEEE 802.11 définit aussi le contrôle d'accès au médium (MAC) pour les points d'accès ainsi que pour les stations mobiles. L'accès au médium est une fonction très importante car elle indique à la station si elle peut émettre ou non. Deux modes sont définis dans ce standard :

- Le mode **DCF** (Distributed Coordination Function) qui peut être utilisé dans n'importe quelle architecture 802.11 et où chaque terminal prend seul la décision d'accéder au canal ou de retarder sa transmission.
- Le mode **PCF** (Point Coordination Function) qui peut être utilisé uniquement dans les architectures basées sur une infrastructure et qui nécessite l'utilisation de stations de base pour gérer les accès.

1.3.3.1 DCF

Dans le mode DCF, le protocole d'accès au médium est basé sur protocole **CSMA/CA** (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance).

Avant d'envoyer ses données, la station commence par attendre un temps (IFS, Inter Frame Space) fixe, appelé **DIFS** (DCF IFS), puis un temps aléatoire, appelé temps de **backoff**. Le backoff est initialement tiré aléatoirement dans un intervalle appelé **fenêtre de contention** dénotée $[0; CW \text{ min}]$ pendant lequel le médium doit rester libre. Si, au bout de tout ce temps, le médium est effectivement resté libre, la station envoie sa trame, sinon elle attend que le médium se libère et reprend le processus d'attente (fixe et aléatoire) quand le médium s'est libéré.

Les données envoyées en mode point-à-point entre deux stations sont acquittées. Si le récepteur reçoit correctement les données qui lui sont destinées, il envoie alors une trame de contrôle appelée **trame d'acquiescement** (ACK), après un temps d'attente fixe appelé **SIFS** (Short IFS). Si la source ne reçoit pas, au bout d'un certain temps, la trame d'acquiescement associée à la trame de données qu'elle vient d'envoyer, elle considère qu'il y a eu collision. Elle va alors retransmettre sa trame selon l'algorithme **BEB** (Binary Exponential Backoff). Cet algorithme consiste à doubler la taille de la fenêtre de contention pour le tirage aléatoire, et ce à chaque retransmission.

Le standard 802.11(1999) définit trois types d'IFS [5] :

- **SIFS** (Short Inter Frame Space) : utilisé pour séparer les transmissions au sein d'un même dialogue (envoi de données, ACK...), une seule station transmet à la fois, sa valeur est de $28 \mu s$.

- **PIFS** utilisé par le point d'accès pour accéder avec priorité au support de transmission, sa valeur est de $SIFS + 78 \mu s$.
- **DIFS** (DCF Inter Frame Space) : utilisé lorsque une station veut commencer une nouvelle transmission, sa valeur est de $PIFS + 128 \mu s$

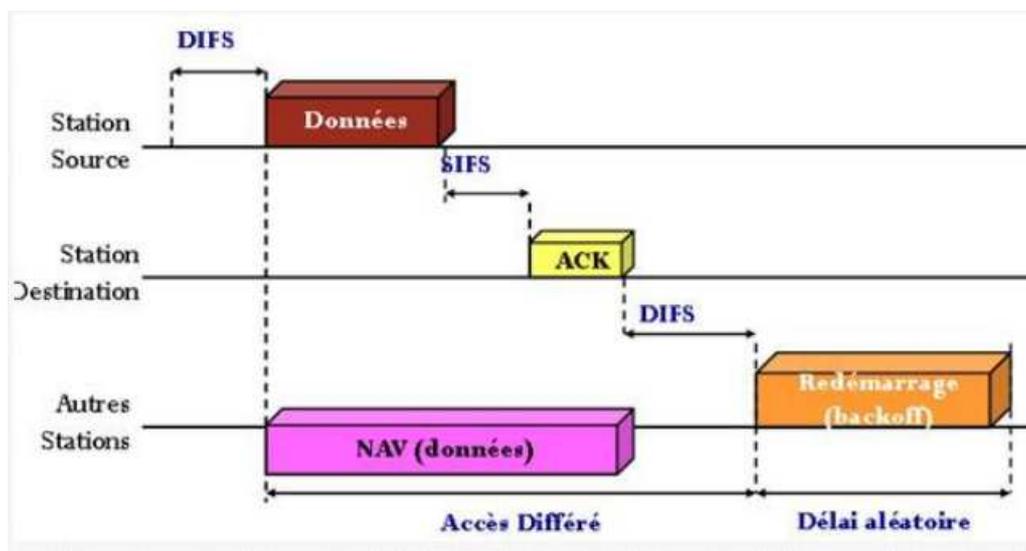


FIGURE 1.2 – Mécanisme d'accès DCF (sans RTS/CTS)

Ce standard définit aussi un mécanisme pour palier aux deux problèmes classiques des réseaux sans fil : terminal caché et stations exposées.

1- Le problème du terminal caché :

La station C est à portée des deux stations A et B, mais ces dernières ne sont pas à portée l'une de l'autre, donc elles écoutent le canal, elles constatent sa libération et elles émettent à C provoquant une collision. **On dit que A est caché à B et B est caché à A**

2- Le problème des stations exposées :

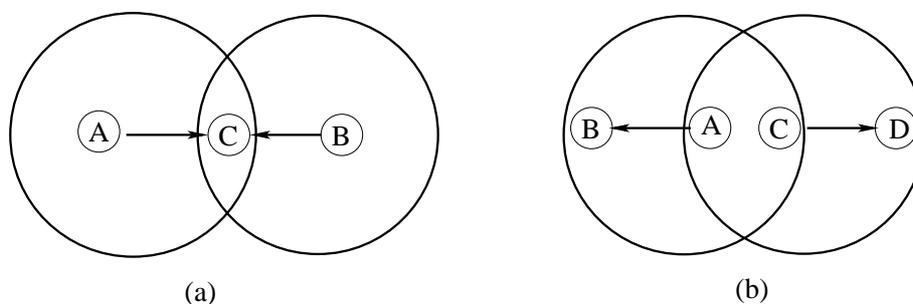


FIGURE 1.3 – Problème du terminal caché (a) et Problème des stations exposées (b)

Les station A et C se mettent à l'écoute du canal, A souhaite transmettre à B, C souhaite transmettre à D, A constate la libération du canal et émet sa trame, C constate l'occupation du canal et diffère sa transmission.

La station C avait pu émettre puisque son destinataire est D (qui est différent de B) causant ainsi une mauvaise utilisation du canal.

Le principe de ce mécanisme est comme suit [7] :

Avant d'envoyer sa trame de données, la station émettrice envoie un paquet de contrôle appelé paquet **RTS** (Request To Send) en mode diffusion qui indique à tous ses voisins qu'elle cherche à communiquer avec un destinataire donné. Toutes les stations recevant ce paquet, sauf le destinataire concerné, vont s'empêcher d'émettre pendant toute la durée de la communication spécifiée dans ce paquet RTS en mettant à jour son **NAV** (Network Allocation Vector). Le destinataire, s'il n'est pas déjà bloqué par son NAV, répondra par un paquet de contrôle **CTS** (Clear To Send) s'il reçoit correctement le RTS. Ce paquet CTS est envoyé en mode diffusion et indique à toutes les stations à portée qu'une communication doit avoir lieu pendant le temps indiqué dans ce paquet. Les stations touchées par le CTS mettent alors leur NAV à jour. L'émetteur, s'il reçoit avec succès le CTS, considère que le médium est alors réservé dans son voisinage et dans celui du récepteur et qu'il peut donc envoyer ses données sans craindre une émission concurrente d'une station cachée (et celui des stations exposées).

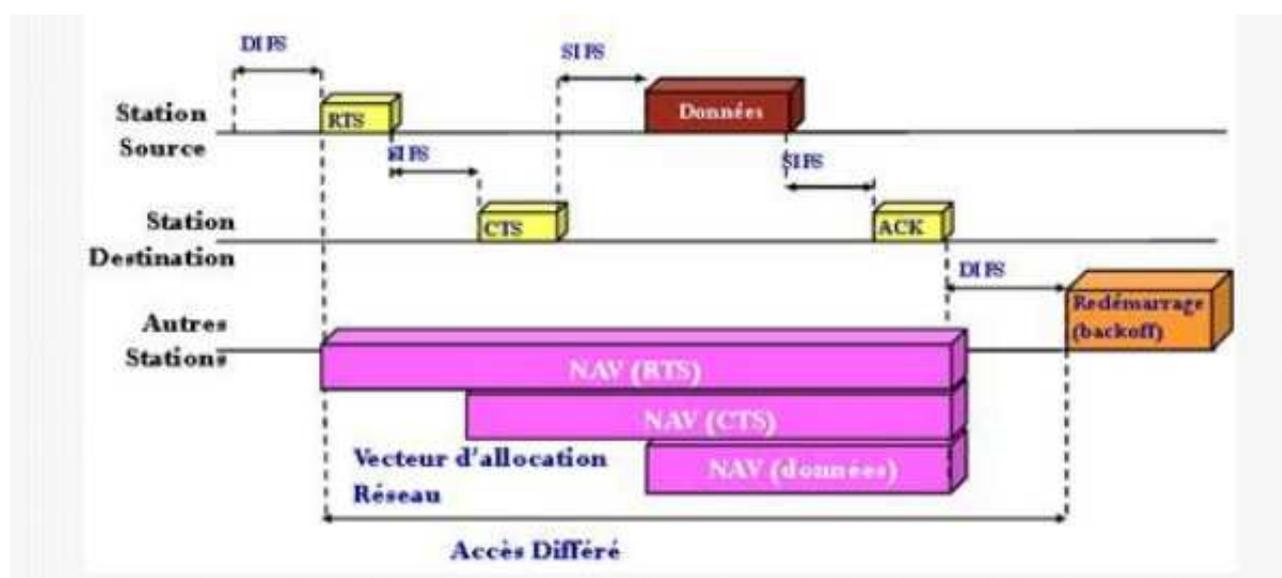


FIGURE 1.4 – Mécanisme d'accès DCF (avec RTS/CTS)

1.3.3.2 PCF

Dans le mode PCF, le point d'accès AP gère l'accès des stations au canal radio. Le temps est divisé en superframes contenant chacune une période sans contention (Contention-Free Period (CFP)) suivi d'une période avec contention (Contention Period (CP)) comme illustré dans Figure 1.5. Pendant la période PCF, l'AP maintient une liste des stations enregistrées et interroge chaque station l'une après l'autre suivant sa liste. Aucune station n'a le droit de transmettre tant qu'elle n'a pas été interrogée.

L'AP commence d'abord par écouter le canal pendant un intervalle PIFS, ensuite commence une période CFP en faisant un broadcast d'un signal Beacon. Toutes les stations rajoutent la CFP-Maxduration (la durée maximale possible de la période CFP) à leur vecteur NAV, ce qui permet d'informer les stations que le réseau est sous contrôle de l'AP pendant une période CFP. Au cours de cette dernière, l'AP interroge chaque station en envoyant des trames cf-poll. La station recevant la trame cf-poll, peut répondre après une durée SIFS avec une trame cf-ACK. l'AP acquitte donc cette trame après une durée SIFS. Cet acquittement est généralement accompagné par un cf-poll pour interroger une autre station [16]. Si une station interrogée ne répond pas au bout d'une durée PIFS, l'AP reprend l'interrogation des stations suivantes [17].

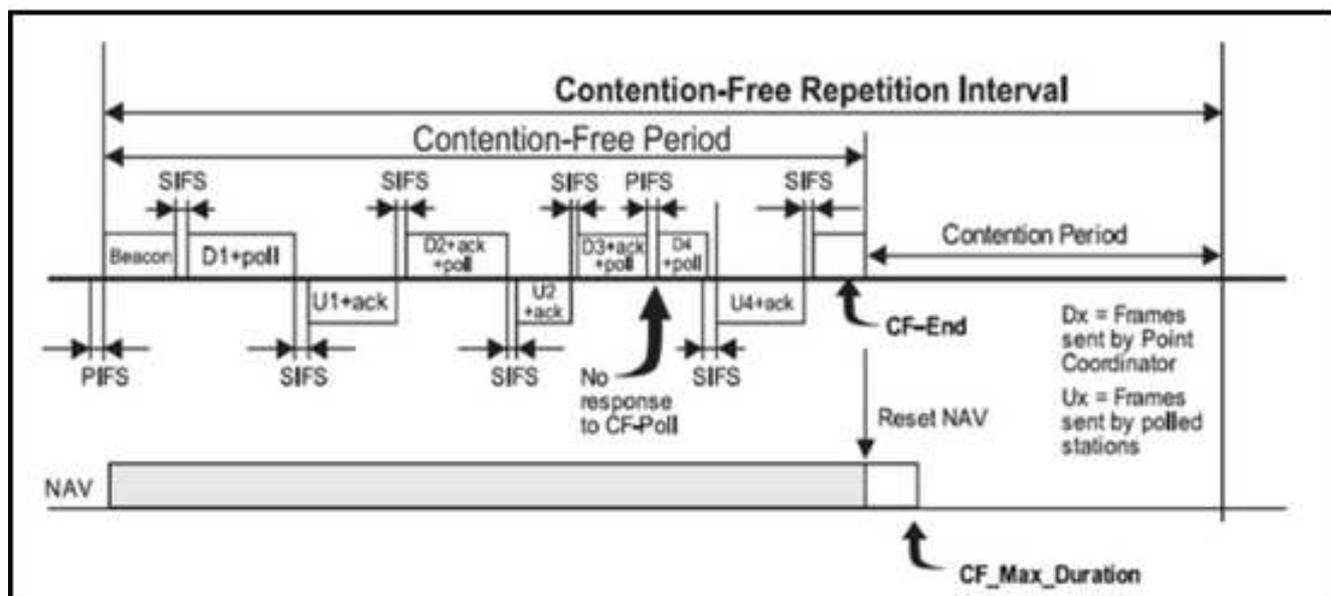


FIGURE 1.5 – Mécanisme d'interrogation utilisé en PCF [17]

1.3.4 Format de la trame 802.11

Cette courte section introduit le format des trames 802.11. Ce format a une influence sur les performances du standard, il est donc utile de le connaître. Une trame de données 802.11 est constituée d'un en-tête physique, d'un en-tête MAC (Medium Access Control) et de données. Le préambule de l'en-tête physique permet à la station de se synchroniser sur le début du signal qu'elle reçoit alors que l'en-tête contient des informations sur la trame (comme la modulation requise pour démoduler le signal par exemple). L'en-tête au niveau MAC contient différents champs comme des informations de contrôle, la durée de la trame suivante, différentes adresses suivant le type de trame émise et une séquence de contrôle. Une autre séquence de contrôle clôt la fin de la trame [4].

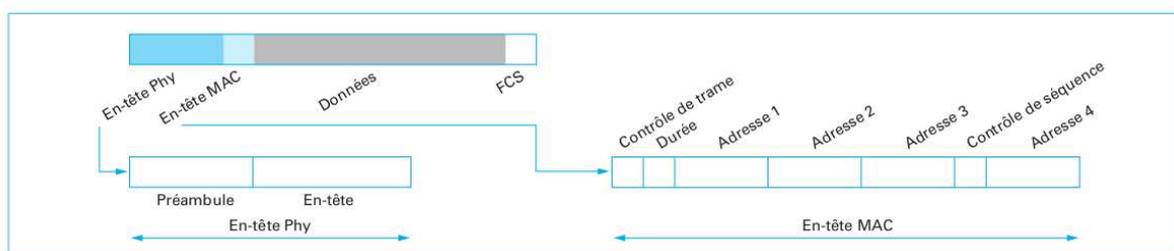


FIGURE 1.6 – Format de la trame 802.11 [4]

1.4 Principaux amendements d'IEEE 802.11

Par la suite, le standard 802.11 a très vite été complété par des amendements qui décrivent des technologies sans fil plus performantes, notamment en termes de débit physique. Certains amendements ont été très suivis par les constructeurs des cartes sans fil et des points d'accès. C'est le cas des amendements b, a et g

1.4.1 IEEE 802.11b : vers un débit de 11 Mbit/s

Cet amendement a été publié à la fin des années 1999. Il propose une extension à une des couches physiques définies dans le standard IEEE 802.11-1999 dans la bande de fréquence des 2,4 GHz. L'extension, appelée **HR/DSSS** (High Rate Direct Spread Sequence Spectrum) [3], est définie pour la couche physique DSSS proposée dans 802.11-1999. Cette extension utilise un codage qui donne lieu à des débits physiques de 5,5 et de 11 Mbit/s. Cette couche physique utilise les mêmes préambule et en-tête physiques. Ceci permet une

interopérabilité avec la couche DSSS. Des options sont aussi proposées afin d'améliorer les débits, comme par exemple le préambule et l'en-tête physique courts. Le préambule court est codé sur moins de bits tandis que l'en-tête physique court est transmis à un débit physique de 2 Mbit/s.

Au sein d'un réseau, il est alors possible que des stations aient des capacités différentes en termes de débit physique. Cet amendement recommande donc que toutes les stations dans un même réseau puissent communiquer avec les débits physiques appartenant à un ensemble de débits de base supportés par toutes les stations (BSSS basic rate set). Toute station voulant se rattacher à un réseau doit pouvoir communiquer avec les débits physiques spécifiés dans cet ensemble. Ainsi, toutes les trames de contrôle (comme par exemple les trames RTS-CTS) doivent être envoyées avec un des débits de cet ensemble, ce qui permet à toute station du réseau de les comprendre. Les trames envoyées en mode diffusion locale doivent aussi être transmises selon un de ces débits physiques.

Toutes les autres caractéristiques définies dans le standard IEEE 802.11-1999 sont maintenues. En fournissant des débits physiques jusqu'à 11 Mbit/s, cet amendement a permis une meilleure acceptation et utilisation des réseaux locaux sans fil. De nombreuses évaluations de performance ont été menées sur 802.11b. Si de tels réseaux fonctionnent bien avec un nombre raisonnable de stations, les performances peuvent vite se dégrader si un grand nombre de stations actives sont présentes. La présence de débits multiples pose aussi des problèmes de performance dans la mesure où les stations envoyant leurs données à un débit physique élevé vont voir leur débit réel fortement chuter à cause de la présence de stations transmettant à des débits physiques faibles [1].

1.4.2 IEEE 802.11a : vers un débit de 54 Mbit/s dans la bande de fréquence des 5 GHz

Cet amendement a également été publié en 1999. Il définit aussi une couche physique, qui opère cette fois-ci dans la bande de fréquence des 5 GHz. Cette couche physique, compliquée, est basée sur plusieurs techniques de transmission numérique, comme la transmission par multiporteuse **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Cette couche donne lieu à des débits physiques allant jusqu'à 54 Mbit/s.

1.4.2.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Cette spécification de la couche physique fonctionne par répartition en fréquences orthogonales dans la bande 5 GHz. Elle définit plusieurs modes de fonctionnement caractérisés par le type de modulation utilisé : BPSK, QPSK, 16 QAM (16 Quadratic Amplitude Modulation, une modulation d'amplitude en quadrature) ou 64 QAM (64 Quadrature Amplitude Modulation); le ratio de correction d'erreur FEC (Forward Error Correction) utilisé et la largeur des canaux de fréquences : 5, 10 ou 20 MHz donnant ainsi une spécification de la couche physique pouvant offrir un débit physique allant de 1.5 Mb/s à 54 Mb/s [8].

1.4.3 IEEE 802.11g : vers un débit de 54 Mbit/s dans la bande de fréquence des 2,4 GHz

Cet amendement a été publié en 2003. Il propose une extension pour fournir des débits encore plus élevés dans la bande de fréquence des 2,4 GHz.

Il propose donc une nouvelle couche physique appelée ERP (Extended Rate PHY) qui fonctionne sur les canaux définis dans IEEE 802.11-1999. Cette couche physique supporte les débits physiques proposés dans le standard IEEE 802.11-1999 et dans l'amendement 802.11b [1].

Le problème de l'interopérabilité entre différents modes de communication est au cœur de cet amendement. Pour permettre cette interopérabilité au sein d'un réseau, quelques fonctionnalités ont été ajoutées à la couche MAC.

Tout d'abord, comme pour les amendements précédents, toute station dans un réseau doit pouvoir recevoir et transmettre selon les débits appartenant à un ensemble de débits partagé par tout le monde (appelé aBasicRateSet). Les trames de contrôle RTS et CTS doivent être envoyées avec un de ces débits. Une fois que l'émetteur pense être protégé par un échange de trames de contrôle envoyées selon un débit minimal, il peut alors envoyer ses données selon le débit désiré, à partir du moment où le récepteur supporte ce débit. Les trames de protection doivent être envoyées selon le mode DSSS ou HR/DSSS. Cette protection est nécessaire pour le mode ERP-OFDM car les autres modes utilisent un en-tête DSSS [9].

Un mécanisme de distribution du NAV est aussi proposé. Dans ce mécanisme, une station, voulant émettre des données avec un débit n'appartenant pas à l'ensemble aBasicRateSet, s'envoie une trame de contrôle CTS afin d'informer ses voisins de son désir de transmettre et de mettre à jour leur NAV.

1.4.4 IEEE 802.11e : mise en place de la Qualité de Service (QoS)

Les trois amendements 802.11a, 802.11b et 802.11g ne fournissent aucune garantie sur débit, délais de transmission, disponibilité et taux de perte de paquets. Un certain nombre de travaux ont montré que la couche MAC avait un impact important sur les performances des réseaux sans fil IEEE 802.11 [13]. Modifier les paramètres de cette couche MAC va donc avoir une influence sur les performances et peut donc être une voie vers une mise en place de la qualité de service dans ces réseaux. Ce sujet a été un objet d'étude au sein du sous-groupe de travail 802.11e.

L'amendement 802.11e, intitulé " Amélioration de la qualité de service MAC ", a été publié à la fin des années 2005. Le but de cet amendement est donc de définir des procédures MAC qui permettent de transférer des applications ayant des besoins de qualité de service dans les réseaux locaux sans fil. Les applications visées sont le transport de la voix, de l'audio et de la vidéo.

La fonction **HCF** (Hybrid Coordination Function) est ajoutée aux services MAC des stations 802.11e. Cette fonction est basée sur deux mécanismes :

- Le mécanisme **HCCA** (HCF Control Channel Access) fournit, comme dans le mode PCF, une gestion centralisée grâce à un coordinateur. Ce dernier réalise un contrôle d'admission et invite les stations du réseau à transmettre en fonction des contraintes de leurs applications. Cela permet de réaliser un transfert sans contention ;
- Le mécanisme **EDCA** (Enhanced Distributed Channel Access) propose, comme le mode DCF du standard IEEE 802.11-1999, un mécanisme d'accès distribué qui permet de différencier le trafic grâce à l'utilisation de priorités. Un tel mécanisme est appelé **accès avec contention**.

1.4.4.1 HCCA

Le mécanisme HCCA, comme pour le mécanisme PCF, repose sur un coordinateur, appelé **coordinateur hybride** (HC) [8]. Ce dernier diffère 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. L'accès est donc ici organisé en deux phases : une période sans contention (toujours appelée CFP) durant laquelle seul le mé-

canisme HCCA est utilisé et une période avec contention (toujours appelée CP) durant laquelle les deux mécanismes EDCA et HCCA peuvent être utilisés. Les périodes pendant lesquelles le mécanisme HCCA est utilisé sont appelées **phases d'accès contrôlé** (CAP). Chaque période sans contention démarre avec une trame balise envoyée par le coordinateur. Le mode de transmission de HCCA est très similaire à celui du mode PCF. Le coordinateur hybride doit attendre que le médium soit libre pendant un temps fixe PIFS avant de pouvoir émettre ses trames. PIFS est plus grand que SIFS, mais plus petit que le minimum des AIFS parmi les différentes catégories d'accès. Cela permet au coordinateur d'être prioritaire sur n'importe quelle station cherchant à émettre selon le mécanisme EDCA. Les stations sont invitées à transmettre par le coordinateur grâce à une trame de polling (QoS-cf-poll). La durée de l'opportunité de transmission est alors précisée. La station contactée peut alors transmettre une suite de trames pendant toute cette durée, si besoin. Pendant cet échange, les trames envoyées sont séparées par le temps fixe SIFS. Toutes les autres stations recevant cette trame de polling mettent à jour leur NAV et vont donc s'empêcher d'émettre, sauf si on attend d'elles l'envoi d'un acquittement ou d'une trame CTS. Si le coordinateur ne reçoit pas de réponse de la station invitée ou si elle n'a plus de stations à contacter, elle peut alors mettre à jour le NAV des stations qui lui sont attachées. Toute station peut faire une requête sur la durée de l'opportunité de transmission qu'elle aimerait obtenir. Cette demande se fait via le champ Contrôle de la qualité de service des trames de données ou de trames spécifiques. Cette requête peut être exprimée en termes de durée du TXOP ou de taille de la file d'attente.

1.4.4.2 EDCA

Dans cet amendement, le mécanisme EDCA se base sur des priorités différentes qui sont mises en correspondance avec quatre catégories d'accès (AC, Access Category) distinctes. Les quatre types de trafic représentés par ces classes correspondent, selon un ordre croissant des priorités, au trafic Background, Best Effort, vidéo et voix.

Catégorie d'accès	AIFSN	CWmin	CWmax	TXOPmax (ms)
AC_BK	7	15	1023	0
AC_BE	3	15	1023	0
AC_VI	2	7	15	3008
AC_VO	2	3	7	1504

TABLE 1.1 – Paramètres préconisés pour chaque catégorie d'accès [8]

Dans ce mode, les paquets de données sont envoyés sur le médium radio selon le principe DCF, mais en utilisant un paramétrage propre à chaque catégorie d'accès (Tableau 1.1) :

- le temps d'accès fixe n'est plus un DIFS, correspondant à une valeur constante, mais un **AIFS** (Arbitration InterFrame Spacing) spécifique à chaque catégorie d'accès.
- les tailles minimale et maximale de la fenêtre de contention (CW_{min} et CW_{max}) sont aussi dépendantes de la catégorie d'accès.

La figure 1.7 illustre un exemple de ce mécanisme, où la catégorie d'accès i a un temps fixe et une fenêtre de contention plus petits que la catégorie d'accès j . Ainsi, les trames de la catégorie d'accès i ont plus de chance d'accéder au médium radio que celles de la catégorie j . Donner des valeurs différentes à certains paramètres de la couche MAC selon les catégories d'accès permet de différencier l'accès au médium.

Des collisions internes aux stations peuvent apparaître dans ce mode. En effet, il est possible que deux paquets se trouvant dans deux files d'attente différentes, au sein d'une même station, voient leur temps d'attente aléatoire se terminer au même moment. Dans ce cas, les deux paquets devraient être émis en même temps. L'amendement recommande d'émettre le paquet ayant la plus forte priorité. Le paquet n'ayant pas pu être émis doit alors recommencer le mécanisme d'accès au médium.

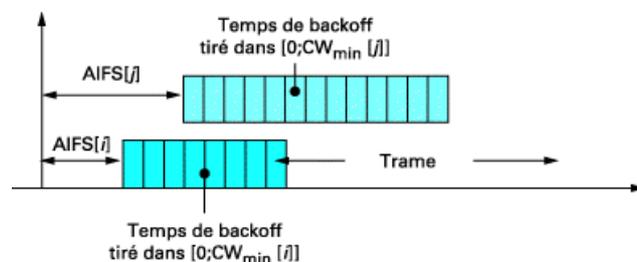


FIGURE 1.7 – Exemple illustrant l'accès au canal selon le mécanisme EDCA [1]

Les paquets de données doivent indiquer si une certaine qualité de service est demandée. Pour cela, le champ Contrôle de trame, inclut de nouveaux types de trames par rapport à IEEE 802.11-1999 afin d'intégrer cette notion de qualité de service. Si le sous-champ QoS est activé dans le champ Contrôle de trame, alors un nouveau champ est ajouté dans l'en-tête MAC de la trame 802.11. Ce champ, appelé Contrôle de la qualité de service (codé sur 2 octets et ajouté après le champ Adresse 4), donne des informations sur la qualité de service associée à la trame concernée, comme par exemple le degré de priorité.

Dans cet amendement, il est possible qu'une station, ayant gagné l'accès au canal radio, puisse envoyer plusieurs trames consécutives. En fait, les stations ne concurrencent plus exactement pour l'accès au médium radio afin de transmettre une trame, mais pour une opportunité de transmission (**TXOP**, Transmission Opportunity).

Cette opportunité de transmission correspond à une période de temps pendant laquelle la station gagnante peut émettre des trames consécutives d'une même catégorie d'accès si elle en a le besoin. Une valeur de 0 pour cette opportunité de transmission indique qu'une seule trame peut être transmise sur le médium et que le mécanisme d'accès au médium doit être relancé pour les trames suivantes se trouvant en première ligne dans les différentes files d'attente de la station. Les valeurs possibles de TXOP en fonction des différentes catégories d'accès, qui peuvent être utilisées lors de l'accès avec contention (EDCA), sont annoncées par les points d'accès.

1.4.4.3 Bloc d'acquittements

Si l'agrégation de trames est possible dans 802.11e, chaque trame point-à-point doit néanmoins être acquittée, ce qui donne lieu à une suite de trames et d'acquittements séparés par des temps SIFS. Dans cet amendement, il est aussi possible d'agréger des acquittements dans une seule trame de contrôle afin d'améliorer l'utilisation du médium radio [1].

1.4.5 IEEE 802.11n : vers des débits encore plus élevés

Ce sous-groupe travaille sur des améliorations pour obtenir des débits encore plus élevés. Comme pour 802.11a/b/g, les propositions portent essentiellement sur la couche physique [11]. 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. Cette technique utilise plusieurs antennes afin de pouvoir décoder plus d'informations que

ne peut traiter une seule antenne. Elle peut aussi multiplexer, de manière spatiale, plusieurs flux de données grâce à cette multiplicité d'antennes.

La technique **Channel Bonding** (regroupement de canaux) permet de regrouper deux canaux indépendants pour transmettre les données. Ici deux canaux adjacents de 20 MHz sont utilisés au lieu d'un seul canal de 20 MHz. La combinaison de ces deux techniques permet d'augmenter considérablement le débit physique, passant de 54 Mbit/s pour 802.11a/g à environ 300 Mbit/s pour 802.11n.

La couche MAC est aussi optimisée dans cet amendement afin d'améliorer encore plus les performances. Il est, par exemple, possible d'agrèger les trames. Le principe de bloc d'acquittements, défini dans l'amendement 802.11e, est utilisé dans ce mécanisme d'agrégation.

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le standard 802.11 ainsi que les différentes améliorations qui lui sont apportées au fil des amendements, afin de procurer de meilleures performances surtout en termes de débit. Les plus grandes améliorations seront citées dans le prochain chapitre dédié à la norme IEEE 802.11ac.

Chapitre 2

Présentation de la norme 802.11ac et état de l'art sur les méthodes d'accès MAC multicanaux

2.1 Introduction

L'amendement IEEE 802.11ac a été proposé pour améliorer le débit de l'IEEE 802.11n au-delà de l'ordre de Gigabit par seconde.

Dans ce chapitre, nous présentons, d'une part, un aperçu des caractéristiques les plus importantes proposées dans l'amendement 802.11ac, y compris le mécanisme de regroupement de canaux et les deux méthodes d'accès dynamique et statique, d'autre part, nous résumons l'ensemble des travaux de recherche accomplis dans cette thématique.

2.2 Principales améliorations PHY et MAC de la norme 802.11ac

Dans cette section, nous allons développer quelques améliorations PHY et MAC de la norme 802.11ac.

2.2.1 Principales améliorations PHY

2.2.1.1 Regroupement de canaux

802.11ac adopte une approche pratique de regroupement de canaux. Les canaux adjacents à 20 MHz sont regroupés en paires pour créer des canaux de 40 MHz, les canaux adjacents de 40 MHz sont regroupés en paires pour créer des canaux de 80 MHz et les canaux adjacents de 80 MHz sont regroupés en paires pour créer les canaux de 160 MHz [14].

Dans 802.11ac, le support pour les canaux 20, 40 et 80 MHz est obligatoire. Le canal de 160 MHz est facultatif. Le regroupement de canaux consiste en un canal primaire de 20 MHz et un nombre de canaux secondaires, la figure 2.1 montre la relation entre les canaux primaire et secondaires en fonction des différentes options de bande passante.

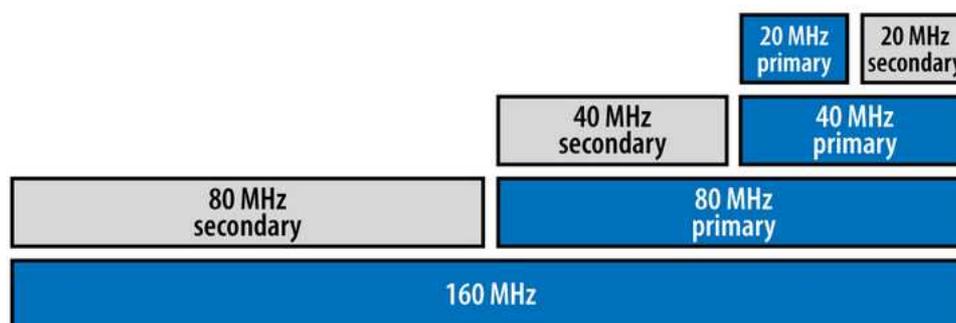


FIGURE 2.1 – Canaux primaire et secondaires [4]

2.2.1.2 Technologie Multi-User MIMO

Les fonctionnalités MIMO ont été inaugurées avec le standard 802.11n. Les radios diffusent les données d'un utilisateur sur plusieurs flux spatiaux ; les données sont ensuite transmises par différentes antennes et se propagent dans l'air en suivant différents chemins. Lorsque tous les flux atteignent le client, les données sont recombinaées.

La technologie Multi-User MIMO, ou MU-MIMO, qui est inaugurée avec le standard 802.11ac, développe considérablement les fonctionnalités MIMO en augmentant le nombre de bits transférés par mégahertz dans le spectre. Tandis que la technologie Single-User MIMO (SU-MIMO) du standard 802.11n ne profite qu'à un terminal à la fois, la technologie MU-MIMO du standard 802.11ac autorise l'assignation de flux multiples à différents clients, augmentant ainsi la bande passante totale pouvant être transmise simultanément.

Dans l'exemple fourni (voir la figure 2.2), un point d'accès 802.11ac à 4 antennes pourrait transmettre un flux 2x2 (2 antennes en réception et 2 en émission) à un client 2x2, tout en utilisant les deux autres antennes pour transmettre des flux 1x1 à deux terminaux mobiles simultanément, ainsi qu'une comparaison avec le SU-MIMO du 802.11n.

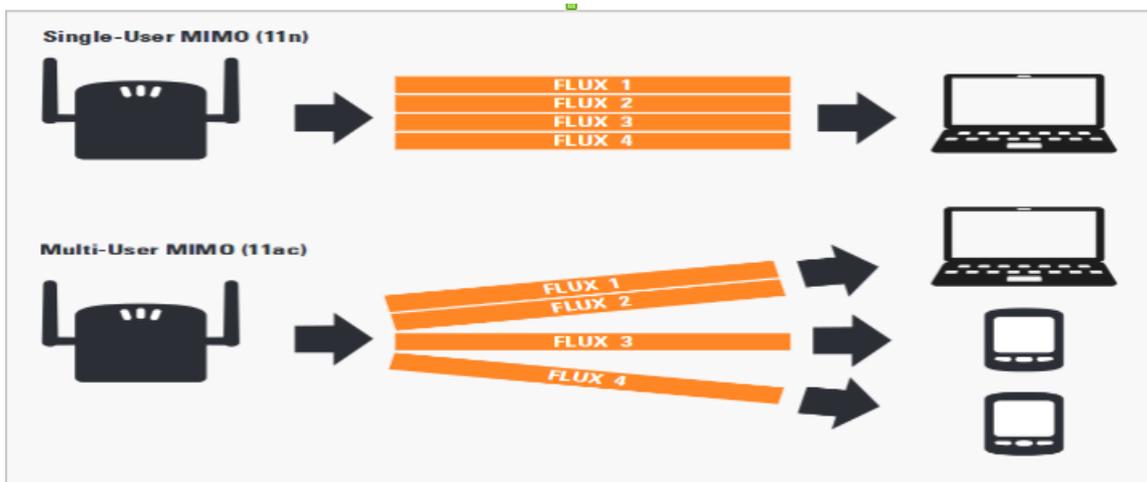


FIGURE 2.2 – Single-user MIMO versus Multi-User MIMO [18]

En outre, la technologie MU-MIMO tire parti de l'option de formation de faisceaux de transmission "le Beamforming".

2.2.1.3 Beamforming

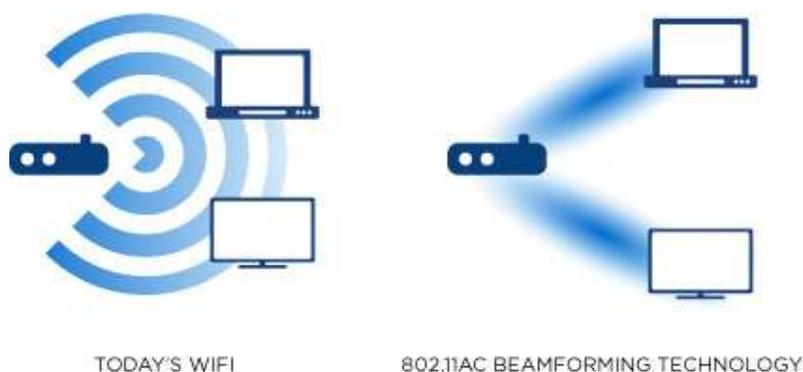


FIGURE 2.3 – Wifi versus Technologie beamforming 802.11ac [4]

La norme 802.11ac fait appel au beamforming. Cette technique permet de concentrer la puissance du signal vers les appareils présents dans la pièce, au lieu d'envoyer toute la puissance dans toutes les directions (figure 2.3). De quoi augmenter la puissance du signal reçu et ainsi, le débit de terminaux clients.

2.2.1.4 Modulation 256-QAM

En 802.11n, la modulation la plus élevée est 64-QAM (Modulation d'amplitude en quadrature). Six bits d'informations codées peuvent être représentés dans la 64-QAM. 802.11ac a introduit une plus haute modulation 256-QAM qui augmente progressivement les débits de données de 33 % sur 802.11n. Cette augmentation est obtenue en représentant huit bits codés par symbole au lieu de six. Il convient toutefois de noter qu'un rapport signal / bruit plus élevé (SNR)(Signal-to-Noise Ratio) est nécessaire pour 256-QAM par rapport à 64-QAM car les symboles de constellation sont plus proches l'un de l'autre, ce qui les rend plus sensibles au bruit. La figure 2.4 montre l'impact de 256-QAM sur la performance [18]. Dans 802.11n, 600 Mbps est le taux de données PHY maximal réalisable en utilisant quatre flux spatiaux et une bande passante de 40 MHz. Cependant, dans 802.11ac ce taux atteint 800 Mbps.

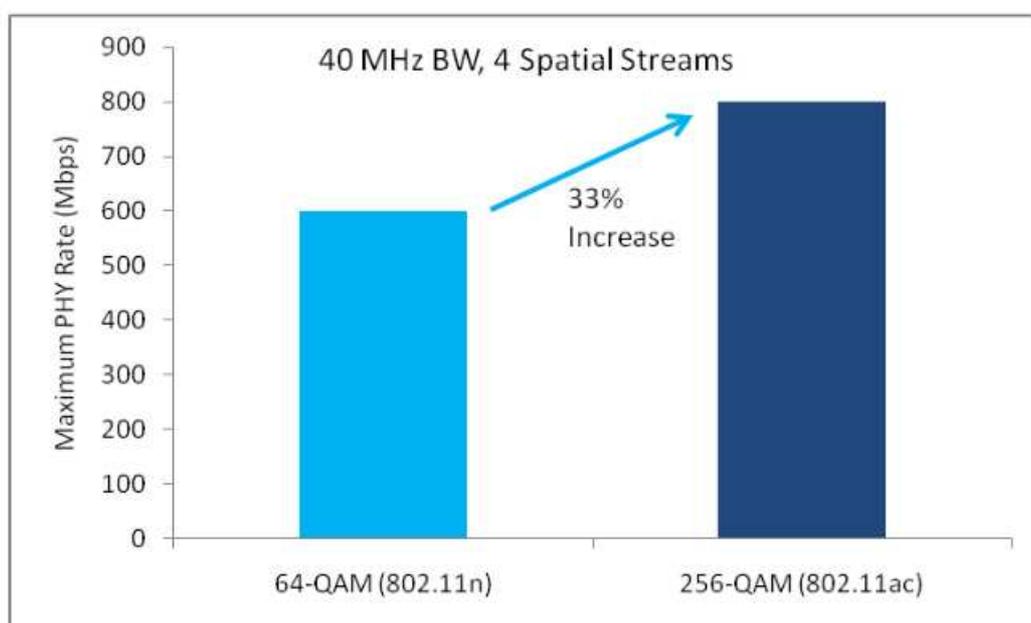


FIGURE 2.4 – Modulation 64-QAM versus 256-QAM [18]

2.2.2 Principales améliorations MAC

2.2.2.1 Méthodes d'accès au canal

- **Méthode statique :**

Supposons qu'une station 802.11ac essaye de transmettre sur 80 MHz. Si le sous-canal secondaire est occupé, la station choisira une période backoff dans la taille de la fenêtre actuelle pour redémarrer le processus de contention et tenter seulement jusqu'à ce que tous les sous canaux soit libres.

Notons qu'avec un grand nombre de stations, la probabilité d'accès au support avec un tel canal large sera diminuée [14]. Dans la figure 2.5, il y a trois canaux de 20 MHz utilisés par cinq stations 802.11a et 802.11n qui sont les canaux secondaires de la stations 802.11ac qui opère sur 80 MHz. Si les canaux secondaires sont occupés, la station 802.11 ac continue l'opération de l'écoute jusqu'à ce que tous les canaux deviennent libres [19].

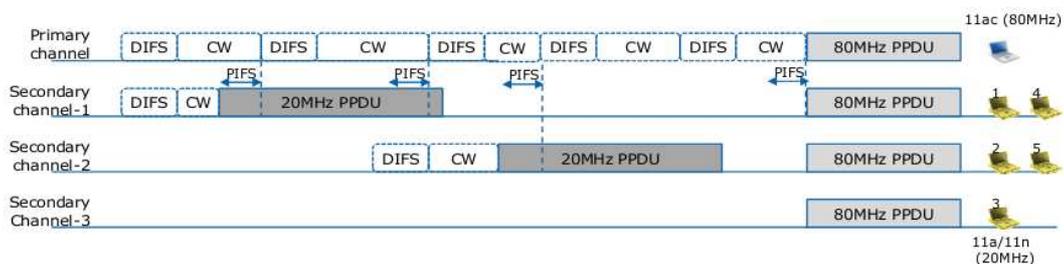


FIGURE 2.5 – Scénario d'accès statique sur 80 MHz [19]

- **Méthode dynamique :** 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 2.6. Il s'agit évidemment d'une approche plus souple qui permet une allocation de ressources plus efficace car la station peut encore transmettre sur une fraction de la bande passante d'origine [14].

Toutes les transmissions doivent toujours inclure le canal principal afin d'informer le destinataire des canaux que l'émetteur utilisera [19].

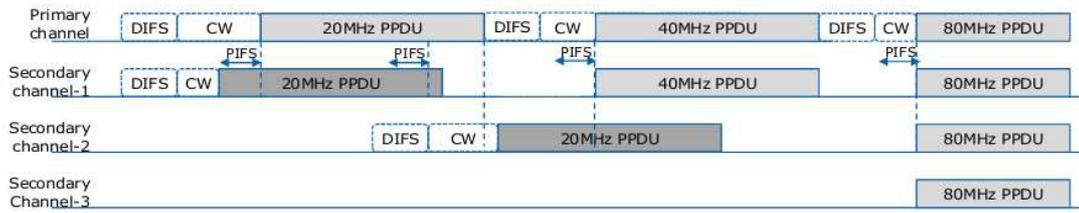


FIGURE 2.6 – Scénario d'accès dynamique sur 80 MHz [19]

2.2.2.2 Mécanisme TXOP sharing

La technique TXOP sharing est définie par le sous-groupe IEEE 802.11ac pour permettre les transmissions DL MU-MIMO.

La technique du TXOP a, d'abord, été définie par le sous-groupe IEEE 802.11e pour assurer la qualité de service (QoS) pour les réseaux sans fil. Pour améliorer cette technique, EDCA TXOP a été proposée et dans laquelle une AC peut transmettre autant de trames possibles pendant son TXOP Limit. Cependant, cette dernière ne permet pas à de différentes ACs de transmettre simultanément. Ce qui a amené à adopter le TXOP Sharing pour justement supporter la transmission simultanée des multiples flux vers des multiples récepteurs définie par le mécanisme DL MU-MIMO.

Les principales règles de fonctionnement du TXOP sharing sont [15] [16] :

1. Chaque EDCAF d'un AP utilise ses propres paramètres EDCA en compétition pour un TXOP.
2. Une fois l'EDCAF gagne une TXOP, elle devient propriétaire de cette TXOP et son AC correspondante devient l'AC primaire et les autres ACs deviennent des ACs secondaire.
3. L'AC primaire peut décider de partager sa TXOP avec les ACs secondaires pour les transmissions simultanées. Si c'est le cas, la TXOP gagnée devient une TXOP multi- utilisateurs (MU-TXOP).
4. L'AC primaire peut également décider avec quelle (s) AC (s) secondaire (s) partager la TXOP gagnée, et quelle destination à adopter.
5. La durée de la TXOP est déterminée par la TXOP Limit de L'AC primaire, et le temps de transmission est déterminé par la quantité de données à transmettre par l'AC primaire.

6. Une fois que l'AC primaire a terminé sa transmission, le MU-TXOP est terminé même si les ACs secondaires ont encore des trames à envoyer.

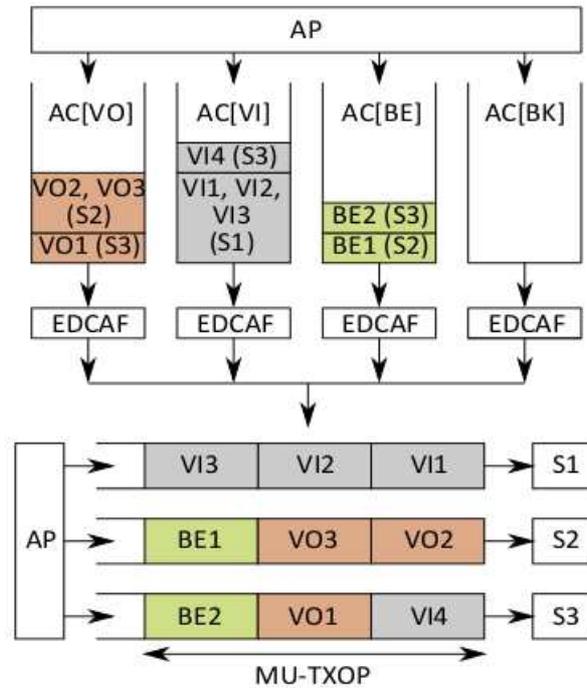


FIGURE 2.7 – Exemple de fonctionnement du TXOP Sharing [15]

2.2.2.3 L'agrégation améliorée

Le principe de l'agrégation proposé par le sous-groupe 802.11n consiste à accumuler plusieurs sous-trames et les transmettre dans une seule trame, et ce afin d'améliorer l'efficacité MAC.

Deux types d'agrégation sont proposés : A-MSDU et A-MPDU et en combinant les deux dans une trame, on obtient l'agrégation à deux niveaux A-MSDU/A-MPDU. La norme IEEE 802.11ac améliore cette agrégation en augmentant la taille des A-MSDU et A-MPDU.

	802.11 n	802.11ac
A-MSDU length (bytes)	7935	11420
A-MPDU length (bytes)	65535	1048579

TABLE 2.1 – Taille des trames améliorée avec 802.11ac [10]

2.2.2.4 Trame MAC 802.11ac

De nouveaux champs VHT sont ajoutés par le 802.11 ac. Le format de trame 802.11ac est illustré à la figure 2.8 et commence comme prévu avec un préambule. Les trois premiers champs sont L-STF (Short Training Field), L-LTF (Long Training Field) et L-SIG (Signal). Le L-STF et le L-LTF contiennent des informations qui permettent au dispositif de détecter le signal, d'effectuer l'estimation du décalage de fréquence, la synchronisation du temps, etc. En outre, le champ L-SIG inclut des informations concernant la longueur du reste du paquet. Les champs suivants du paquet commençant par VHT (Very High Throughput), sont nouveaux sur 802.11ac. Le champ VHT-SIG-A contient deux symboles OFDM. Le premier symbole est modulé à l'aide de BPSK. Le deuxième symbole utilise un BPSK tourné à 90 degrés qui permet à l'appareil VHT de savoir qu'il s'agit d'un paquet 802.11ac. Des informations importantes sont contenues dans les bits de ces deux symboles tels que le mode de bande passante, le nombre de flux de temps spatial (space time streams), etc. Après le VHT-SIG-A, le VHT-STF est envoyé. Les huit champs suivants du paquet sont les VHT-LTF. Ceux-ci sont utilisés pour estimer le canal MIMO puis égaliser le signal reçu. Étant donné que le nombre de LTF envoyés est supérieur ou égal au nombre de flux spatiaux par utilisateur, ils sont appelés "resolvable LTFs". Le VHT-SIG-B est le dernier champ du préambule avant que le champ de données ne soit envoyé. VHT-SIG-B est modulé avec BPSK et fournit des informations sur la longueur des données utiles dans le paquet. [2] .

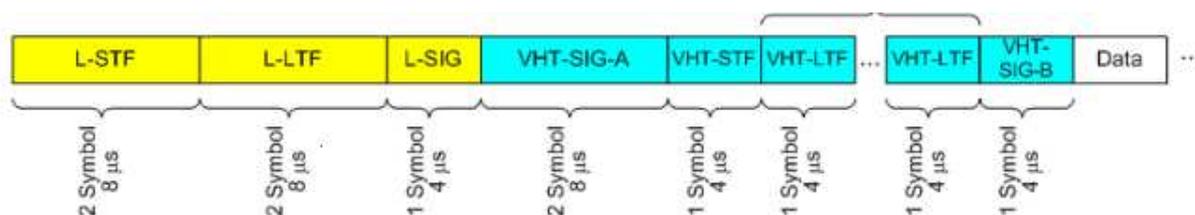


FIGURE 2.8 – Format de la trame MAC 802.11ac [2]

2.3 État de l'art sur les méthodes d'accès MAC multi-canaux

2.3.1 Park (2011) [19]

L'auteur a d'abord abordé les méthodes d'accès statique sur 40MHz et dynamique sur 20/40 MHz définies dans 802.11n. Ensuite, il a étendu, grâce à la technique du regroupement de canaux, les règles d'accès des méthodes statique et dynamique 802.11n au canal large 80 MHz de la 802.11ac, qui comprend un canal principal et trois canaux secondaires. Il a donc étudié et comparé ces deux méthodes statique 80MHz et dynamique 20/40/80 MHz de la 802.11ac lorsque les canaux secondaires sont occupés par des stations 802.11a/n. En outre, il a signalé l'importance de l'emplacement du canal primaire. Les résultats de la simulation montrent clairement que la méthode dynamique fournit un débit élevé par rapport à la méthode statique pour l'utilisation d'un canal de 80MHz dans un réseau dense. Cependant, cette dernière ne permet pas d'exploiter la bande passante disponible efficacement. L'auteur a aussi montré que l'emplacement du canal au milieu offre de meilleures performances en termes de débit par rapport à son emplacement au début ou à la fin canal de 80MHz.

2.3.2 Gong et al. (2011) [20]

Les auteurs ont proposé un mécanisme de protection MAC pour résoudre le problème des noeuds cachés sur les canaux secondaires. En effet, lorsque plusieurs BSSs se chevauchent, ce problème survient causant des collisions. Le mécanisme consiste à dupliquer l'envoi et la réception des requêtes RTS/CTS afin d'améliorer le débit.

La simulation a permis de confirmer que ce mécanisme améliore le débit offert et il est donc efficace pour la résolution du problème des noeuds cachés.

En outre, ils ont évalué le débit fourni après avoir étendu les mécanismes d'accès définis dans la 802.11n, avec un regroupement de canaux, au canal large 80MHz, et ils ont comparé son implémentation dans les accès dynamique et statique.

Les résultats ont montré que l'accès dynamique est plus performant que l'accès statique, notamment lorsque le réseau est constitué de plusieurs BSSs qui se chevauchent.

La proposition a été retenue et jugée obligatoire dans la norme IEEE 802.11ac.

2.3.3 Stelter (2013) [21]

L'auteur propose un protocole MAC appelé pbMAC (partial bonding MAC). Ce dernier consiste à n'attribuer qu'une partie de la bande passante disponible à un seul utilisateur à la fois. En effet, la technique de regroupement de canaux proposée dans l' IEEE 802.11ac permet de multiplier le débit de données mais, le protocole d'accès MAC dans 802.11ac alloue toute la bande passante à un seul utilisateur à la fois, donc elle est très inefficace si les trames de données transmises ne sont pas suffisamment longues. De ce fait, l'auteur a comparé, par une simulation, son protocole proposé avec le protocole d'accès proposé dans 802.11ac.

Les résultats de la simulation montrent que pbMAC utilise la bande passante de manière plus efficace, en particulier pour les trames courtes. Cette amélioration est obtenue grâce à la transmission de données en parallèle mise en œuvre simultanément par plusieurs utilisateurs sur la bande passante disponible.

2.3.4 Huang et al. (2013) [22]

Dans cet article, les auteurs proposent un protocole de regroupement dynamique de canaux DyB (Dynamic channel Bonding) dans lequel un noeud est autorisé à démarrer une transmission tant qu'il existe des canaux étroits inactifs et augmente progressivement la largeur du canal pendant la transmission chaque fois que de nouveaux canaux étroits sont disponibles.

En effet, des problèmes d'inefficacité et d'inégalité surviennent lorsque des appareils qui utilisent différentes largeurs de canal coexistent dans un domaine de contention. Pour permettre un accord de spectre rapide entre l'émetteur et le récepteur, une méthode de corrélation partielle du spectre est introduite. Un préambule composé est conçu pour rendre les collisions détectables dans le domaine fréquentiel et un mécanisme bitwize est utilisé en parallèle pour résoudre rapidement les collisions dans le domaine temporel.

Les résultats des simulations montrent que le protocole DyB peut résoudre les problèmes d'inefficacité et d'injustice causés par une coexistence hétérogène.

2.3.5 Stelter et al. (Février 2014) [23]

Les auteurs ont proposé un mécanisme qui permet la sélection du canal adapté en termes de largeur à la taille des trames à transmettre : c'est le mécanisme CWSS(Channel Width Selection Scheme) établi pour réduire la bande passante utilisée par la STA, si la

trame de données transmise n'est pas vraiment de grande taille.

Les résultats de la simulation montrent que :

- le CWSS permet une meilleure utilisation de la bande passante dans des BSSs 802.11ac qui se chevauchent (OBSS).
- Particulièrement pour les trames courtes, le délai d'accès moyen se diminue.
- Le CWSS peut être utilisé en option, c'est-à-dire qu'il peut être automatiquement activé lorsque le chevauchement OBSS apparaît et désactivé lorsque le OBSS disparaît.

2.3.6 Stelter et al. (Mai 2014) [24]

Dans ce travail, les auteurs proposent une nouvelle méthode d'accès dynamique au canal pour les réseaux locaux sans fil. La méthode permet à une station d'accéder au canal de 80 ou 160 MHz pour détecter chaque canal secondaire libre de 20 MHz et transmettre simultanément avec le canal primaire de 20 MHz sans qu'ils soient forcément adjacents.

Les résultats de simulation montrent que la méthode d'accès proposée offre un meilleur débit moyen par rapport à la méthode fournie par la norme 802.11ac. La méthode proposée utilise la fonction CCA (Clear Channel Assessment) pour déterminer lesquels des canaux de 20 MHz sont inactifs et lesquels sont occupés.

De ce fait, le document propose une nouvelle conception de récepteur capable de rejeter l'interférence de canal adjacent, en raison de la présence des signaux de station 802.11a / n existants dans le canal accédé à 80 ou 160 MHz.

2.3.7 Fang et al. (2015) [25]

Les auteurs proposent une nouvelle méthode d'accès qui permet d'implémenter la transmission parallèle MUPT, dans les deux transmissions DownLink et UpLink, afin de remédier à certains problèmes du 802.11ac. En effet, la norme 802.11ac peut multiplier le débit grâce à la bande large introduite par cette norme, mais au prix de la diminution de la SE (spectral efficiency) en raison du grand overhead causé par les trames courtes et du problème de mauvaise exploitation spectrale causé par les stations Legacy.

Cette méthode conserve la possibilité d'améliorer le débit des stations 802.11ac, tout en atténuant les problèmes mentionnés ci-dessus. Les résultats analytiques et numériques montrent que la SE de l'approche proposée est considérablement améliorée par rapport à celle du 802.11ac. En outre, l'approche proposée a réussi à atteindre les avantages et à

éviter les inconvénients de certaines approches existantes dans la littérature.

2.3.8 Kim et al. (2017) [26]

Dans cet article, les auteurs proposent une nouvelle méthode d'accès appelée DDBCA (delayed dynamic bandwidth channel access), pour améliorer le débit lorsque de nombreux appareils utilisent une bande passante différente.

L'objectif principal de la DDBCA proposée est d'atténuer le problème de goulot d'étranglement de performances présent dans l'accès dynamique DBCA (Dynamic Bandwidth Channel Access scheme).

En effet, ce problème survient lorsque l'occupation du canal de 20 MHz, qui est le canal secondaire1 (SCH1) adjacent au canal primaire, empêche la STA qui a gagné le canal primaire (par DBCA) de transmettre sur un canal plus large malgré que les autres canaux sont libres (le canal de 40MHz).

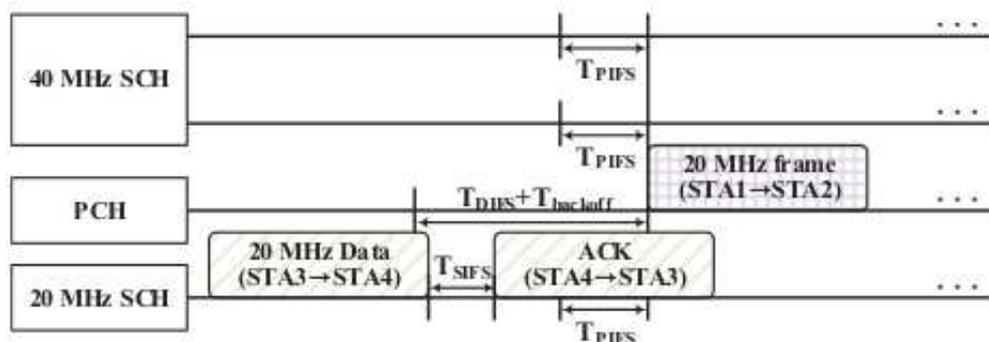


FIGURE 2.9 – Exemple de problème de goulot d'étranglement [26]

Afin d'atténuer ce problème, les auteurs ont proposé une approche d'attente et d'envoi (wait and send). Pour cela, la STA vérifie si le SCH1 est occupé ou inactif.

Si le SCH1 de 20 MHz est occupé par la trame ACK, la STA attend jusqu'à ce que le SCH1 soit libre. Après cette période d'attente, la STA transmet une trame de données avec la bande la plus large possible (SCH1 compris) selon le CCA de 40 MHz. Dans cette approche, la STA 802.11ac attend seulement pendant la période occupée du SCH1 par l'ACK pour deux raisons. La première raison est que la taille de la trame ACK est plus

courte que les autres trames. La deuxième est que si le SCH1 est occupé par une trame longue, la STA souffre d'un long temps d'attente, ce qui provoque une dégradation des performances. Ainsi, cette approche vise uniquement les trames ACK dans le SCH1. L'implémentation de cette approche nécessite un mécanisme de détection de la trame ACK dans le SCH1. Pour cela, les auteurs ont proposé la DDBCA qui est basée sur l'approche (wait and send), qui comprend le mécanisme de détection de la trame ACK et qui consiste en six phases.

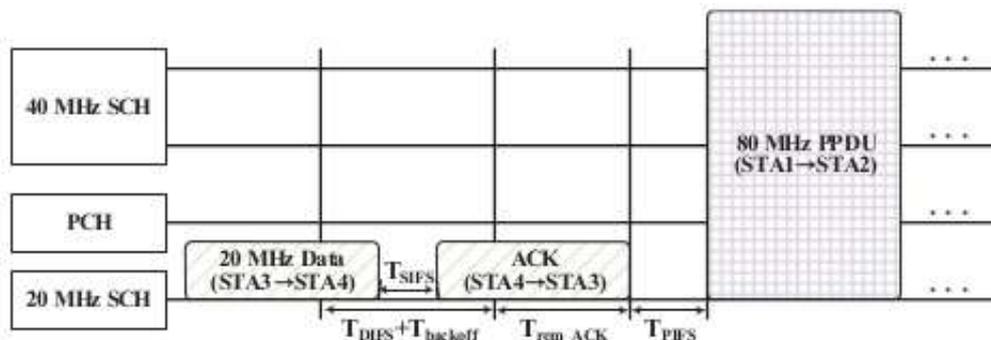


FIGURE 2.10 – Exemple de DDBCA [26]

Les résultats de la simulation montrent que la DDBCA proposée atteint un débit de 5% à 10% plus élevé que DBCA dans un canal saturé.

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord présenté les principales améliorations proposées par l'amendement 802.11ac. Nous avons, ensuite, étudié les travaux de recherches existants spécifiques au regroupement de canaux et aux méthodes d'accès multicanaux.

Au meilleur de notre connaissance, il ressort qu'aucun de ces travaux n'a traité le problème de famine des catégories d'accès BK et BE qui existe dans la 802.11e et qui persiste dans la 802.11ac.

Dans le chapitre suivant, nous proposons une nouvelle méthode d'accès multicanaux permettant la résolution du problème cité précédemment.

Chapitre 3

Proposition, et évaluation de performance d'une nouvelle méthode d'accès MAC

3.1 Introduction

Afin d'améliorer le débit, la norme 802.11ac adopte une technique de regroupement de canaux permettant d'avoir une bande large de 80 MHz ainsi que 160 MHz. Dans ce contexte, deux méthodes d'accès ont été définies : statique et dynamique.

L'étude de ces deux dernières a permis de situer leurs inconvénients notamment celui de l'accès dynamique qui est l'inexploitation des canaux secondaires libérés lors de la transmission. Cette insuffisance peut, cependant, être utilisée pour résoudre le "problème de famine" qui concerne les classes BK et BE introduit par EDCA.

Dans ce chapitre, nous proposons d'améliorer l'accès dynamique au profit des classes BK et BE tout en gardant l'accès dynamique existant pour les classes ayant gagné la TXOP (VO, VI). Pour évaluer notre proposition, nous avons opté pour la simulation afin d'analyser les performances en termes de débit de chaque ACs notamment celui de BK et BE.

3.2 Problématique et motivations

Le principe de priorité introduit dans le mécanisme EDCA du 802.11e basé sur la différenciation de service a permis d'assurer la qualité de service QoS exigée par certaines applications. En effet, la particularité de l'EDCA réside dans son utilisation de trois para-

mètres de contention :

- Une durée $AIFS[i]$ qui est le temps d'attente avant la contention.
- Une valeur de fenêtre de contention $CW[i]$ qui est la durée de contention.
- Une durée $TXOPLimit[i]$ permettant la transmission de plusieurs trames.

L'indice " i " correspond aux différentes catégories d'accès (ACs) définies par EDCA car chaque AC possède ses propres paramètres EDCA selon lesquelles la priorité est accordée. Cependant, l'ordre de priorité associé aux quatre catégories d'accès qui est, par ordre décroissant, " Voix, Vidéo, Best Effort, Background " favorise les classes VO et VI, de haute priorité, en leur donnant la possibilité d'accéder rapidement au canal grâce aux valeurs faibles de leur AIFS et CW ainsi que la possibilité d'envoyer plusieurs trames grâce à la longue durée de leur TXOPLimit. Mais, cet ordre défavorise les classes BK et BE, de faible priorité, car le canal radio est souvent occupé par des classes plus prioritaires donc elles y accèdent rarement et si elles y accèdent elles ne peuvent envoyer qu'une seule trame à cause de la valeur nulle de leur TXOPLimit. Tout cela provoque, donc, le problème de famine qui prive ces classes de transmettre. Certes, les classes VO et VI nécessitent une transmission de trames importantes prioritairement, mais pas au détriment des classes BK et BE car les trames de ces dernières doivent tout de même être transmises.

Bien que la norme IEEE 802.11ac ait été ratifiée, en 2014, pour offrir un très haut débit dans un réseau WLAN, le problème de famine des classes BK et BE persiste toujours. En effet, la norme IEEE 802.11ac introduit dans la couche PHY deux mécanismes pour atteindre le débit de 7 Gbps. Le premier se présente par la technologie MU-MIMO qui permet l'envoi de plusieurs flux de donnée vers plusieurs récepteurs. Quant au deuxième, il s'agit de la technique de regroupement de canaux qui permet de regrouper un certain nombre de canaux afin d'avoir la bande large de 80 MHz.

Par contre, au niveau MAC, l'IEEE 802.11ac prévoit la technique du TXOP Sharing qui permet de supporter la transmission simultanée dans le mécanisme MU-MIMO, ainsi que les méthodes d'accès statique SMA (Static Method Access) et dynamique DMA (Dynamic Method Access) afin d'exploiter le regroupement de canaux cité ci-dessous.

Finalement, malgré toutes les améliorations fournies par la norme IEEE 802.11ac, elle n'a pas apporté d'améliorations pour l'état critique des classes BK et BE.

3.3 Objectif et Démarche

Dans notre travail, nous avons pour objectif d'apporter des modifications dans les méthodes d'accès multicanaux existantes (standards) afin de donner la chance aux classes BK et BE de profiter de la transmission multicanaux et par conséquent augmenter leurs débit. Notre démarche consiste à profiter de la bande large offerte par la couche PHY du 802.11ac pour consacrer une partie de cette dernière au profit des classes BE et BK.

3.4 Proposition d'une nouvelle méthode MAC multicanaux

3.4.1 Proposition

En vue de la persistance du problème de famine des classes BK et BE dans les méthodes d'accès SMA et DMA, nous proposons dans ce mémoire de master d'améliorer l'accès dynamique de telle sorte que les canaux secondaires qui seront libres pendant un temps PIFS soient assignés aux stations moins prioritaires BK et BE, tout en gardant l'accès dynamique inchangé pour les stations plus prioritaires VO et VI.

En effet, dans notre méthode "EDMA avec QoS", parmi toutes les Acs qui concourent pour accéder au canal large 80 MHz, une seule gagne une durée TXOP qui sera exploitée, dans un premier temps, par une seule catégorie d'accès. Donc, avant d'accéder au canal de 80 MHz, la station émettrice écoute le canal primaire pendant un temps AIFS. Si ce canal est détecté libre, elle génère un temps backoff et écoute le canal primaire pour chaque slot de temps, puis écoute les canaux secondaires pendant un temps PIFS juste avant l'expiration du backoff. Dans le cas où l'un des canaux secondaires est occupé, la station VO ou VI se contente de transmettre dans les canaux disponibles adjacents au canal primaire. Durant la TXOP, la station émettrice envoie plusieurs A-MPDUs en rafale, et à chaque réception d'un A-MPDU, la station réceptrice envoie un BA après un temps SIFS, ainsi la station continue sa transmission en rafale jusqu'à l'expiration de sa TXOP.

Cependant, puisque durant la transmission des A-MPDUs sur le canal disponible, des canaux secondaires peuvent se libérer à tout moment, il est possible de profiter de ces canaux libres afin de donner la chance aux ACs BK et BE de pouvoir transmettre de façon équitable sur ces canaux. C'est dans cet objectif s'inscrit notre proposition d'une nouvelle méthode d'accès multi-canaux. Pour ce faire, la catégorie d'accès de haute priorité (VO

ou VI) ayant gagné l'accès multicanaux sur un certain nombre de canaux (canal primaire et $2^k - 1$ canaux secondaires), peut tenter de gagner un ou plusieurs canaux secondaires parmi $Nc - 2^k$, afin de les attribuer aux catégories d'accès non prioritaires (BE et BK). C'est pourquoi, l'AC propriétaire de la TXOPLimit en cours écoute avec persistance tous les canaux secondaires qui ne sont pas concernés par sa transmission, et dès que l'un ou plusieurs de ces canaux deviennent libres, ils sont immédiatement affectés à tour de rôle aux ACs BE et BK. En d'autres termes, la catégorie d'accès propriétaire de la TXOPLimit affecte les canaux secondaires qui viennent de se libérer aux ACs BK et/ou BE afin que l'une d'elles l'exploite pour la transmission de ses A-MPDUs et ce jusqu'à l'expiration de la TXOPLimit de l'AC (VO ou VI) propriétaire de cette dernière. Nous pouvons distinguer deux scénarios :

- L'AC prioritaire gagne un canal de 20 MHz : ceci signifie que le SCH1 (Secondary channel 1) est occupé et les autres (SCH2 et SCH3) sont soit libres soit occupés.
- L'AC prioritaire gagne un canal de 40 MHz : ceci signifie que l'un des canaux SCH2 ou SCH3 est détecté occupé.

Durant l'écoute persistante des canaux secondaires occupés :

- Si l'AC prioritaire gagne 1 canal libre de 20 MHz, elle l'affecte à BE ou à BK.
- Si l'AC prioritaire gagne 2 canaux libres de 20 MHz, elle attribue un canal à BE et un autre à BK.
- Si l'AC prioritaire gagne 3 canaux libres de 20MHz, elle attribue 2 canaux à BE et l'autre à BK.

3.4.1.1 Exemple de fonctionnement

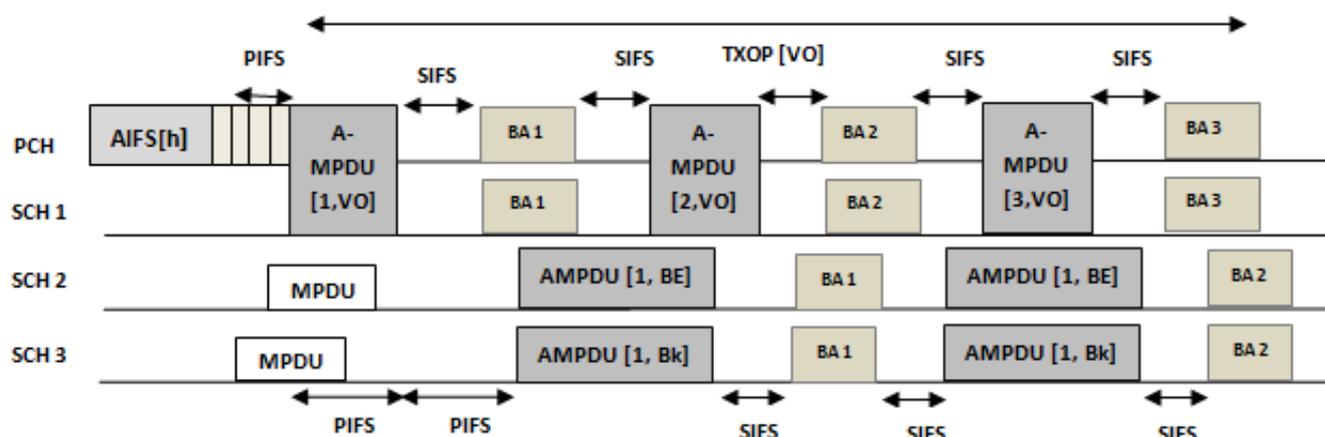


FIGURE 3.1 – Exemple de fonctionnement de la méthode proposée EDMA avec Qos

Dans cet exemple (figure 3.1), la station 802.11ac (AC VO) tente l'accès multicanaux selon ses paramètres EDCA, c'est à dire, elle écoute le canal primaire pour une durée AIFS, elle le trouve libre et elle génère un temps backoff. Juste avant l'expiration de ce dernier, elle écoute tous les canaux pour chaque slot de temps durant une durée PIFS et elle détecte les canaux secondaires 2 et 3 occupés par des stations 802.11a/n. De ce fait, elle accède à un canal étroit de 40MHz pour la transmission de sa rafale d'A-MPDUs. Selon notre méthode, dès que l'AC prioritaire commence la transmission, elle écoute de manière persistante les canaux détectés occupés auparavant (les canaux secondaires 2 et 3). Après deux PIFS, elle les retrouve tout les deux libres, elle affecte à chacune des ACs BE et BK un canal de 20 MHz de manière équitable. Ces ACs vont donc profiter de transmettre une rafale d'A-MPDU jusqu'à l'expiration de la durée TXOP de l'AC prioritaire (dans ce cas, c'est VO).

3.4.2 Algorithme de la méthode proposée

Dans cette section, nous donnons le détail de fonctionnement de notre méthode d'accès MAC multicanaux 802.11ac en indiquant les principales phases de l'exécution de l'algorithme tel que l'accès au canal, le regroupement des canaux et la transmission en rafale des A-MPDUs.

3.4.2.1 Variables utilisées dans l'algorithme

Variables utilisées	Description
AC[h]	Catégories d'accès \in [VO, VI, BE, BK]
K	$K \in [0, 3]$ indiquant le nombre 2^K canaux de 20 MHz
i	Nombre de retransmission
j	Indice de l'AMPDU transmis par l'AC[h]
e	Indice de l'AMPDU transmis par l'AC (BK et BE)
NC	Nombre total de canaux (4 ou 7) selon la bande passante (80,160) MHz
NS	Nombre total de canaux secondaires utilisées par l'AC[h]
TXOPLimit[h]	La durée TXOP de l'AC[h]
T_{TXOP}	La durée TXOP restante de l'AC [h]
BO	La durée du backoff
AIFS[h]	La durée AIFS de l'AC [h]
AMPDU[j,h]	L'AMPDU j de l'AC[h]
AMPDU [e,BE]	L'AMPDU e de l'AC BE
AMPDU [e,BK]	L'AMPDU e de l'AC BK
AIFS[h]	La durée AIFS de l'AC [h]
AMPDU[j,h]	L'AMPDU j de l'AC[h]
AMPDU [e,BE]	L'AMPDU e de l'AC BE
AMPDU [e,BK]	L'AMPDU e de l'AC BK
S_{AG}	Le nombre de canaux secondaires à gagner pour l'AC BK ou BE
BA[j,h]	L'acquittement j de la AC [h]
CWmin[h]	La fenêtre de contention minimale de l'AC[h]
m[h]	Nombre maximum de retransmission
TA-MPDU[j,h]	Temps de transmission de L'AMPDU j de l'AC[h]
TA-BA[j,h]	Temps de transmission de l'acquittement j de la AC [h]
cpBE	Variable indiquant le nombre de canaux assignés à l'AC BE
cpBK	Variable indiquant le nombre de canaux assignés à l'AC BK

TABLE 3.1 – Variables utilisées dans l'algorithme

3.4.2.2 L'algorithme et sa description

Algorithm 1 Notre Méthode EDMA

Arrivée d'une succession d'A-MPDUs dans la file d'une AC[h]; $NC = 2^K K \in [0, 3]$;
 $NS = NC - 1$; $CW = CW_{min}[h]$; $S_{AG} = 0$
 $T_{TXOP} = TXOPLimit[h]$; $j = 1$; $e = 1$; $cpBE = 0$; $cpBK = 0$;

Begin

```
1:  $BO \leftarrow \text{Random}[0, CW - 1]$ ;  
2: if  $BO \geq PIFS$  then  
3:   repeat  
4:     Écouter le canal primaire durant une durée AIFS [h];  
5:   until le canal primaire soit libre  
6:   while  $BO \neq PIFS$  do  
7:     Écouter le canal primaire durant un slot time;  
8:     if le canal primaire est libre then  
9:        $BO \leftarrow BO - 1$ ;  
10:    else  
11:      Aller à (3);  
12:    end if  
13:  end while  
14:  while  $BO \neq 0$  do  
15:    Écouter et calculer  $2^K - 1$  de NS libres et adjacents au canal primaire durant un  
    time slot ;  
16:    if le canal primaire est libre then  
17:       $BO \leftarrow BO - 1$ ;  
18:       $NS \leftarrow \min(NS, 2^K - 1)$ ;  
19:    else  
20:       $NS \leftarrow NC - 1$ ;  
21:      Aller à (2);  
22:    end if  
23:  end while
```

```

24:  repeat
25:      Commencer la transmission  $A - MPDU[j, h]$  sur  $NS + 1$  canaux;
26:      if (h=VO) ou (h=VI) then
27:          if ( $NS < NC - 1$ ) then
28:              repeat
29:                  Écouter et calculer  $S_{AG}$  canaux secondaires libres pour une durée PIFS;
30:              until (tous les canaux secondaires soit occupés);
31:          end if
32:          if ( $S_{AG} = 1$ ) then
33:              if ( $cpBK > cpBE$ ) then
34:                  Commencer la transmission  $A - MPDU[e, BE]$  sur  $S_{AG}$  canaux;
35:                   $(cpBE) \leftarrow (cpBE + 1)$ ;
36:              else
37:                  Commencer la transmission  $A - MPDU[e, BK]$  sur  $S_{AG}$  canaux;
38:                   $cpBE \leftarrow cpBK + 1$ ;
39:              end if
40:          else if ( $S_{AG} = 2$ ) then
41:              Commencer la transmission  $A - MPDU[e, BE]$  sur 1 canal de 20MHz;
42:              Commencer la transmission  $A - MPDU[e, BK]$  sur 1 canal de 20MHz;
43:               $cpBE \leftarrow cpBE + 1$ ;
44:               $cpBE \leftarrow cpBK + 1$ ;
45:          else
46:              Commencer la transmission  $A - MPDU[e, BK]$  sur 1 canal de 20MHz;
47:              Commencer la transmission  $A - MPDU[e, BE]$  sur 2 canaux de 20MHz re-
groupés;
48:               $cpBE \leftarrow cpBE + 1$ ;
49:               $cpBE \leftarrow cpBK + 1$ ;
50:          end if
51:      end if
52:      Attente SIFS;
53:      if (BA[j,h] est reçu) then
54:           $T_{TXOP} = T_{TXOP} - (T_{A-MPDU[j,h]} / (NS + 1)) + SIFS + T_{BA[j,h]}$ ;
55:           $j \leftarrow j + 1$ ;
56:      Attente SIFS;

```

```

57:  else
58:       $i \leftarrow i + 1$ ;
59:      if ( $i < m[h]$ ) then
60:          if ( $CW < CW_{\max}[h]$ ) then
61:               $CW \leftarrow CW * 2$ ;
62:          end if
63:          Aller à (1);
64:      else
65:          Détruire;
66:      end if
67:  end if
68:  until  $T_{TXOP} \leq (SIFS + (T_{A-MPDU[j,h]}/(NS + 1)) + SIFS + T_{BA[j,h]})$ ;
69:  repeat
70:      Écouter le canal primaire Durant un temps ( $AIFS[h] - (PIFS - BO)$ );
71:  until ce que le canal primaire soit libre
72: else
73:  Écouter et calculer  $2^K - 1$  de NS libres et adjacents au canal primaire durant ( $PIFS - BO$ );
74:  if (le canal primaire est libre) then
75:      Aller à (17);
76:  else
77:      Aller à (66);
78:  end if
79: end if
80: end

```

La description :

1. Avant d'accéder au canal pour transmettre, L'AC [h] tire un BO à partir de la valeur minimale de sa fenêtre de contention CW_{min} ;
2. Pour le cas $BO \geq PIFS$: la station écoute le canal primaire PCH pour une AIFS [h], jusqu'à ce qu'a ce qu'il soit libre ;
3. Pour le cas $BO > PIFS$: l'AC [h] écoute le canal PCH pour chaque slot de temps, et si elle le détecte libre, elle décrémente la valeur de BO ;
4. $BO > 0$: Si $BO = PIFS$, L'AC [h] écoute tous les canaux pour chaque slot de temps. Si au moins un SCH est détecté occupé, elle continue à écouter et calcule le nombre de SCHs libres à chaque slot de temps du BO pour pouvoir transmettre sur un canal étroit.
5. $BO = 0$: Début de la transmission rafale. Dès que l'AC primaire entame sa transmission, elle écoute de manière persistante et calcule le nombre de canaux secondaires S_{AG} devenus disponibles parmi ceux qu'elle n'a pas pu utiliser à cause de leurs occupations par des stations Legacy. Selon le nombre obtenu (1, 2 ou 3), elle regroupe 2 SCHs dans le cas de 3, et l'affecte à une AC secondaire (BE ou Bk) selon son compteur afin qu'elle transmette sa trame et profiter de la durée TXOP de l'AC primaire pour transmettre le reste de ses trames en rafale avant l'expiration de cette durée ;
6. Après chaque transmission d'un A-MPDU, chaque AC attend l'acquittement BA tel que s'il n'était pas reçu après un certain nombre de retransmissions, l'AMPDU sera détruit ;
7. Pour le cas $BO < PIFS$: L'AC [h] écoute le canal primaire pendant une durée $AIFS - (PIFS - BO)$, et si elle le trouve libre, elle écoute et calcule les canaux secondaires adjacents au canal primaire durant un temps $PIFS - BO$, et calcule le nombre de canaux disponibles est les regroupent avec le canal primaire et ainsi la transmission commence dès que le backoff s'annule et continue avec les mêmes étapes décrites dans le premier cas.

3.5 Évaluation de performance

3.5.1 Outil de simulation

Afin d'analyser les performances de la méthode d'accès améliorée, nous avons développé un simulateur en langage C sous linux, où nous avons intégré les deux méthodes d'accès statique et dynamique ainsi que notre méthode proposée. En raison d'appartenance du protocole IEEE 802.11 à la famille des algorithmes de communication asynchrone qui s'exécutent d'une manière parallèle et concurrentielle par les différents mobiles du réseau pour accéder au canal radio, nous avons opté pour la programmation multithread avec le langage C sous linux pour développer notre simulateur. Celui-ci est basé sur le simulateur 802.11 ANSRE (802.11 Ad-hoc Network Simulator in a Radio Environment) [27].

3.5.2 Paramètres de simulation

Pramètres utilisés	Valeur (unité)
Taille d'un MSDU	5500 octets
Taille d'un MPDU	5547 octets
Taille d'un A-MPDU	88752 octets
Taille d'un BA	40 octets
Temps de propagation d'un signal	1us
Durée PIFS	25 us
Durée SIFS	16 us
Temps d'un slot vide	9 us
Bas débit : (sur 20 MHz)	52 Mbits/s
Haut débit :(sur 20 MHz)	624 Mbits/s

TABLE 3.2 – Pramètres utilisés pour la simulation

3.5.3 Interprétation des résultats

Nous avons fait deux études comparatives entre les débits individuels obtenus avec la méthode dynamique existante et ceux obtenus avec notre méthode. Les points étudiés sont :

- Variation des débits individuels suivant le taux d'occupation des canaux secondaires,
- Variation des débits individuels suivant la taille de la TXOP.

3.5.3.1 Les débits individuels en fonction du taux d'occupation des canaux secondaires

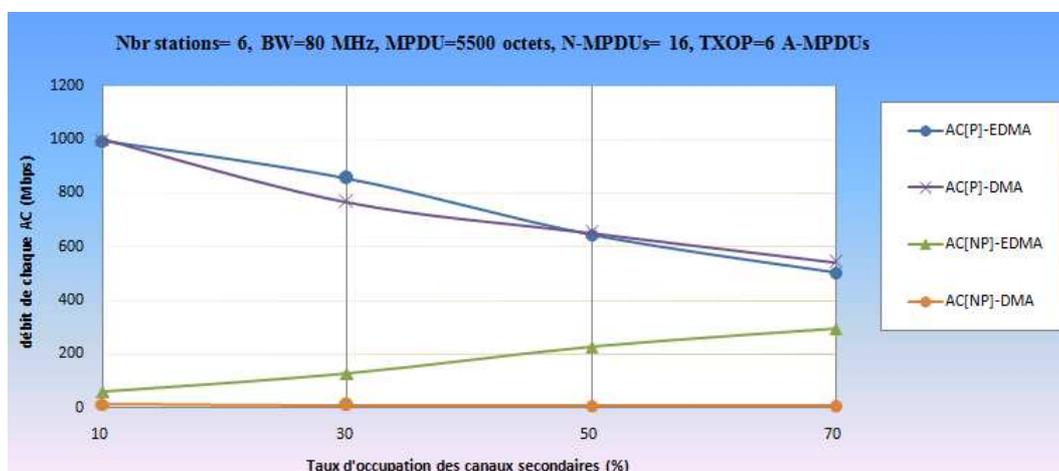


FIGURE 3.2 – Variation des débits individuels suivant le taux d'occupation des canaux secondaires

Dans un premier temps, nous observons la variation du débit de chaque catégorie d'accès (prioritaire et non-prioritaire) suivant le temps d'occupation des canaux secondaires sur un canal de 80 MHz (figure 3.2), en fixant le nombre de stations à 6 afin d'avoir un réseau non dense et par suite diminuer le nombre de collisions.

Pour le cas de la catégorie d'accès prioritaire AC[P], nous remarquons que les débits obtenus dans les deux méthodes DMA (l'accès dynamique) et EDMA (notre méthode) se rapprochent sensiblement, ceci s'explique par le fait que nous avons gardé l'accès dynamique pour les ACs prioritaires dans notre méthode. Cependant les débits de cette AC[P] diminuent dans les deux méthodes car, plus les canaux secondaires sont occupés, plus il devient difficile de gagner plus de canaux.

Pour le cas de la catégorie d'accès non-prioritaire AC[NP], nous remarquons que le débit obtenu avec DMA est trop faible, ce qui confirme le problème de famine de cette classe qui n'accède que rarement et ne peut envoyer qu'un seul AMPDU.

Par contre, nous obtenons un meilleur débit pour la classe AC[NP] grâce à la croissance du nombre de canaux qui se sont libérés pendant la transmission en rafale des AMPDUs par l'AC[P] et donc non exploités par cette dernière, mais exploités par l'AC[NP] pour profiter de transmettre ses AMPDUs jusqu'à l'expiration de la TXOP[P].

3.5.3.2 Les débits individuels en fonction de la taille de la TXOP

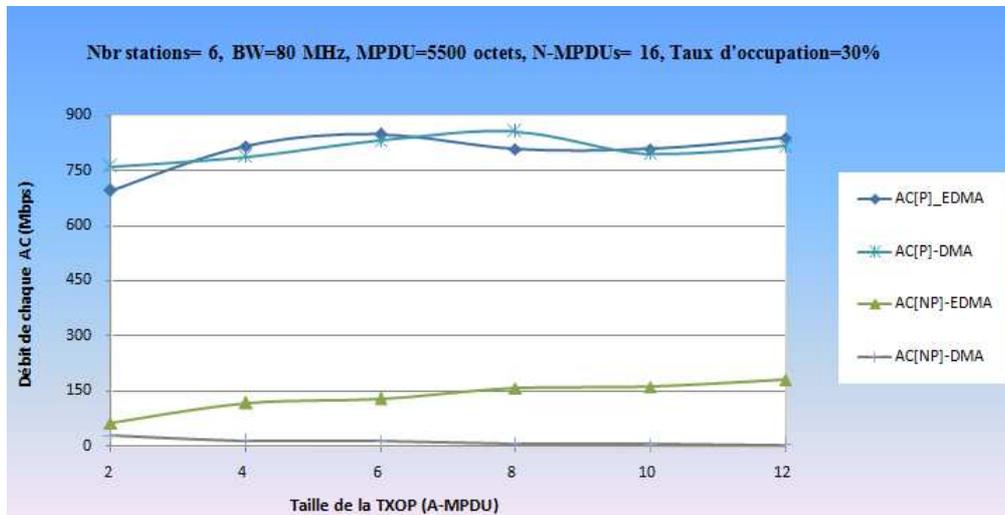


FIGURE 3.3 – Variation des débits individuels suivant la taille de la TXOP

La figure 3.3 illustre la variation du débit de chaque catégorie d'accès (prioritaire et non prioritaire) suivant la taille de la TXOP dans les deux méthodes d'accès DMA et EDMA. Pour le cas de l'AC[P], les débits obtenus se rapprochent aussi dans ce scénario pour les deux méthodes pour la même raison que dans le scénario précédent.

Pour le cas de l'AC[NP], nous remarquons que le débit de l'accès dynamique DMA est trop faible à cause du problème de famine. Par contre, avec EDMA le débit de cette AC s'est nettement amélioré grâce à l'exploitation de la TXOP de l'AC[P].

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une méthode d'accès MAC multicanaux qui aide à lutter contre le problème de famine des catégories d'accès BK et BE qui ont, tout de même, des trames importantes à transmettre.

D'après les résultats de la simulation basée sur notre proposition, nous concluons que le débit de l'AC non prioritaire (BK ou BE) s'est nettement amélioré comparé au débit obtenu en utilisant la méthode dynamique existante.

Conclusion générale

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de la nouvelle norme IEEE 802.11ac des réseaux locaux sans fil WLANs, plus particulièrement, à la technique du regroupement de canaux définie dans cette norme, qui permet de former des canaux plus larges afin de les utiliser pour les transmissions et ainsi augmenter les performances en termes de débit. Pour cela, nous avons entamé cette étude par la présentation du standard 802.11 ainsi que son évolution au fil des années, en indiquant les principales améliorations apportées. Puis, nous avons fourni une description détaillée (PHY et MAC) de la norme 802.11ac : le regroupement de canaux, la DL MIMO, le TXOP sharing et les méthodes d'accès (statique et dynamique). Enfin, nous avons fait une synthèse des travaux de recherche sur les méthodes d'accès MAC multi-canaux. Notre étude critique a soulevé un inconvénient considérable lié à l'accès dynamique. Il s'agit de la mauvaise exploitation de la bande large, notamment dans le cas de la taille importante de l'AMPDU.

L'idée consiste à exploiter les canaux secondaires qui se sont libérés et qui n'ont pas pu être exploités par la station prioritaire (VO, VI), au profit des stations non prioritaires (BE et BK) afin de leur donner la chance de transmettre et ce jusqu'à l'expiration de la TXOP de la station ayant gagné l'accès initialement (par l'accès dynamique existant). Pour évaluer les performances de notre proposition, notamment le débit de chaque catégorie d'accès (AC), nous avons effectué des simulations en utilisant un simulateur développé en langage C sous linux.

Les résultats de la simulation montrent que notre proposition améliore considérablement les débits des ACs BK et BE, et ainsi le débit global.

Pour finir, nous proposons quelques perspectives :

- Étendre la méthode proposée sur un canal de 160 MHz.
- Étudier la priorité de l'AC BE par rapport à l'AC BK.

Bibliographie

- [1] "*Techniques de l'Ingénieur*", < <http://www.techniques-ingenieur.fr/> >, Consulté le 01/03/2017.
- [2] Lisa Ward, "*802.11ac Technology Introduction*", 7e édition, Rohde and Schwarz, 2012.
- [3] Aurélien Géron, "*Wifi professional - 3e édition : La norme 802.11, le déploiement , la sécurité*", Dunod (2009).
- [4] Matthieu Gast, "*802.11ac : A survival guide*", O'reilly 2013.
- [5] Youssef Moustafa, Vasan Arunchandar, and Miller, Raymond E, "*Specification and analysis of the dcf and pcf protocols in the 802.11 standard using systems of communicating machines*", In : Network Protocols, 2002, Proceedings. 10th IEEE International Conference on. IEEE, p. 132-141 (2002).
- [6] Khaled Dridi, "*Spécification du protocole MAC pour les réseaux 802.11e différenciation de services sous contraintes de mobilité*", Thèse de doctorat en Informatique, Université de Paris-Est-Créteil-Val-de-Marne (2011).
- [7] El Masri Mohamed, "*Contribution à la qualité de service dans les réseaux d'accès sans fil*", thèse de doctorat en informatique, INSA de Toulouse (2009).
- [8] Gilbert Habib, "*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).
- [9] Villasnor Gonzalez, Portillo Jimenez, and Sanchez Garcia, "*A performance study of the IEEE 802.11g PHY and MAC layers over heterogeneous and homogeneous WLANs*", Ingeniera investigacion tecnologica, p. 45-57 (2007).
- [10] Charfi Emna, Chaari Lamia, and Kamoun Lotfi, "*PHY/MAC enhancements and QoS mechanisms for very high throughput WLANs : A survey*", IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 15, no 4, p. 1714-1735 (2013).

- [11] Yang Xiao, "*Enhancements for higher throughput in Wireless LANs*", IEEE Communications Wireless communication, no 6, p. 89-91 (2005).
- [12] "802. 11ac : The Fifth Generation of Wi-Fi", Technical White Paper (2014).
- [13] Tickoo Omesh, and Sikdar Biplab, "*On the impact of IEEE 802.11 MAC on traffic characteristics*". IEEE Journal on Selected areas in communications, vol. 21, no 2, p. 189-203 (2003).
- [14] Bejarano Oscar, Edward Knightly, and Park Minyoung, "*IEEE 802.11 ac : from channelization to multi-user MIMO*" IEEE Communications Magazine 51.10, p. 84-90 (2013).
- [15] Yazid Mohand, Ksentini Adlen, Bouallouche-Medjkoune Louiza, and Aissani Djamil, "*Enhancement of the TXOP sharing designed for DL-MU-MIMO IEEE 802.11 ac WLANs*", Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), p. 908-913 (2015).
- [16] Mammeri Souhila, and Mazouz Asma, "*Sur les méthode d'accès MAC multicanaux : Étude, proposition et évaluation des performances*", mémoire de master en Informatique, Université de Béjaia (2014).
- [17] Nada Chendeb Taher, "*Modélisation analytique et contrôle d'admission dans les réseaux 802.11e pour une maîtrise de la qualité de service*", Thèse de doctorat en Informatique, Université d'Evry Val d'Essonne, 2009
- [18] "IEEE 802.11.ac : The next evolution of Wi-Fi standards", Qualcomm Incorporated (2012).
- [19] Park Minyoung, "*IEEE 802.11 ac : Dynamic bandwidth channel access*", In : Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, p. 1-5 (2011).
- [20] Gong Michelle X., Hart Brian, Xia Liangfu, et Want roy, "*Channel bounding and MAC protection mechanisms for 802.11a*", Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), IEEE, p. 1-5 (2011).
- [21] Stelter Andrzej, "*Efficient access to extended channel bandwidth in wireless LAN*", Electronics Letters, vol. 49, no 21, p. 1356-1358 (2013).
- [22] Huang Pei, Yang Xi, and Xiao Li, "*Dynamic channel bonding in multicarrier wireless networks*", Network Protocols (ICNP), 2013, 21st IEEE International Conference on. IEEE, p. 1-10 (2013).
- [23] Stelter Andrzej, "*Channel width selection scheme for better utilisation of WLAN bandwidth*", Electronics Letters, vol. 50, no 5, p. 407-409 (2014).

- [24] Stelter Andrzej, Szulakiewicz Pawel, Kotrys Robert, Krasicki Maciej, and Remlein Piotr, " *Dynamic 20/40/60/80 MHz Channel Access for 80 MHz 802.11 ac*", Wireless Personal Communications, vol. 79, no 1, p. 235-248 (2014).
- [25] Fang Juan, and I-Tai Lu, " *Efficient channel access scheme for multiuser parallel transmission under channel bonding in IEEE 802.11 ac*", IET Communications, vol. 9, no 13, p. 1591-1597 (2015).
- [26] Kim Woojoong, Jae-Pil Jeong, and Young-Joo Suh, " *Delayed Dynamic Bandwidth Channel Access scheme for IEEE 802.11 ac WLANs*", Information Networking (ICOIN), 2017 International Conference on. IEEE, p. 70-75 (2017).
- [27] Yazid Mohand, and Ziane Khodja Lilia, " *Analyse des performances du standard IEEE 802.11 mode ad hoc dans un environnement radio : de la modélisation analytique à la simulation*", mémoire d'ingénieur en Informatique, Université de Béjaia (2008).

Résumé

L'IEEE 802.11ac est une norme WLAN émergente à très haut débit (VHT) qui pourrait atteindre un débit de près de 7 Gbps pour la bande de 5 GHz. Dans ce travail, nous présentons les principales améliorations PHY et MAC de la norme 802.11ac par rapport aux normes qui la précèdent, notamment la norme 802.11n qui permet l'évolution vers des débits plus élevés. Nous nous intéressons exactement aux améliorations MAC 802.11ac, plus particulièrement, aux méthodes d'accès proposées dans cet amendement (les méthodes statique et dynamique) afin d'exploiter la bande large de 80 MHz (et de 160 MHz). De ce fait, nous avons proposé une méthode qui améliore l'accès dynamique en donnant la chance à des catégories d'accès (ACs) moins prioritaires de transmettre simultanément avec celles prioritaires. Les résultats de la simulation montrent que notre méthode est efficace et améliore nettement le débit des ACs moins prioritaires.

Mots-clés : IEEE 802.11ac, améliorations MAC, méthode d'accès multicanaux, problème de famine, simulation.

Summary

The IEEE 802.11ac is an emerging very high throughput (VHT) WLAN standard that could achieve PHY data rates of close to 7 Gbps for the 5 GHz band. In this work, we present the main enhancements PHY and MAC of the standard 802.11ac compared to the standards that preceded it notably the standard 802.11n which allows the evolution towards higher data rates. We are interested in MAC 802.11ac enhancements, in particular the access methods proposed in this amendment (static and dynamic methods) in order to exploit the 80 MHz (and 160 MHz) bandwidth. As a result, we have proposed a method that improves dynamic access by allowing the lower priority access categories (ACs) to transmit simultaneously with those with highest priority. The results of simulation show that our proposed method is effective and clearly improves the throughput of lower priority ACs.

Key-words : IEEE 802.11ac , MAC enhancements, multi-channel access, starvation problem, simulation.