



**LIVRE BLANC**

# **Wi-Fi 6**

## **(IEEE 802.11ax)**

Par Ali Jemmali, Ph.D.

---

## TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction .....	2
2	Gamme de fréquences et largeurs de bande des canaux .....	3
3	Caractéristiques de la forme d'onde OFDM .....	3
3.1	Concept d'unités de ressources .....	7
3.2	Calculs du débit de données .....	9
3.3	Concept de coloration BSS .....	12
3.4	Formats PPDU .....	16
4	Wi-Fi 6 étendu .....	18
	À propos d'iBwave .....	20

## 1 Introduction

Depuis la publication, le développement et le succès du premier réseau local sans fil (WLAN) en 1997, appelé IEEE 802.11-1997 par la société professionnelle mondiale, l'Institute of Electrical and Electronics Engineers, communément appelée IEEE, les technologies WLAN n'ont cessé d'évoluer et, à ce jour, plus de 5 normes (IEEE 802.11a/b/g/n/ac) ont été développées pour la couche physique et la couche MAC des technologies WLAN. Ces 5 normes, communément appelées et commercialisées sous le nom de Wi-Fi, sont considérées comme les 5 générations de technologies WLAN. La plupart des normes développées par l'IEEE pour les technologies WLAN ont été conçues pour fonctionner dans les gammes de fréquences connues sous le nom de bandes industrielles, scientifiques et médicales (bandes ISM sans licence) telles que 2,4 GHz et 5 GHz, mais quelques autres normes, telles que 802.11ad/aj, ont été conçues pour fonctionner dans les bandes mmWave (40-60GHz) et 900MHz. De nombreuses autres technologies, telles que 802.11h, 802.11p, ont également été développées, mais elles ne se concentrent pas sur les couches physique et MAC.

L'IEEE 802.11ax est le projet d'amendement le plus récent de l'IEEE qui définit les modifications apportées à la couche physique (PHY) et à la couche de contrôle d'accès au support (MAC) de la norme 802.11 pour les opérations à haute efficacité (HE). Il est considéré comme une évolution naturelle des spécifications Wi-Fi précédentes, la 802.11ac. Par rapport aux cinq générations précédentes de technologies Wi-Fi (802.11a/b/g/n/ac), la norme 802.11ax est considérée comme la sixième génération de technologies Wi-Fi (<sup>th</sup>), d'où son nom de Wi-Fi 6. Comme les normes précédentes, la norme Wi-Fi 6 est destinée à fonctionner dans les bandes de fréquences Wi-Fi traditionnelles, à savoir les bandes de 2,4 GHz et de 5 GHz. Dans les normes et amendements précédents, tels que 802.11n et 802.11ac, l'accent était principalement mis sur le débit de données élevé en introduisant des canaux de fonctionnement plus larges et des schémas de modulation et de codage plus élevés. Toutefois, dans la norme 802.11ax (Wi-Fi 6), l'accent est mis sur l'amélioration des performances de fonctionnement afin de gérer plus efficacement les environnements très denses, d'où le nom de spécification "High Efficiency" (HE). Dans le présent document, les termes Wi-Fi 6 et 802.11ax seront utilisés indifféremment pour désigner la même technologie.

## 2 Gamme de fréquences et largeur de bande des canaux

Contrairement à la technologie 802.11ac, qui ne prend pas en charge la bande de 2,4 GHz, le Wi-Fi 6 est défini pour fonctionner à la fois dans les bandes de fréquences de 2,4 GHz et de 5 GHz. Bien que la bande de 2,4 GHz soit encombrée et très limitée à seulement 3 canaux qui ne se chevauchent pas (1, 6 et 11), elle se caractérise par certains avantages clés qui peuvent encore être exploités. En raison de la fréquence relativement plus basse, la portée à 2,4 GHz est nettement supérieure à celle des fréquences plus élevées. En outre, pour des raisons de coût, de nombreux fournisseurs d'appareils choisissent encore de ne mettre en œuvre que la bande de 2,4 GHz sur de nombreux nouveaux appareils IoT, ordinateurs portables et smartphones afin de réduire les coûts. Par ailleurs, la même largeur de bande maximale de 160 MHz que pour les technologies précédentes est définie pour le Wi-Fi 6. Les mêmes canaux que ceux utilisés pour l'ancienne norme 802.11n/ac sont appliqués à la norme 802.11ax. La largeur de bande des canaux de la norme 802.11ax est également la même que celle de l'ancienne technologie 802.11ac, à savoir 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 80 MHz + 80 MHz et 160 MHz.

## 3 Caractéristiques de la forme d'onde OFDM

Comme les technologies Wi-Fi précédentes, le Wi-Fi 6 utilise les techniques OFDM de base comme forme d'onde RF. L'un des paramètres clés d'une forme d'onde OFDM est la durée des symboles, qui est destinée à lutter contre les interférences entre les symboles en raison de l'étalement du temps de propagation bien connu du canal de propagation. Plus le délai de propagation du canal est élevé, plus la durée du symbole doit être longue. Pour la génération précédente de technologies Wi-Fi, la durée du symbole était définie à 3,2 $\mu$  s. Toutefois, pour répondre aux nouvelles exigences de la nouvelle technologie Wi-Fi 6 en ce qui concerne la robustesse dans les canaux extérieurs et une plus grande efficacité à l'intérieur avec un faible surdébit CP, la durée du symbole a dû être augmentée et a été définie à 12,8 $\mu$  s, ce qui est 4 fois plus long que les technologies précédentes. En outre, ce long symbole OFDM présente l'avantage d'être plus résistant à la gigue interutilisateurs, ce qui est très important pour la transmission UL multi-utilisateurs (MU). La largeur de bande de la sous-porteuse étant inversement proportionnelle à la durée du symbole OFDM, la largeur de bande de la sous-porteuse correspondant aux 3,2 $\mu$  s est de 312,5 KHz. Ainsi, en quadruplant la durée du symbole, la largeur de bande de la sous-porteuse sera réduite quatre fois et, pour le Wi-Fi 6, la largeur de bande de la sous-porteuse est définie comme étant de 78,125 KHz. D'autre part, le nombre de sous-porteuses (tonalités) dans la largeur de bande du canal de 20 MHz pour le nouveau Wi-Fi 6 a également quadruplé pour atteindre 256 au lieu de 64, comme c'était le cas pour 802.11a/b/g/n/ac.

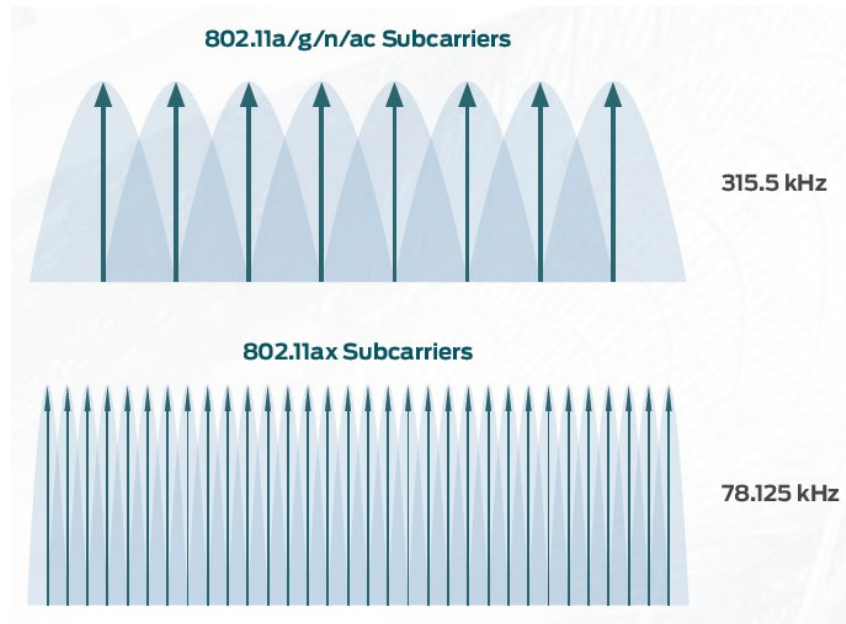


Figure 1: Sous-porteuses dans 802.11ac et 802.11ax

Pour les canaux de 40 MHz, 80 MHz et 160 MHz (80 MHz + 80 MHz), le nombre de sous-porteuses est résumé dans le tableau suivant :

Number of Sub-Carriers				
CBW	$N_{DataSubCarriers}^{CBW}$	Pilot	Unused	Total
20 MHz	234	8	14	256
40 MHz	468	16	28	512
80 MHz	980	16	28	1024
160 MHz	1960	32	56	2048

Tableau 1: Nombre de sous-porteuses de données

Le nombre plus élevé de sous-porteuses (tonalités) permettra l'utilisation de l'OFDMA où plusieurs utilisateurs peuvent être desservis simultanément en partageant les ressources globales. Enfin, l'intervalle de garde est plus souple. Trois valeurs possibles pour l'IG sont définies, à savoir  $0,8\mu s$ ,  $1,6\mu s$  et  $3,2\mu s$ . La valeur courte de  $0,8\mu s$  vise à améliorer l'efficacité dans les déploiements intérieurs, tandis que la valeur longue de  $3,2\mu s$  vise à assurer la robustesse dans le cas plus difficile des scénarios UL MU-MIMO/OFDMA en extérieur. Pour l'UL MU-MIMO en intérieur, la durée de  $1,6\mu s$  peut être efficace. En ce qui concerne les techniques de modulation de la forme d'onde RF OFDM et en plus des anciennes

techniques BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM et 256 QAM, l'amendement 802.11ax a introduit un nouvel ordre de modulation de 1024-QAM. Cet ordre de modulation élevé peut être exploité dans des scénarios d'intérieur avec des conditions de canal SNIR très élevées et un débit de données maximal de 9,6 Gbps peut être atteint en supposant un taux de codage maximal de 5/6, une configuration MIMO avec huit flux spatiaux et une largeur de bande de canal de 160 MHz (ou 80 MHz + 80 MHz). En fait, le nouvel amendement n'augmente pas le nombre de flux spatiaux MIMO et n'élargit pas la largeur de bande du canal. Le nombre maximal de flux spatiaux MIMO est de 8 et la largeur de bande maximale du canal est de 160 MHz, comme c'était le cas dans la norme 802.11ac. Le tableau suivant résume la comparaison entre les anciennes normes 802.11n, 802.11ac et 802.11ax :

802.11ax Signal Characteristics Compared to 802.11n/802.11ac				
	Units	802.11n	802.11ac	802.11ax
Frequency Band	GHz	2, 4 & 5	5 Only	2, 4 & 5
Channel BandWidth (CBW)	MHz	20, 40	20, 40, 80, 80+80, 160	20, 40, 80, 80+80, 160
RF Waveform		OFDM	OFDM	OFDM & OFDMA
SubCarrier Spacing	KHz	312.5	312.5	78, 125
OFDM Symbol Time	ms	3.2	3.2	12.8
Guard Interval	ms	0.4 or 0.8	0.4 or 0.8	0.8, 1.6 or 3.2
Total Symbol Time	ms	4	3.6 or 4	13.6, 14.4, or 16.0
NSC in 20 MHz		64 (52D/4P/8U)	64 (52D/4P/8U)	256 (234D/8P/14U)
Modulation Scheme		BPSK, QPSK, 16QAM, 64 QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64 QAM, 256QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64 QAM, 256 QAM, 1024QAM
MU-MIMO	MU-MIMO	N/A	Downlink	Downlink/Uplink

*Tableau 2: Caractéristiques OFDM de la norme 802.11ax*

Les techniques OFDM sont une technologie mature largement utilisée dans de nombreuses technologies sans fil telles que WiMAX, LTE et 5G. Dans toutes ces technologies, l'OFDM a été adopté avec les techniques d'accès multiple pour le fonctionnement multi-utilisateur et est connu sous le nom d'OFDMA. L'OFDMA est une technologie qui divise le canal en sous-canaux plus petits afin de permettre la transmission simultanée de plusieurs utilisateurs. Afin d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources radio dans le Wi-Fi 6, le nouvel amendement a introduit pour la première fois l'utilisation de l'OFDMA. Cette technique ajoute un nouveau degré de flexibilité à l'utilisation des ressources radio en divisant la largeur de bande globale du canal en plusieurs canaux étroits appelés unités de ressources (RU) et permet la transmission simultanée de petites trames à différents utilisateurs. Par exemple, dans le cas du Wi-Fi 6 avec un canal de 20 MHz ayant un total de 234 sous-porteuses de données (y compris les sous-porteuses pilotes), 9 sous-canaux (RU) avec 26 sous-porteuses de données chacun (y compris les sous-porteuses pilotes) peuvent être utilisés. La différence entre l'OFDM et l'OFDMA est illustrée dans la figure suivante :

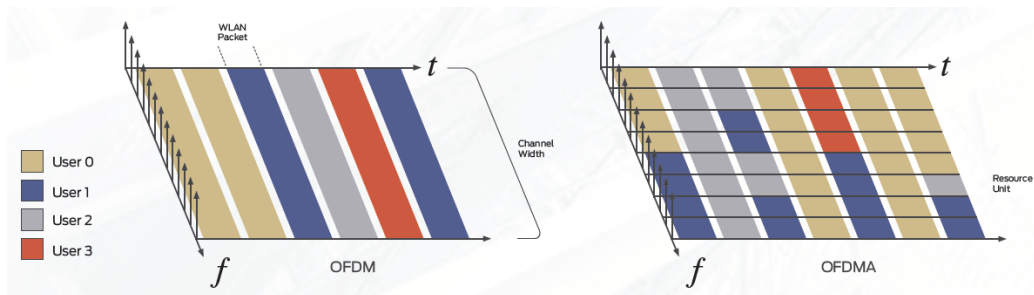
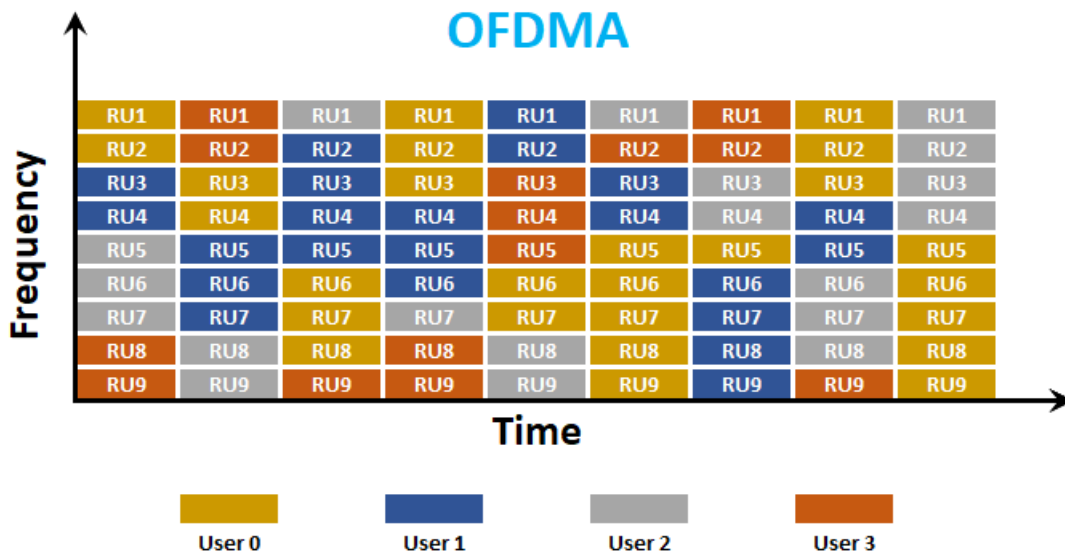
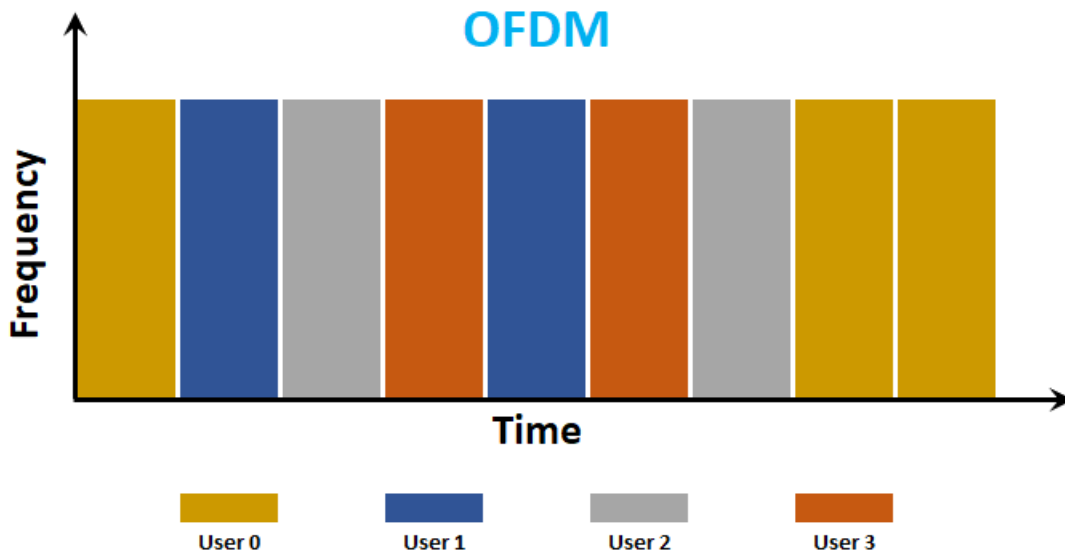


Figure 2: Principes de l'OFDMA dans la norme 802.11ax

Pour illustrer le principe des techniques OFDMA, examinons un exemple simple de transmission en liaison descendante entre un point d'accès et des clients, dans lequel un point d'accès 802.11ax doit transmettre deux trames de données à deux clients 802.11ax différents dans la largeur de bande du canal de 20 MHz. Il convient de noter que l'OFDMA n'est appliqué que pour les échanges de trames de données entre les clients 802.11ax et 802.11ax. L'OFDM est utilisé pour les échanges de trames autres que les données. Comme pour les technologies précédentes, le point d'accès 802.11ax se dispute le support à l'aide de CSMA/CA et CCA et gagne une opportunité de transmission (TXOP) pour l'ensemble de l'échange de trames DL-OFDMA. Une fois que l'AP a gagné un TXOP, il commence à envoyer une trame de demande d'envoi multiutilisateur (MU-RTS) en utilisant l'OFDM (et non l'OFDMA) sur le canal de 20 MHz afin que les anciens clients puissent également comprendre la trame MU-RTS et donc réinitialiser les temporisateurs NAV sur la base de la valeur de durée du MU-RTS et rester inactifs pendant la transmission de la trame de données OFDMA multiutilisateur entre l'AP 802.11ax et les clients 802.11ax. Le MU-RTS est utilisé par l'AP comme trame de déclenchement pour allouer des unités de ressources (RU). Les deux clients 802.11ax envoient ensuite des réponses CTS en parallèle en utilisant les unités de ressources qui leur ont été attribuées. Ce principe est illustré dans la figure suivante :

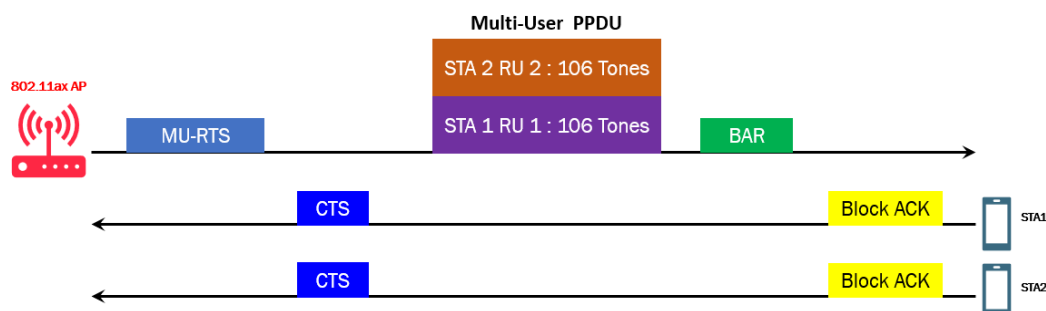


Figure 3: Transmission multi-utilisateurs avec les principes OFDMA

Comme le montre la figure, l'AP commence à transmettre le PPDU DL multi-utilisateur après avoir reçu les réponses CTS des clients. Dans ce cas, l'ensemble des 20 MHz consistant en 242 tonalités (données et pilotes) est divisé en 2 UR de 106 tonalités chacune (données et pilotes). Après avoir reçu leurs données via l'UR qui leur a été attribuée et la trame de demande de bloc ACK du PA, les clients 802.11ax envoient un bloc ACK au PA. Les blocs ACK sont envoyés en parallèle par les deux clients, comme le montre la figure ci-dessus. L'échange de trames entre l'AP est terminé et les deux clients se disputent le support pour un nouveau TXOP.

### 3.1 Concept d'unités de ressources

Dans les anciennes technologies Wi-Fi, 802.11a/b/g/n/ac, lors de l'utilisation d'un canal OFDM de 20



MHz, toutes les sous-porteuses sont utilisées pour chaque transmission. Par exemple, dans la norme 802.11ac, il y a un total de 64 sous-porteuses et elles sont toutes envoyées pour chaque transmission. Toutefois, dans la norme 802.11ax, les 256 sous-porteuses du canal de 20 MHz peuvent être divisées en sous-canaux plus petits. Ces sous-canaux sont appelés unités de ressources (RU).

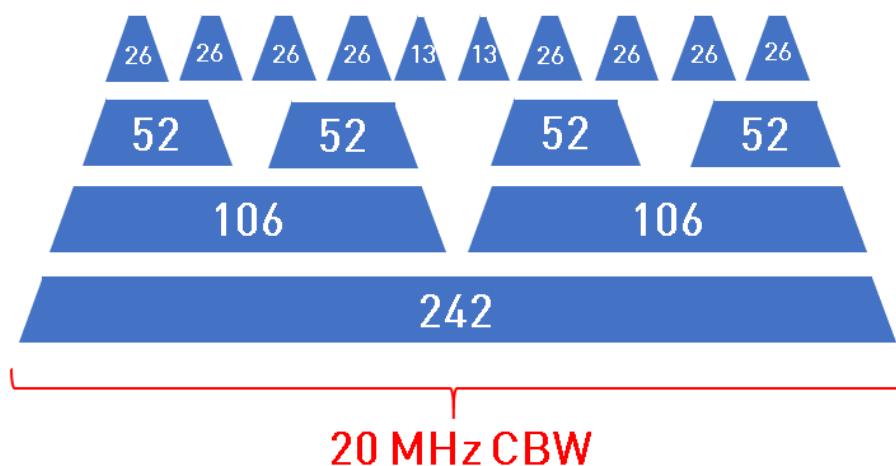


Figure 4: Concept d'unités de ressources pour le CBW de 20 MHz dans la norme 802.11ax

Les nombres possibles d'UR pour chaque largeur de bande de canal sont présentés dans le tableau suivant :

RU Type	20 MHz	40MHz	80MHz	160MHz
26-Tones	9	18	37	74
52-Tones	$4^{+1}$	$8^{+2}$	$16^{+5}$	$32^{+10}$
106-Tones	$2^{+1}$	$4^{+2}$	$8^{+5}$	$16^{+10}$
242-Tones	1	2	$4^{+1}$	$8^{+2}$
484-Tones	NA	1	$2^{+1}$	$4^{+2}$
996-Tones	NA	NA	1	2

Tableau 3: Nombre d'UR pour différents CBW

Par exemple, dans la largeur de bande du canal de 160 MHz, il est possible d'avoir 74 EF avec 26 tonalités, ou 32 EF avec 52 tonalités et 10 EF avec 26 tonalités. Le symbole  $4^{+1}$  signifie qu'il y a 4 des 52 tonalités + 1 des 26 tonalités.

## 3.2 Calculs du débit de données

Le débit de données peut être calculé comme suit :

$$DataThroughput (Mbps) = \frac{N_{DataSubCarriers}^{CBW} \times M^{Order} \times C^{Rate}}{T_{OFDMsymbol}^{Total}}$$

où  $N_{DataSubCarriers}^{CBW}$  représente le nombre de sous-porteuses de données et dépend de la largeur de bande du canal (CBW). Les valeurs possibles sont indiquées dans le tableau 1.

CBW	$N_{DataSubCarriers}^{CBW}$
20 MHz	234
40 MHz	468
80 MHz	980
160 MHz	1960

Tableau 4: Valeurs pour  $N_{DataSubCarriers}^{CBW}$

Le  $M^{Order}$  et le  $C^{Rate}$  représentent respectivement l'ordre de modulation et le taux de codage et sont tirés du tableau suivant :

Mod	Mod Order ( $M^{Order}$ )	Code Rate ( $C^{Rate}$ )
BPSK	1	1/2
QPSK	2	1/2
QPSK	2	3/4
16QAM	4	1/2
16QAM	4	3/4
64QAM	6	2/3
64QAM	6	3/4
64QAM	6	5/6
256QAM	8	3/4
256QAM	8	5/6
1024QAM	10	3/4
1024QAM	10	5/6

**Tableau 5: Valeurs pour  $M^{Order}$  et  $C^{Rate}$** 

Indiquer les légendes des figures et des tableaux sous les figures et les tableaux.

La durée totale d'un symbole OFDM comprend l'intervalle de  $g_{ad}$  et la durée principale du symbole.

$T_{OFDMSymbol}^{Total}$  représente la durée totale d'un symbole OFDM, y compris l'intervalle  $g_{ad}$  et la durée principale du symbole OFDM.

$$T_{OFDMSymbol}^{Total} = T_{OFDMSymbol} + GI$$

Il y a trois valeurs possibles pour le  $T_{OFDMSymbol}^{Total}$  et sont indiquées dans le tableau suivant :

OFDM Symbole Time [μs]	GI [μs]	Total OFDM Symbol Time [μs]
12,8	3,2	16
	1,6	14,4
	0,8	13,6

**Tableau 6: Valeurs des  $T_{OFDMSymbol}^{Total}$** 

Les résultats des calculs de débit pour chaque largeur de bande sont présentés dans les tableaux suivants :

Mod	Mod Order ( $M^{Order}$ )	Code Rate ( $C^{Rate}$ )	3200 ns GI	1600 ns GI	800ns GI
BPSK	1	1/2	7,3	8,1	8,6
QPSK	2	1/2	14,6	16,3	17,2
QPSK	2	3/4	21,9	24,4	25,8
16QAM	4	1/2	29,3	32,5	34,4
16QAM	4	3/4	43,9	48,8	51,6
64QAM	6	2/3	58,5	65,0	68,8
64QAM	6	3/4	65,8	73,1	77,4
64QAM	6	5/6	73,1	81,3	86,0
256QAM	8	3/4	87,8	97,5	103,2
256QAM	8	5/6	97,5	108,3	114,7
1024QAM	10	3/4	109,7	121,9	129,0
1024QAM	10	5/6	121,9	135,4	143,4

Tableau 7: Débit en Mbps pour un CBW de 20 MHz

Mod	Mod Order ( $M^{Order}$ )	Code Rate ( $C^{Rate}$ )	3200 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI
BPSK	1	1/2	14,6	16,3	17,2
QPSK	2	1/2	29,3	32,5	34,4
QPSK	2	3/4	43,9	48,8	51,6
16QAM	4	1/2	58,5	65,0	68,8
16QAM	4	3/4	87,8	97,5	103,2
64QAM	6	2/3	117,0	130,0	137,6
64QAM	6	3/4	131,6	146,3	154,9
64QAM	6	5/6	146,3	162,5	172,1
256QAM	8	3/4	175,5	195,0	206,5
256QAM	8	5/6	195,0	216,7	229,4
1024QAM	10	3/4	219,4	243,8	258,1
1024QAM	10	5/6	243,8	270,8	286,8

Tableau 8: Débit en Mbps pour un CBW de 40 MHz

Mod	Mod Order ( $M^{Order}$ )	Code Rate ( $C^{Rate}$ )	3200 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI
BPSK	1	1/2	30,6	34,0	36,0
QPSK	2	1/2	61,3	68,1	72,1
QPSK	2	3/4	91,9	102,1	108,1
16QAM	4	1/2	122,5	136,1	144,1
16QAM	4	3/4	183,8	204,2	216,2
64QAM	6	2/3	245,0	272,2	288,2
64QAM	6	3/4	275,6	306,3	324,3
64QAM	6	5/6	306,3	340,3	360,3
256QAM	8	3/4	367,5	408,3	432,4
256QAM	8	5/6	408,3	453,7	480,4
1024QAM	10	3/4	459,4	510,4	540,4
1024QAM	10	5/6	510,4	567,1	600,5

Tableau 9: Débit en Mbps pour un CBW de 80 MHz

Mod	Mod Order ( $M^{Order}$ )	Code Rate ( $C^{Rate}$ )	3200 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI
BPSK	1	1/2	61,3	68	72
QPSK	2	1/2	122,5	136	144
QPSK	2	3/4	183,8	204	216
16QAM	4	1/2	245,0	272	288
16QAM	4	3/4	367,5	408	432
64QAM	6	2/3	490,0	544	576
64QAM	6	3/4	551,3	613	649
64QAM	6	5/6	612,5	681	721
256QAM	8	3/4	735,0	817	865
256QAM	8	5/6	816,7	907	961
1024QAM	10	3/4	918,8	1021	1081
1024QAM	10	5/6	1020,8	1134	1201

Tableau 10: Débit en Mbps pour 160 MHz CBW

### 3.3 BSS Coloring Concept

La méthode d'accès fondamentale de toutes les normes 802.11 est la fonction de coordination distribuée

(DCF) et l'accès multiple à détection de porteuse avec prévention des collisions (CSMA/CA) est la base de la DCF. Cette technique impose qu'une seule radio puisse émettre sur le même canal à un moment donné. Une radio 802.11 doit différer sa transmission si elle entend la transmission du préambule au niveau de la couche physique et utiliser la technique Clear Channel Assessment (CCA) pour évaluer le milieu RF. Cette technique CCA consiste à écouter les transmissions RF au niveau de la couche physique et utilise deux seuils différents, à savoir la détection de signal (SD) et la détection d'énergie (ED). Le SD est utilisé pour identifier la transmission de préambule entrante de toute radio 802.11, et il est généralement défini comme un SNR de 4 dB par rapport au bruit ambiant. Par exemple, si le bruit ambiant est de -90 dBm, le seuil SD sera d'environ -86 dBm. L'ED, quant à lui, est utilisé pour détecter toute autre transmission RF non conforme à la norme 802.11 pendant la CCA et est normalement défini comme étant 20 plus élevé que le seuil SD. SD et ED sont utilisés ensemble pour la contention du support RF dans le cadre du mécanisme CCA.

### SD & ED Thresholds

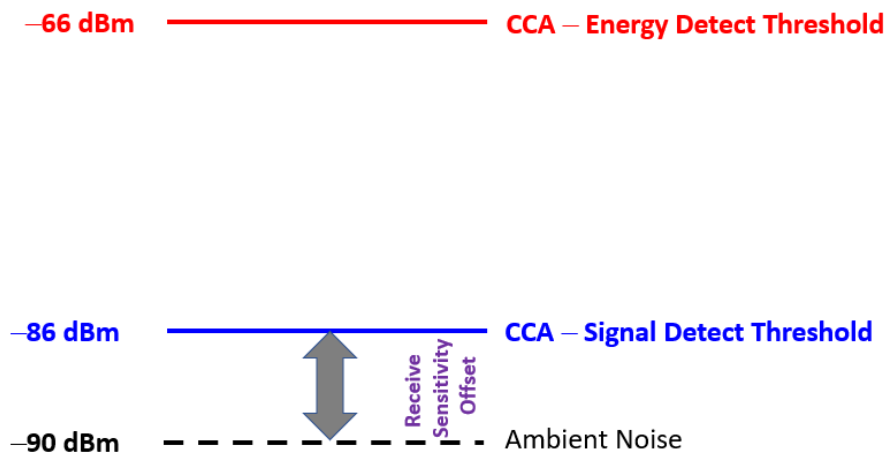


Figure 5: Seuil SD et ED dans l'ACC fixe

Lorsqu'un trop grand nombre de points d'accès et de clients s'entendent sur le même canal, le mécanisme CCA provoque une surcharge de contention inutile. Ce phénomène est appelé Overlapping Basic Service Set (OBSS) et est communément appelé Co-Channel Interference (CCI).

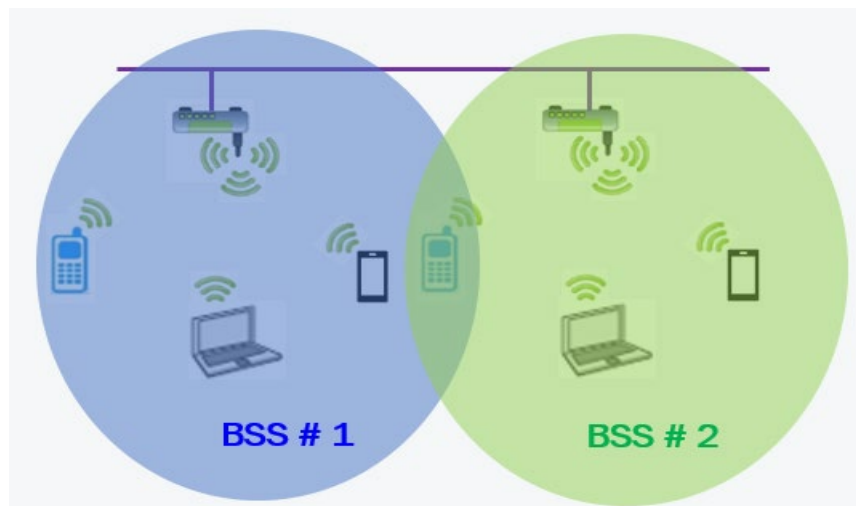


Figure 6: Concept d'ensemble de services de base qui se chevauchent (OBSS)

Dans un scénario à haute densité avec plusieurs points d'accès et plusieurs clients et avec un seuil de SD conservateur du mécanisme CCA et un niveau de puissance d'émission conservateur, le niveau d'interférence entre les points d'accès et les clients est fortement minimisé, ce qui garantit un débit de transmission élevé. Toutefois, en raison de la contention RF, le nombre de transmissions simultanées est considérablement réduit et, par conséquent, le débit de données réalisable diminue. Pour parvenir à un compromis optimal entre la réduction des interférences et l'augmentation du débit de données, différents mécanismes peuvent être appliqués, tels que l'adaptation dynamique de la puissance d'émission et du seuil de CCA SD. Dans ce contexte et afin d'améliorer les performances de l'ACC, l'amendement 802.11ax a défini une méthode connue sous le nom de coloration BSS. En d'autres termes, la coloration BSS est une méthode permettant de traiter le surdébit de contention du support dû au chevauchement d'un ensemble de desserte de base (OBSS). La coloration BSS est un identifiant numérique du BSS et elle est communiquée à la fois aux couches PHY et MAC. Au niveau de la couche PHY, l'information sur la coloration du BSS se trouve dans le champ SIG-A et, à l'origine, seuls 3 bits étaient utilisés pour identifier une couleur à partir d'un ensemble total de 7 couleurs. Cependant, comme la couleur est sélectionnée au hasard par l'AP, les couleurs de deux BSS voisins peuvent coïncider et entrer en collision. Afin de réduire la probabilité d'avoir des couleurs similaires pour des points d'accès voisins, l'amendement 802.11ax a augmenté la longueur de la couleur BSS à 6 bits, ce qui permet d'identifier jusqu'à 63 couleurs BSS différentes. Malgré l'utilisation de 6 bits pour la couleur BSS, une collision peut se produire et, dans ce cas, la station client associée à l'AP peut notifier l'AP de la collision, et l'AP entamera une procédure de changement de sa couleur BSS. Au niveau de la couche MAC, les informations relatives à la couleur BSS se trouvent dans les trames de gestion 802.11. Comme indiqué,

l'objectif de la coloration BSS est de permettre aux radios 802.11ax de différencier les BSS à l'aide d'un identifiant de couleur BSS lorsque d'autres radios émettent sur le même canal.

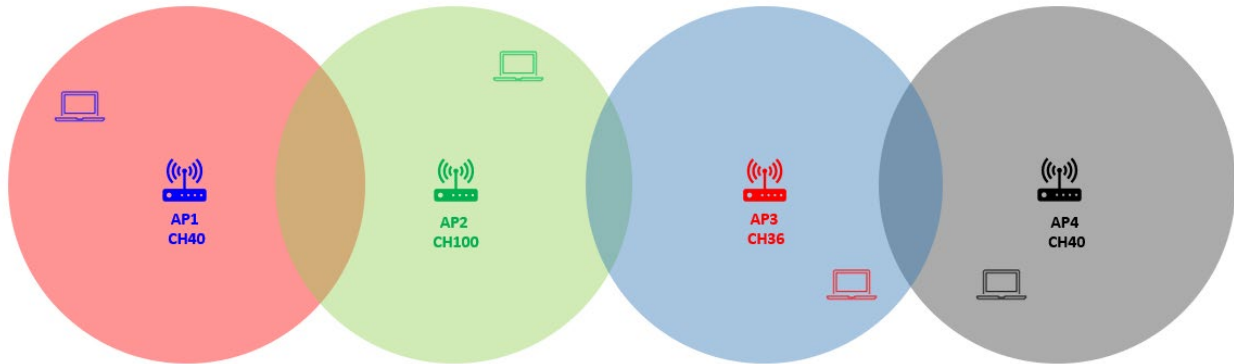


Figure 7: Concept de coloration des BSS dans la norme 802.11ax

Si la couleur BSS du point d'accès brouilleur est la même que celle du point d'accès de desserte, on considère qu'il s'agit d'une transmission de trame intra BSS et la radio d'écoute reporte la transmission. Toutefois, si la couleur BSS est différente, la radio d'écoute peut émettre en utilisant une procédure appelée "adaptive clear channel assignment" (CCA adaptative) pour la transmission de trames OBSS détectées. Ce concept est illustré dans la figure suivante :

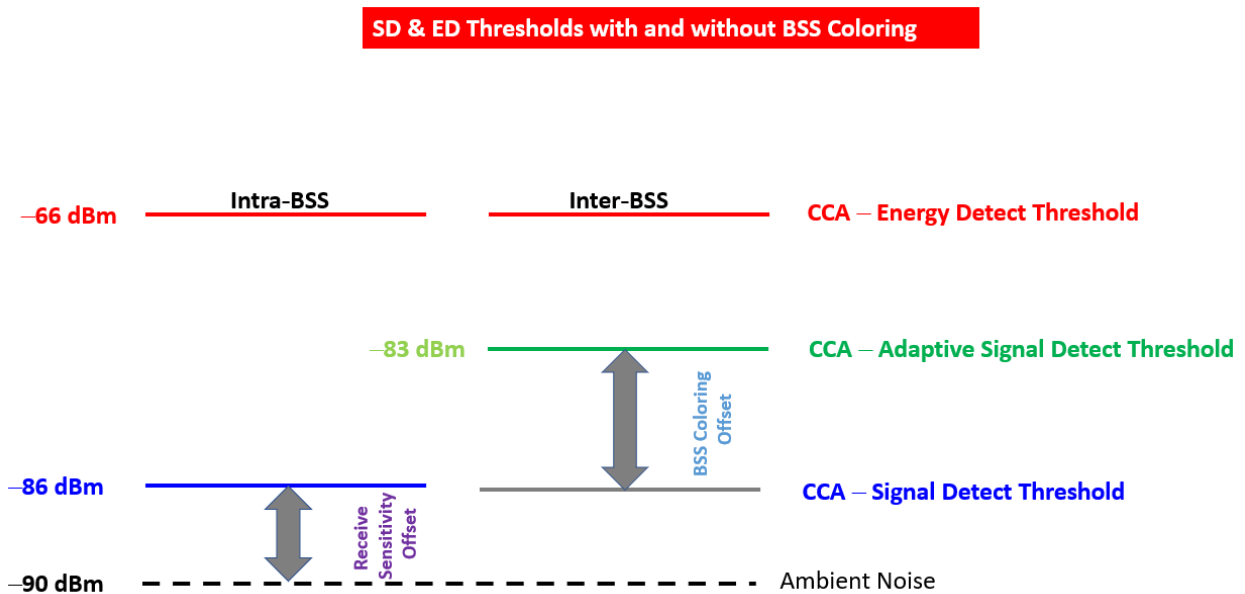




Figure 8: Concept d'ACC adaptative avec coloration BSS

### 3.4 Formats PPDU

Par rapport à l'ancien format de trame PPDU de la couche physique, la norme 802.11ax a introduit quatre nouveaux formats d'unité de données de protocole (PPDU) PLCP :

- PPDU utilisateur unique (HE SU)
- PPDU à portée étendue pour un seul utilisateur (HE ER SU)
- PPDU basé sur le déclenchement (HE TB)
- PPDU multi-utilisateurs (HE MU)

Pour assurer la rétrocompatibilité avec les anciennes technologies 802.11/a/b/g/n/ac, tous les formats PPDU commencent par un préambule "Legacy" suivi du préambule "HE". Le préambule "Legacy" des quatre formats est identique et se compose de trois parties : Le champ de formation court hérité (L-STF), le champ de formation long hérité (L-LTF) et le champ de signal hérité (L-SIG). Les champs d'apprentissage court et long sont utilisés à des fins de synchronisation de l'émetteur et du récepteur, tandis que le L-SIG sert à décrire les paramètres du reste de la trame et permet de calculer la durée de la trame. Les L-STF, L-LTF et L-SIG ont des durées fixes de  $8\mu s$ ,  $8\mu s$  et  $4\mu s$  respectivement. La partie HE du préambule commence par une répétition du L-SIG (RL-SIG) d'une durée fixe de  $4\mu s$ , suivie d'un HE-SIG-A obligatoire. Un HE-SIG-B facultatif peut être envoyé après le HE-SIG-A dans le cas d'un scénario multi-utilisateurs.

Le PPDU pour utilisateur unique est utilisé pour une transmission à un seul utilisateur. Le PPDU SU à portée étendue est également destiné à la transmission à un seul utilisateur, mais il convient mieux à l'extérieur, où l'utilisateur peut être éloigné du point d'accès. Le PPDU MU est utilisé dans le cadre d'une transmission multiutilisateur. Le PPDU TB contient une transmission mono-utilisateur et est envoyé en réponse à une trame de déclenchement ; il est principalement utilisé pour les communications en liaison montante.



Figure 9: Format PPDU pour un utilisateur unique (HE SU)

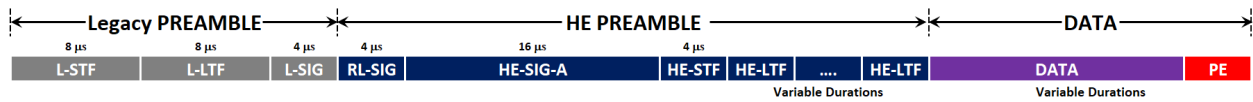


Figure 10: Format PDU de l'utilisateur unique à portée étendue (HE SU\_ER)



Figure 11: Format PDU basé sur le déclenchement (HE TB)



Figure 12: Format PDU multi-utilisateurs (HE MU)

Tableau 11 PDU : 802.11ax Description des champs

Field	Description
L-STF	Legacy Short Training Field
L-LTF	Legacy Long Training Field
L-SIG	Legacy Signal Field
RL-SIG	Repeated Legacy Signal Field
HE-SIG-A	HE Signal A Field
HE-SIG-B	HE Signal B Field
HE-STF	HE Short Training Field
HE-LTF	HE Long Training Field
DATA	Data
PE	Packet Extension Field
LTS	Legacy Training Sequence

## 4 Wi-Fi 6 étendu

Récemment, la Federal Communication Commission (FCC) des États-Unis a annoncé la disponibilité de la bande de fréquences de 6 GHz pour une utilisation du spectre sans licence, ce qui représente une énorme opportunité pour l'industrie du Wi-Fi. Pour que les utilisateurs puissent identifier les appareils Wi-Fi qui fonctionneront dans la bande des 6 GHz, cette technologie a été baptisée Wi-Fi 6 Extended (Wi-Fi 6E) et offre toutes les caractéristiques et capacités de la norme Wi-Fi 6. Cette nouvelle bande de fréquences de 6 GHz, également appelée spectre à bande moyenne, s'étendra de la fréquence la plus élevée de l'UNII-4 (5925 MHz) jusqu'à 7125 MHz. Il convient de noter que cette bande est déjà utilisée par des utilisateurs sous licence et spécifiquement pour des applications micro-ondes point à point telles que la télédiffusion et la radiodiffusion, qui produiront probablement des interférences avec les appareils basés sur le Wi-Fi 6E. Il est donc plus probable que certains mécanismes et règles de base visant à atténuer les interférences dues au fonctionnement du Wi-Fi dans la bande des 6 GHz soient spécifiés et définis. Des règles de base telles que l'utilisation en intérieur à des niveaux de puissance faibles ou la conception de procédures de coordination automatisée des fréquences devraient être mises en place. Comme cette nouvelle bande représente une extension de la bande UNII-4 déjà définie, la bande 6E est

désignée par U-NII-5 à U-NII-8. Il convient de noter que le Wi-Fi 6 ne doit pas être confondu avec le Wi-Fi 6E. Ces deux termes représentent deux sujets différents, mais ils sont étroitement liés.

Band	Frequency	Bandwidth
U-NII-1	5.150 GHz ----- 5.250 GHz	100 MHz
U-NII-2-A	5.250 GHz ----- 5.350 GHz	100 MHz
U-NII-2-C	5.470 GHz ----- 5.725 GHz	255 MHz
U-NII-3	5.725 GHz ----- 5.850 GHz	125 MHz
U-NII-4	5.850 GHz ----- 5.925 GHz	75 MHz
U-NII-5	5.925 GHz ----- 6.425 GHz	500 MHz
U-NII-6	6.425 GHz ----- 6.525 GHz	100 MHz
U-NII-7	6.525 GHz ----- 6.875 GHz	350 MHz
U-NII-8	6.875 GHz ----- 7.125 GHz	250 MHz

Tableau 12: Bandes de fréquences 5 GHz et 6 GHz



Figure 13: Bandes de fréquences 5 GHz et 6 GHz

Comme le montrent la figure et le tableau ci-dessus, il est clair que la bande des 6 GHz apporte une grande capacité de spectre supplémentaire et fournit des blocs de spectre contigus d'une largeur de bande de près de 1200 MHz. Ce type de canaux larges peut accueillir 14 canaux supplémentaires de 80 MHz ou 7 canaux supplémentaires de 160 MHz. Ces 7 canaux supplémentaires de 160 MHz ne se chevaucheront pas, ce qui contribuera à réduire la congestion et à augmenter la capacité du système dans le cadre d'un déploiement très dense.

---

## À propos d'iBwave

Les solutions iBwave, la norme en matière de planification de réseaux intérieurs convergents, sont à l'origine d'une expérience sans fil exceptionnelle dans les bâtiments, permettant à des milliards d'utilisateurs finaux et d'appareils de se connecter à l'intérieur d'un large éventail de lieux. En tant que référence mondiale de l'industrie, nos solutions logicielles permettent une planification, une conception et un déploiement plus intelligents de tout projet, quelle que soit sa taille, sa complexité ou sa technologie. En plus d'un logiciel innovant, nous sommes reconnus pour notre assistance de classe mondiale dans 100 pays, la base de données de composants la plus complète de l'industrie et un programme de certification bien établi. Pour plus d'informations, visitez : [www.ibwave.com](http://www.ibwave.com).