

Présentation du 802.11ax, la future norme sans fil haut débit

Date de publication: août 31, 2016

Introduction

La norme 802.11ax, également connue sous la dénomination HEW (*High-Efficiency WLAN*), a pour but ambitieux de quadrupler le débit moyen par utilisateur dans les zones denses. Cette évolution consistera à mettre en œuvre des mécanismes destinés à fournir un débit de données plus important et plus fiable à davantage d'utilisateurs mobiles dans les zones d'utilisation intensive. Cet article détaille les mécanismes qui feront évoluer la norme 802.11 vers le *High-Efficiency WLAN*.

[Découvrir la suite WLAN \(http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/210570\)](http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/210570)

[En savoir plus sur le test WLAN \(http://www.ni.com/wlan/\)](http://www.ni.com/wlan/)

Table des matières

1. Introduction
2. Caractéristiques principales et domaines d'application
3. Limites actuelles du débit Wi-Fi en zones denses
4. Mécanismes PHY propres au HEW
5. Mécanismes MAC propres au HEW
6. Les défis du test 802.11ax
7. Conclusion
8. À propos de NI et de la norme 802.11ax
9. Références
10. Pour aller plus loin

Augmenter le débit utilisateur dans les zones denses

1. Introduction

En 2015, le célèbre constructeur automobile au cheval cabré lançait une nouvelle version de son modèle d'entrée de gamme, la Ferrari California T. Cette sportive élégante présente un moteur V8 3,9 L biturbo, capable de générer plus de 412 kW (553 ch) et de passer de 0 à 100 km/h en 3,6 s. Pied au plancher, cette petite merveille technologique peut atteindre une vitesse maximale de 315 km/h.^[1]

L'équipe de conception Ferrari a pris en compte de nombreux détails du moteur, de la carrosserie et de l'intérieur pour en faire un véhicule adapté à une utilisation quotidienne, mais aussi capable de garantir une maniabilité, un confort de conduite et des performances exceptionnelles lors des pointes de vitesse. Cette belle mécanique rendrait sans aucun doute les trajets quotidiens beaucoup plus exaltants – et beaucoup plus rapides –, mais quelle utilité aurait-elle dans les rues encombrées d'une zone urbaine où la circulation se fait en accordéon ?

Laissons de côté les heureux propriétaires de belles automobiles et tournons-nous vers les utilisateurs mobiles qui, si l'on ose un parallèle avec l'exemple précédent, se trouvent dans une situation similaire : à défaut de sensations fortes au volant, ils aspirent quant à eux à une connectivité sans fil ultra-rapide. Pour rappel, la première norme Wi-Fi 802.11b, ratifiée en 1999, présentait un débit maximal de 11 Mbit/s – un premier pas positif, certes, mais ces performances étaient toujours bien inférieures à celles d'une connexion filaire. Quatre années plus tard, la révision 802.11a/g augmentait la vitesse de transmission à 54 Mbit/s avec l'utilisation de la technologie de multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM).

L'avancée suivante correspond à l'arrivée du 802.11n, en 2009, qui fournit aux utilisateurs un débit binaire jusqu'à 150 Mbit/s. La révision 802.11ac datant de 2013 permet quant à elle un débit binaire de 866 Mbit/s par canal, avec des canaux plus larges (160 MHz) et des ordres de modulation plus élevés (256 QAM). Avec jusqu'à 8 canaux agrégés, cette merveille de l'ingénierie peut atteindre une vitesse de transmission théorique de 6,97 Gbit/s. Autant dire que l'arrivée du 802.11ac revient à passer d'une berline familiale à une Ferrari gonflée à bloc...

Cependant, un débit proche de 7 Gbit/s n'est atteignable que dans l'enceinte fermée et contrôlée d'un laboratoire RF. En réalité, les utilisateurs sont souvent confrontés à un trafic de données désespérément lent lorsqu'ils souhaitent consulter leur boîte mail avec une connexion Wi-Fi publique dans un terminal d'aéroport bondé. C'est à ce problème précis que devra remédier la future révision de la norme LAN sans fil IEEE 802.11, le **802.11ax**.

La norme 802.11ax, également connue sous la dénomination HEW (*High-Efficiency WLAN*), a pour but ambitieux de quadrupler le débit moyen par utilisateur dans les zones denses. Au-delà de l'amélioration de la vitesse de transmission par rapport au 802.11ac, cette évolution consistera à mettre en œuvre des mécanismes destinés à fournir un débit de données plus important et plus fiable à davantage d'utilisateurs mobiles dans les zones d'utilisation intensive.

2. Caractéristiques principales et domaines d'application

Le HEW présente les caractéristiques suivantes :

- Rétrocompatibilité avec les normes 802.11a/b/g/n/ac
- Débit moyen par utilisateur quadruplé dans les zones denses (gares, aéroports et stades, notamment)
- Débits de données et largeur de voies similaires au 802.11ac, mais nouvelles caractéristiques de modulation et de codage (MCS 10 et 11) avec modulation 1024 QAM.
- Fonctionnement multi-utilisateur en liaisons montante et descendante au moyen des techniques OFDMA et MU-MIMO.
- FFT quatre fois plus grandes en OFDM, espacement des sous-porteuses divisé par quatre, et durée de symbole quatre fois plus longue pour de meilleures performances en extérieur et en environnements propices à l'évanouissement dû à la propagation par trajets multiples
- Flux de données plus fluide et meilleur accès aux canaux
- Gestion d'énergie plus efficace pour une meilleure autonomie de batterie

- Délestage de données mobiles : d'ici 2020, 38,1 exaoctets de données seront générés chaque mois, ce qui dépasse le trafic mensuel de données cellulaires et mobiles prévu (30,6 exaoctets).^[4] Cela équivaut à transférer sur ces réseaux plus de 6 000 films au format Blue-ray chaque minute.
- Environnements présentant de nombreux points d'accès ainsi qu'une forte concentration d'utilisateurs avec des appareils hétéroclites (Wi-Fi d'aéroport ≠ Wi-Fi domestique)
- Environnements mixtes intérieur/extérieur

WLAN coverage area

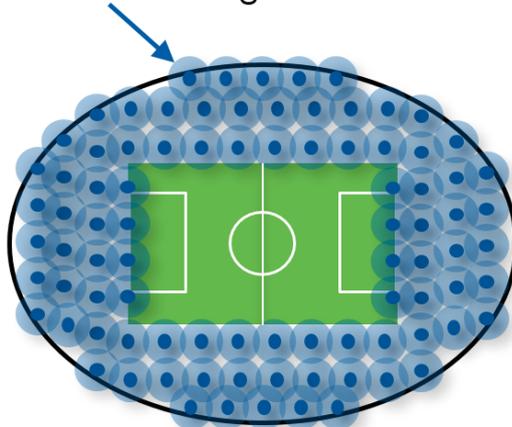


Figure 1. Exemple de scénario visé dans le cadre du déploiement du 802.11ax, impliquant une forte densité d'utilisateurs dans un environnement mixte de type stade

3. Limites actuelles du débit Wi-Fi en zones denses

Le protocole 802.11 s'appuie sur une méthode d'accès multiple par détection de porteuse (CSMA) : pour éviter les collisions de messages, les stations sans fil (STA) détectent d'abord un canal et ne transmettent que lorsque le support de transmission est libre, c'est-à-dire quand elles ne détectent aucun signal 802.11. Lorsqu'une STA souhaite envoyer des données à une autre STA occupée, la première attend un temps aléatoire jusqu'à ce que la seconde ait terminé sa transmission avant de vérifier à nouveau la disponibilité du canal. Lorsque les deux STA sont libres, elles transmettent leurs paquets de données.

Les STA Wi-Fi utilisent parfois des trames RTS / CTS (demande d'émission / champ libre pour émettre) pour communiquer avec le média partagé. Le point d'accès (AP) n'émet une trame CTS qu'à une seule station à la fois, qui lui envoie en retour l'intégralité de son message. Ensuite, la STA attend que l'AP renvoie une trame d'acquittement (ACK) pour s'assurer que le paquet a bien été reçu. Si l'acquittement ne lui parvient pas dans un temps défini, la STA considère que le paquet est entré en collision avec un autre message, et attend un délai fixé par l'algorithme BEB (*Binary Exponential Backoff*). À la fin de ce « délai de reprise après collision », la station tente à nouveau d'accéder au média pour renvoyer son paquet.

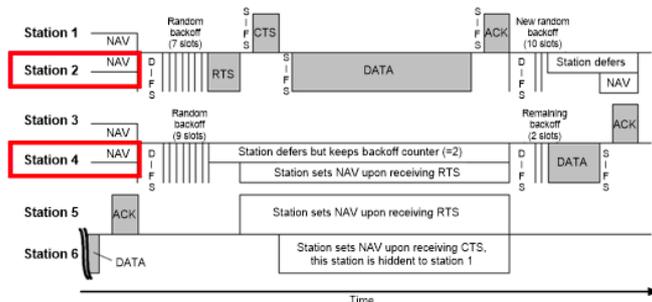


Figure 2. Protocole CCA (Clear Channel Assessment)

Bien que ce protocole d'évaluation de la disponibilité des supports et d'évitement de collision (*Clear Channel Assessment and Collision Avoidance*) permette de répartir le canal de manière équitable entre les participants dans l'espace de collision, son efficacité est inversement proportionnelle au nombre d'antennes impliquées. Parmi les autres facteurs d'inefficacité des réseaux, on compte également le recouvrement de zones à desservir par plusieurs AP différents. La Figure 3 montre un utilisateur (User 1) appartenant à l'ensemble de services de base (BSS, un ensemble de clients sans fil associé à un AP) de gauche. User 1 est en compétition avec d'autres utilisateurs pour accéder au média de son propre BSS et échanger des données avec son AP. Cependant, cette station reste en mesure de détecter le trafic du BSS de droite qui la couvre également.

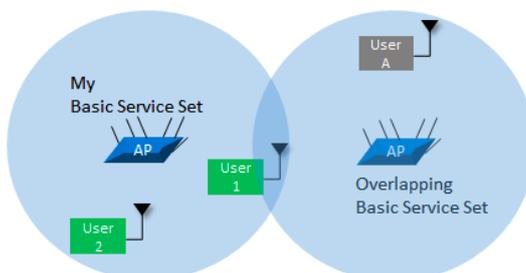
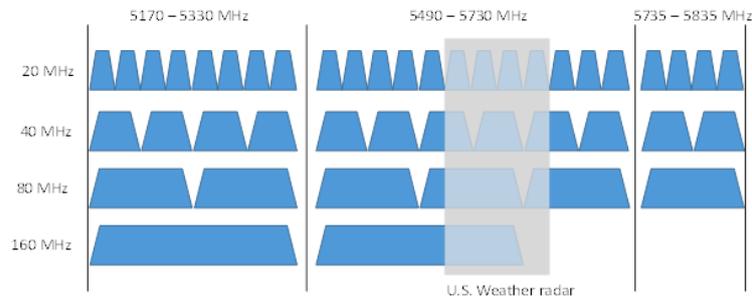


Figure 3. Mauvais accès au média dû au chevauchement de plusieurs BSS

Dans ce cas, le trafic de l'ensemble de services de base en chevauchement (OBSS) déclenche la procédure de *backoff* de User 1. En conséquence, les utilisateurs doivent attendre plus longtemps avant de transmettre leur message, ce qui diminue le débit de données moyen.

Un troisième facteur à prendre en compte est l'utilisation partagée de canaux plus larges. Par exemple, le 802.11ac s'appuie sur un seul canal 160 MHz en Amérique du Nord, tandis que deux sont disponibles en Europe.

**Figure 4. Exemple d'allocation de canaux 802.11ax sur la bande des 5 GHz**

Il devient très difficile de prévoir une couverture dense avec un nombre limité de canaux, c'est pourquoi les gestionnaires de réseau sont forcés de réutiliser les canaux de cellules environnantes. En l'absence d'une gestion énergétique rigoureuse, les utilisateurs subiront des interférences inter-canaux, qui dégradent les performances réseau et réduisent à néant la majeure partie du gain censé découler de l'utilisation de canaux plus larges. Cela se vérifie tout particulièrement par l'étude des débits maximaux liés aux MCS 8, 9, 10 et 11, qui s'avèrent beaucoup plus sensibles aux mauvais rapports signal/bruit. En outre, la mise en œuvre actuelle des réseaux 802.11 implique que, dans le cas où un canal 20 MHz chevaucherait un canal 80 MHz, ce dernier n'aurait plus aucune utilité puisque la station transmettrait sur le canal plus étroit. Dans le cadre de la norme 802.11ac, l'implémentation du partage de canaux sur un réseau à haute densité compromet le gain du canal 80 MHz dans le cas de transmissions sur un canal 20 MHz.

4. Mécanismes PHY propres au HEW

Changements de spécifications PHY

Les spécifications 802.11ax impliquent des changements importants au niveau de la couche physique de la norme. Cependant, elles maintiennent la rétrocompatibilité avec les dispositifs 802.11a/b/g/n/ac, de sorte que les STA 802.11ax peuvent communiquer avec des STA plus anciennes. Ces dernières seront également en mesure de démoduler et de décoder des en-têtes de paquets 802.11ax (uniquement leurs en-têtes) et de passer en attente de reprise après collision lorsqu'une STA 802.11ax transmet.

Le tableau suivant indique les changements les plus significatifs apportés par cette révision, en comparaison avec l'implémentation actuelle du 802.11ac :

	802.11ac	802.11ax
BANDES	5 GHz	2,4 GHz et 5 GHz
LARGEUR DE BANDE DES CANAUX	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 80+80 MHz, 160 MHz	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 80+80 MHz, 160 MHz
TAILLES DE FFT	64, 128, 256, 512	256, 512, 1024, 2048
ESPACEMENT ENTRE SOUS-PORTÉUSES	312,5 kHz	78,125 kHz
DURÉE DE SYMBOLES OFDM	CP 3,2 μ s + 0,8/0,4 μ s	CP 12,8 μ s + 0,8/1,6/3,2 μ s
MODULATION MAXIMALE	256 QAM	1024 QAM
DÉBIT BINAIRE	433 Mbit/s (80 MHz, 1 SS) 6 933 Mbit/s (160 MHz, 8 SS)	600,4 Mbit/s (80 MHz, 1 SS) 9 607,8 Mbit/s (160 MHz, 8 SS)

Tableau 1. Comparaison du 802.11ac et du 802.11ax

Notons que la norme 802.11ax utilisera à la fois la bande des 2,4 GHz et celle des 5 GHz. Les spécifications indiquent une FFT quatre fois plus grande, ce qui multiplie le nombre de sous-porteuses. Cependant, l'un des plus grands changements du 802.11ax concerne la réduction de l'espacement entre sous-porteuses, divisé par quatre par rapport aux précédentes révisions 802.11. Cela permet de préserver les largeurs de bande actuelles des canaux.

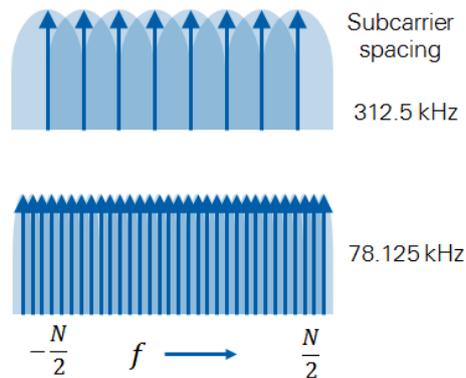


Figure 5. Espacement réduit entre sous-porteuses

La durée des symboles OFDM et le préfixe cyclique sont également multipliés par quatre, ce qui maintient un débit binaire brut équivalent à celui du 802.11ac en améliorant néanmoins l'efficacité et la stabilité de la communication en environnement hétérogène et intérieur/extérieur. Cela étant, la norme spécifie une modulation 1024 QAM et des préfixes cycliques plus courts en environnement intérieur, ce qui augmente le débit de données maximal.

Formation de faisceau

Le 802.11ax utilise un procédé explicite de formation de faisceau, similaire à celui du 802.11ac. Dans ce cadre, l'émetteur de faisceau entame une procédure de sondage de canal en transmettant un packet de données vide (NDP). Le récepteur de faisceau mesure le canal et renvoie une trame de rétroaction comprenant une matrice de rétroaction compressée. L'émetteur de faisceau utilise ces informations pour calculer la matrice du canal, H . Il peut ensuite utiliser cette dernière pour concentrer l'énergie radiofréquence dans la direction de chaque utilisateur.

Fonctionnement multi-utilisateur : MU-MIMO et OFDMA

La norme 802.11ax a deux modes de fonctionnement :

Utilisateur unique : dans ce mode séquentiel, les STA émettent et reçoivent des données les unes après les autres dès que l'accès au média est assuré, comme expliqué plus haut.

Multi-utilisateur : ce mode permet d'effectuer des opérations simultanées sur plusieurs stations non AP. La norme distingue également le mode multi-utilisateur en liaison montante du mode multi-utilisateur en liaison descendante.

- Le mode multi-utilisateur en liaison descendante fait référence aux données transmises en même temps par l'AP à plusieurs STA sans fil. La norme 802.11ac actuelle présente déjà cette caractéristique.
- Le multi-utilisateur en liaison montante correspond quant à lui au transfert simultané de données à partir de plusieurs STA vers l'AP. Il s'agit d'une nouvelle fonctionnalité propre au 802.11ax qu'aucune variante antérieure de la norme Wi-Fi ne présentait jusque là.

En mode de fonctionnement multi-utilisateur, la norme spécifie également deux méthodes différentes de multiplexage impliquant davantage d'utilisateurs dans une zone donnée : le MU-MIMO (entrées multiples, sorties multiples à utilisateurs multiples) et le MU-OFDMA (accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence à utilisateurs multiples). Dans les deux cas, l'AP agit comme le centre de contrôle de tous les aspects relatifs au fonctionnement multi-utilisateur, de la même façon qu'une station de base cellulaire LTE contrôle le multiplexage de plusieurs utilisateurs. Un AP 802.11ax associe également le fonctionnement OFDMA au MU-MIMO.

MU-MIMO

En s'inspirant de la mise en œuvre du 802.11ac, les dispositifs 802.11ax utilisent des techniques de formation de faisceau pour diriger simultanément des paquets à des utilisateurs géographiquement dispersés. Ainsi, l'AP calcule une matrice de canal pour chaque utilisateur et dirige au même instant tous les faisceaux vers les différents utilisateurs, chaque faisceau contenant des paquets spécifiques à son destinataire. Le 802.11ax supporte jusqu'à huit transmissions MU-MIMO en même temps, soit quatre de plus que le 802.11ac. Par ailleurs, chaque transmission MU-MIMO se distingue par des caractéristiques de modulation et de codage (MCS) et un nombre de flux spatiaux particuliers. Dans le cadre du multiplexage spatial MU-MIMO, l'AP peut être comparé à une matrice de commutation Ethernet, qui réduit le domaine de collision d'un vaste réseau d'ordinateurs à un seul et unique port.

Nouvelle caractéristique de la liaison montante MU-MIMO : l'AP initie simultanément des transmissions montantes depuis chaque station au moyen d'une trame de déclenchement. Lorsque plusieurs utilisateurs y répondent en même temps en transmettant leur paquet, l'AP applique la matrice de canal aux faisceaux reçus et décompose les informations qu'ils contiennent. L'AP peut également initier des transmissions multi-utilisateur montantes pour recevoir des informations de rétroaction de la part de toutes les STA concernées, comme le montre la Figure 7.

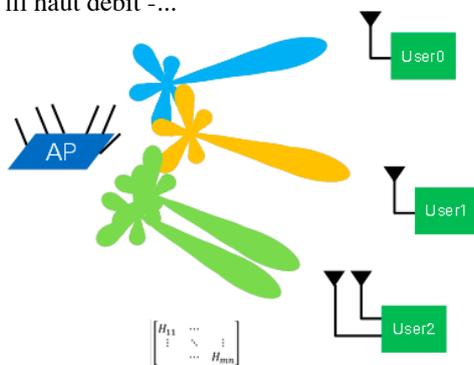


Figure 6. AP utilisant la formation de faisceau MU-MIMO pour desservir plusieurs utilisateurs géographiquement dispersés

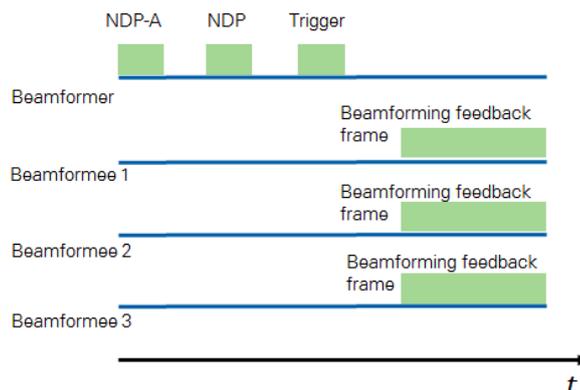


Figure 7. Un émetteur de faisceau (AP) demandant des informations de canal dans le cadre d'une opération MU-MIMO

MU-OFDMA

La norme 802.11ax emprunte une technique propre à la technologie mobile 4G pour multiplexer davantage d'utilisateurs dans la même largeur de bande : l'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence (OFDMA). En reprenant les schémas de modulation numériques reposant sur l'OFDM déjà utilisés par le 802.11ac, le 802.11ax assigne à chaque utilisateur individuel des ensembles particuliers de sous-porteuses. Cela signifie que les canaux 802.11 existants (de largeur 20, 40, 80 et 160 MHz) sont divisés en sous-canaux plus étroits avec un nombre prédéfini de sous-porteuses. Le 802.11ax puise aussi dans la terminologie LTE moderne puisque les plus petits sous-canaux, comportant au minimum 26 sous-porteuses, sont nommés « unités de ressources » (RU).

En fonction du trafic multi-utilisateur requis, l'AP détermine l'allocation des canaux de manière à toujours assigner toutes les RU disponibles en liaison descendante. Il peut allouer l'intégralité du canal à un seul utilisateur – comme c'est actuellement le cas avec le 802.11ac – ou le répartir entre plusieurs utilisateurs de manière simultanée (cf. Figure 8).

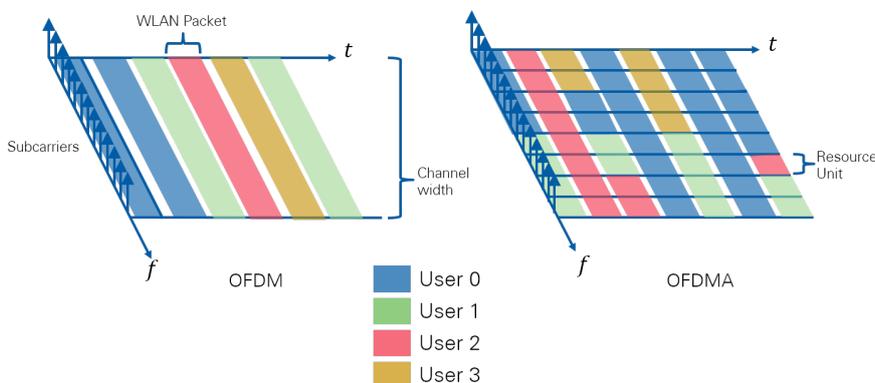


Figure 8. Utilisation du canal par un seul utilisateur (à gauche) et multiplexage de plusieurs utilisateurs dans le même canal suivant la technique OFDMA (à droite)

Dans les environnements denses où plusieurs utilisateurs seraient normalement en compétition pour utiliser le canal, ce mécanisme OFDMA leur attribue à présent simultanément un sous-canal plus étroit, mais qui leur est réservé, ce qui permet d'augmenter le débit moyen par utilisateur. La Figure 9 montre la manière dont un système 802.11ax multiplexe un canal avec des RU de différentes tailles. Notons que la plus petite partie du canal peut desservir jusqu'à neuf utilisateurs par bande de 20 MHz. [4]

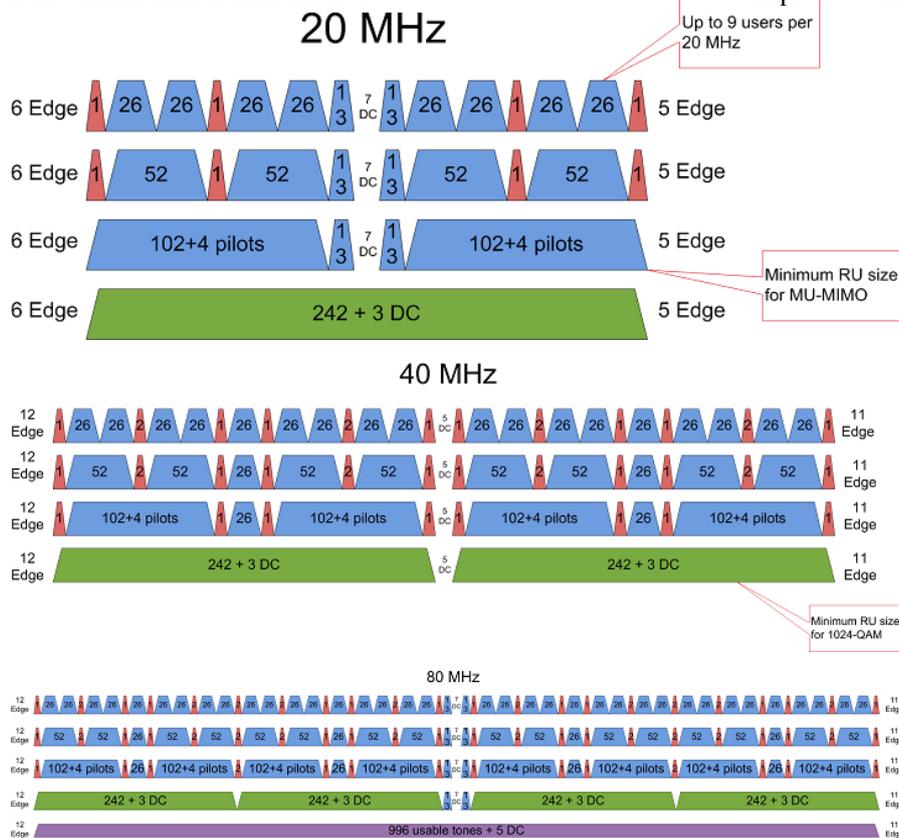


Figure 9. Répartition des canaux Wi-Fi à l'aide de RU de différentes tailles

Le tableau suivant indique le nombre d'utilisateurs disposant à présent d'un accès par répartition en fréquence lorsque les STA et l'AP 802.11ax se coordonnent dans le cadre d'opérations MU-OFDMA.

Type de RU	CBW20	CBW40	CBW80	CBW160 et CBW80+80
RU à 26 sous-porteuses	9	18	37	74
RU à 52 sous-porteuses	4	8	16	32
RU à 106 sous-porteuses	2	4	8	16
RU à 242 sous-porteuses	1-SU/MU-MIMO	2	4	8
RU à 484 sous-porteuses	N/A	1-SU/MU-MIMO	2	4
RU à 996 sous-porteuses	N/A	N/A	1-SU/MU-MIMO	2
RU à 2 x 996 sous-porteuses	N/A	N/A	N/A	1-SU/MU-MIMO

Tableau 2. Nombre total de RU par largeur de bande de canal (CBW)

Opération en liaison montante multi-utilisateur

Pour coordonner les transmissions MIMO ou OFDMA montantes, l'AP envoie une trame de déclenchement à tous les utilisateurs. Cette trame indique à chacun d'eux le nombre de flux spatiaux et/ou les modalités d'allocation OFDMA (fréquence et tailles de RU). Elle contient également des informations relatives au contrôle de puissance, de sorte que chaque utilisateur adapte la quantité d'énergie qu'il transmet pour équilibrer la puissance totale reçue par l'AP en liaison montante et améliorer la réception de trames transmises par les nœuds plus lointains. L'AP donne à tous les utilisateurs les instructions de démarrage et d'arrêt de transmission. Comme le montre la Figure 10, l'AP envoie une trame de déclenchement de liaison montante multi-utilisateur qui indique à tous les utilisateurs le moment précis auquel commencer la transmission, ainsi que le créneau exact qui leur est alloué afin que toutes les transmissions terminent au même moment. Une fois que l'AP a reçu les trames de tous les utilisateurs, il leur renvoie une trame ACK groupée pour terminer l'opération.

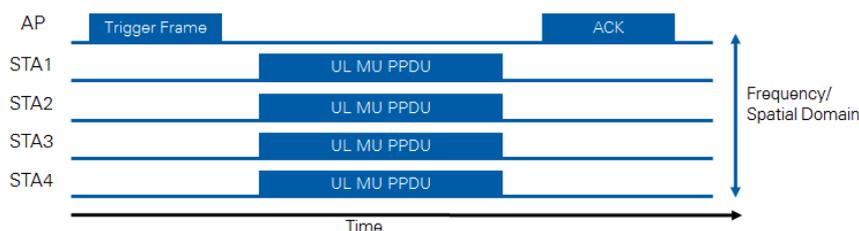


Figure 10. Opération coordonnée de liaison montante multi-utilisateur

5. Mécanismes MAC propres au HEW

Réutilisation spatiale avec codes couleur

Pour augmenter les performances du système et l'efficacité des ressources du spectre dans des cas de déploiements étendus, la norme 802.11ax fait appel à une technique de réutilisation spatiale. Le STA peuvent détecter les signaux issus de BSS en chevauchement pour gérer les situations de conflit et d'interférence en fonction de ces informations.

Lorsqu'une STA à l'écoute d'un support détecte une trame 802.11ax, elle vérifie le bit de couleur ou l'adresse de contrôle d'accès au support (MAC) du BSS dans l'en-tête MAC. Si la couleur du BSS dans l'unité de données de protocole de couche physique (PPDU) détectée est identique à celle annoncée précédemment par l'AP associé, la STA considère la trame en question comme une trame intra-BSS.

En revanche, si la trame détectée présente une couleur différente de celle de son propre BSS, la STA la considèrera comme une trame inter-BSS issue d'un BSS en chevauchement. La STA traitera ensuite le média comme OCCUPÉ jusqu'à ce qu'elle confirme que la trame est bien inter-BSS, sans pourtant dépasser la durée correspondant à la longueur des données utiles de la trame.

La norme doit encore établir certains mécanismes destinés à ignorer le trafic de BSS en chevauchement, mais leur mise en œuvre pourrait impliquer d'augmenter la valeur de seuil de CCA pour les trames inter-BSS, tout en maintenant une valeur de seuil basse pour le trafic intra-BSS (cf. Figure 11). De cette manière, le trafic de BSS avoisinants ne provoquerait aucun conflit d'accès au canal.

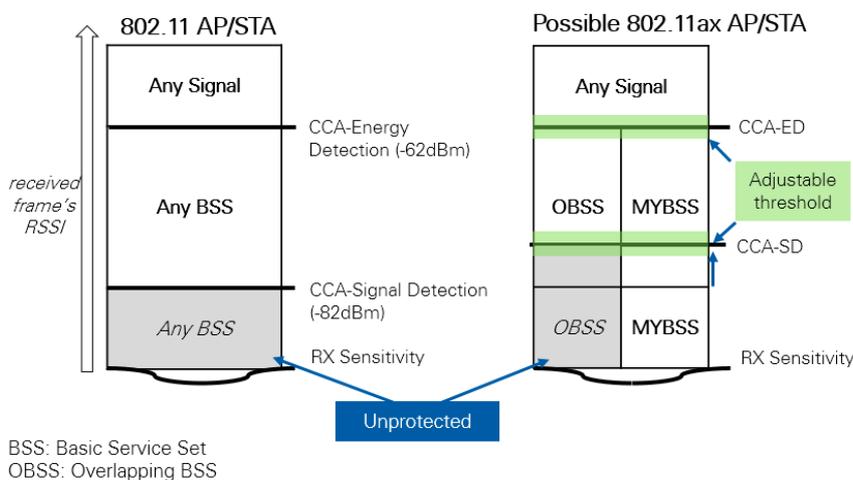


Figure 11. CCA avec utilisation de codes couleur

Quand les STA 802.11ax utilisent le code couleur établi selon les spécifications CCA, elles peuvent également ajuster le seuil de valeur de détection de signal OBSS et contrôler l'énergie transmise. Cela permet d'améliorer la performance du système et l'utilisation des ressources du spectre. De plus, les STA 802.11ax peuvent modifier les paramètres CCA tels que les niveaux de détection d'énergie et de signaux.

En plus de la technique CCA pour vérifier la disponibilité d'un support, le 802.11ax utilise un vecteur d'allocation de réseau (NAV). Il s'agit d'un mécanisme de temporisation qui maintient en mémoire la prévision du trafic futur sur le réseau à partir des informations fournies par les stations, qui précisent la durée nécessaire à la transmission de leur prochaine trame. Le NAV joue un rôle de détection virtuelle de porteuse et permet de réserver le support pour des trames critiques au fonctionnement du protocole 802.11, comme les trames de contrôle, de données et d'acquiescement qui accompagnent un échange RTS/CTS.

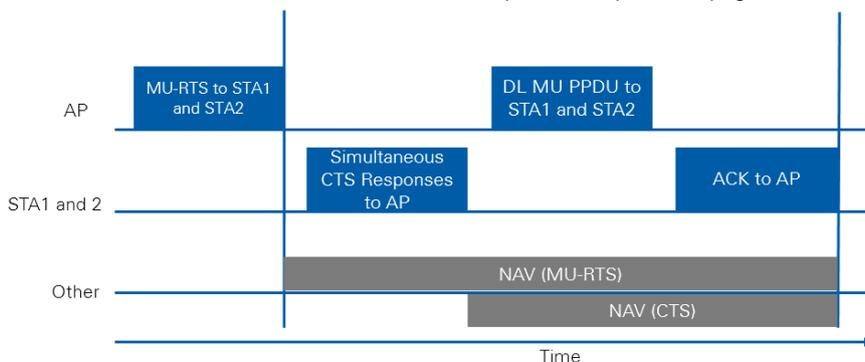


Figure 12. Exemple d'échange PDU multi-utilisateur et paramètres NAV

Le groupe de travail 802.11 actuellement en charge du projet *High-Efficiency WLAN* inclura probablement non pas un, mais deux mécanismes NAV différents dans la norme 802.11ax. En disposant d'un NAV intra-BSS et d'un second NAV inter-BSS, les stations pourraient parvenir à mieux anticiper le trafic au sein de leur propre BSS, et à transmettre au moment opportun selon l'état du trafic dans les zones de communication en chevauchement.

auxquels les STA peuvent respectivement accéder au support. Les STA et l'AP échangent alors des informations sur leur durée d'activité prévue. De cette manière, l'AP contrôle le risque de conflit et de chevauchement entre les STA qui doivent accéder au support. Le TWT peut également servir à réduire la consommation d'énergie des STA 802.11ax, qui se mettent en veille jusqu'à l'heure de réveil définie. De plus, l'AP est en mesure d'établir un programme et d'attribuer des valeurs TWT aux STA sans avoir leur accord mutuel. Dans la nomenclature de la norme, cette procédure s'appelle « groupement d'instant cible de réveil », ou *broadcast TWT* (cf. Figure 13).

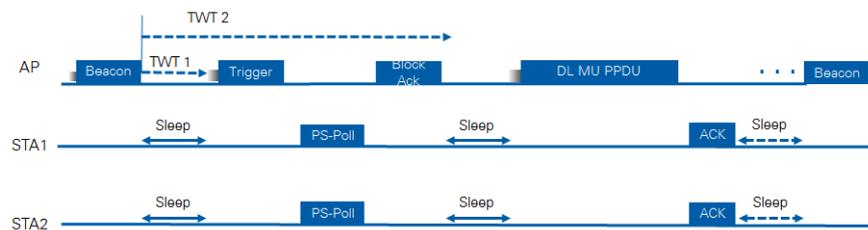


Figure 13. Exemple de fonctionnement par groupement d'instant cible de réveil

6. Les défis du test 802.11ax

Des exigences d'EVM plus strictes

La norme 802.11ax requiert à présent le support de modulation 1024 QAM. De plus, l'espacement entre les sous-porteuses ne s'élève qu'à 78,125 kHz. Cela signifie que les appareils compatibles avec le 802.11ax doivent comporter des oscillateurs plus performants avec un bruit de phase réduit, et des frontaux RF présentant une meilleure linéarité. Les instruments de test qui mesurent le comportement d'unités sous test requièrent un plancher de bruit EVM significativement inférieur à celui des unités sous test.

Le tableau suivant indique les niveaux d'EVM que les appareils compatibles avec le 802.11ax devront probablement atteindre.

	16 QAM	64 QAM	256 QAM	1024 QAM
Exigences d'EVM 802.11ax	-19 dB	-27 dB	-32 dB	-35 dB

Tableau 3. Exigences d'EVM 802.11ax

Les systèmes de test WLAN proposés par NI associent le VST (transcepteur de signaux vectoriels) à la suite WLAN Measurement pour permettre la génération et l'analyse de signaux 802.11ax. Le logiciel supporte diverses formes d'onde, du BPSK (MCS0) au 1024 QAM (MCS 10 et 11). De plus, le VST fournit systématiquement des mesures de plancher d'EVM haute précision pour répondre aux besoins spécifiques à la caractérisation et à la production de technologies RF.

Dérives de fréquence relative et absolue

Les systèmes OFDMA sont extrêmement propices aux *offsets* de fréquence et d'horloge. Aussi, la performance des communications OFDMA multi-utilisateur 802.11ax exige des capacités très précises en termes de synchronisation de fréquence et de correction d'*offset* d'horloge. Cela garantit que toutes les STA transmettent exactement dans le sous-canal qui leur est alloué, avec une fuite spectrale minimale. Les spécifications temporelles strictes assurent également que toutes les STA répondent aux trames de déclenchement multi-utilisateur de l'AP de manière simultanée.

Dans le cas des systèmes LTE 4G, les stations de base ont l'avantage d'intégrer des horloges synchronisées par GPS qui permettent de synchroniser tous les appareils associés. Cependant, il est peu probable que les AP 802.11ax disposent de cette technologie ; ils devront donc maintenir la synchronisation des systèmes en s'appuyant sur leurs propres oscillateurs intégrés. Les STA devront alors ajuster leurs références d'horloge et de fréquence en tirant les informations d'*offset* des trames de déclenchement envoyées par l'AP.

Les tests d'*offset* de fréquence et d'horloge des appareils 802.11ax prendront en compte les critères suivants :

- Dérive de fréquence absolue : l'unité sous test envoie des trames 802.11ax ; l'instrument de test mesure l'*offset* d'horloge et de fréquence et le compare à une valeur de référence. Elle sera similaire à celle actuellement spécifiée par la norme 802.11ac, qui se limite à approximativement ± 20 ppm.



Figure 14. Configuration simple de mesure de dérive de fréquence absolue

- Dérive de fréquence relative : cela consiste à tester la capacité d'une station non-PA impliquée dans une transmission montante multi-utilisateur à s'aligner sur la fréquence de l'AP. Cette procédure de test se décompose en deux étapes. Premièrement, l'instrument de test envoie une trame de déclenchement à l'unité sous test. Celle-ci s'ajuste en fonction des informations d'horloge et de fréquence extraites de la trame de déclenchement. Puis l'unité sous test répond en envoyant des trames rectifiées en fréquence. L'instrument de test mesure la dérive de fréquence de ces trames. Après la compensation d'*offset* de temps et de fréquence de la porteuse, il est très probable que ces limites resteront bornées à moins de 350 Hz et à $\pm 0,4$ μ s par rapport à la trame de déclenchement de l'AP.

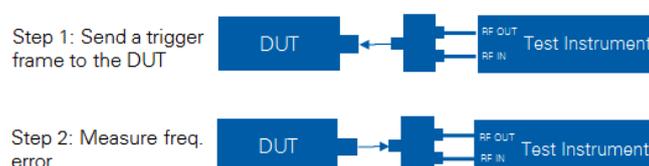


Figure 15. Configuration de mesure de dérive de fréquence relative**Contrôle de puissance des STA**

Tout comme les dérives de fréquence et de temps, l'énergie reçue par un AP au cours de transmissions montantes multi-utilisateurs ne devrait pas beaucoup varier d'un utilisateur à un autre. Cela implique que l'AP contrôle la puissance transmise par chaque STA. Pour cela, l'AP peut utiliser une trame de déclenchement contenant des informations de puissance de transmission propres à chaque STA. Les développeurs testent cette fonctionnalité en deux étapes, comme pour le test de dérive de fréquence.

Sensibilité de récepteur d'AP

Tester la sensibilité de récepteurs d'AP 802.11ax présente un certain nombre de difficultés supplémentaires, étant donné que l'AP agit comme référence de fréquence et d'horloge. L'instrument de test doit "se verrouiller" à l'AP avant de lui envoyer des paquets pour tester sa sensibilité au taux d'erreur de paquet.

Une fois que l'AP initie le processus en envoyant une trame de déclenchement, l'instrument de test ajuste sa fréquence et son horloge en conséquence avant de répondre à l'AP sous test par un nombre de paquets prédéterminé dans la configuration prévue.

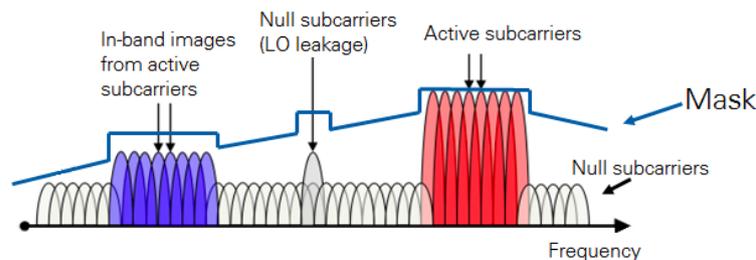
La difficulté réside ici dans les limites de dérive de fréquence relative propres au 802.11ax. L'instrument de test doit extraire des informations fréquentielles et temporelles très précises à partir des trames de déclenchement envoyées par l'AP. Il est parfois nécessaire d'effectuer des calculs en fonction de plusieurs trames de déclenchement pour garantir une synchronisation temporelle et fréquentielle précise, c'est pourquoi cette procédure peut parfois ralentir le processus de test.

Pour l'accélérer, l'AP pourrait exporter sa référence d'horloge, de manière à ce que l'équipement de test puisse s'aligner sur celle-ci. Cela permettrait d'éviter le processus de synchronisation initial à partir des trames de déclenchement et accélérerait le test de sensibilité du récepteur de l'AP.

Émissions en bande montante

Quand les STA fonctionnent en mode MU-OFDMA, elles transmettent à l'AP en utilisant la RU que l'AP leur a attribuée.

Autrement dit, les STA n'utilisent qu'une partie du canal. La norme 802.11ax pourrait intégrer un test d'émission en bande montante pour caractériser et mesurer les émissions effectuées lorsque le transmetteur n'utilise qu'une partie des fréquences.

**Figure 16. Masque potentiel de test d'émissions en bande montante****MIMO multi-utilisateur et de rangs supérieurs**

Les tests de dispositifs 802.11ax par le biais d'opérations MIMO impliquant jusqu'à 8 antennes peuvent donner des résultats très différents de ceux obtenus en testant chaque chaîne de signaux individuellement et de manière séquentielle. Par exemple, les signaux issus de chaque antenne peuvent interférer de manière destructive et diminuer les performances énergétiques et d'EVM, ce qui peut avoir un impact négatif et potentiellement notable sur le débit réseau.

Les instruments de test devraient supporter une précision de synchronisation des oscillateurs locaux inférieure à la nanoseconde pour chaque chaîne de signaux, afin de garantir le bon alignement de phase et de bonnes performances MIMO sur plusieurs canaux. La solution de test proposée par NI et reposant sur le VST exploite des technologies matérielles et logicielles brevetées, adaptées à des configurations massive MIMO évolutives impliquant 8, 16, voire 64 canaux synchronisés.

7. Conclusion

Le 802.11ax a vocation à quadrupler le débit moyen de données par utilisateur dans les environnements denses. Sous la forme du MU-MIMO et du MU-OFDMA, la technologie multi-utilisateur semble être le meilleur moyen d'y parvenir. Cette amélioration de l'utilisation du spectre en zones denses engendrera sans doute un taux record d'adoption du 802.11ax sur le marché. Cependant, la mise en œuvre de cette fonctionnalité pose nombre de nouveaux défis aux scientifiques, ingénieurs et technologues qui s'attellent à concrétiser cette future merveille technologique.

Souple et modulaire, la plate-forme NI intègre du matériel hautes performances – dont des oscillateurs stables et un plancher d'EVM bas – adapté aux mesures 1024 QAM. La suite WLAN Measurement suit les plus récentes avancées de la norme 802.11ax pour vous permettre de concevoir, de caractériser, de valider et de tester des dispositifs 802.11ax, et de vous préparer pour la révolution multi-utilisateur qui s'annonce.

8. À propos de NI et de la norme 802.11ax

NI fournit des systèmes de plate-forme qui permettent aux ingénieurs et aux scientifiques de relever les plus grands défis techniques de notre temps. En collaboration avec des organismes de normalisation et des entreprises de microélectronique, NI développe des systèmes et des outils de conception, de caractérisation, de validation et de test destinés aux nouvelles normes de communication sans fil, dont la norme *High-Efficiency WLAN* 802.11ax de l'IEEE (projet 1.0).



Figure 17. Système de test 802.11 de NI reposant sur la suite WLAN Measurement et des VST

L'association de la suite WLAN Measurement et du VST RF au format PXI de NI forme une solution modulaire et performante dédiée au test de dispositifs 802.11ax. La suite WLAN Measurement fournit aux chercheurs, ingénieurs et aux technologues la souplesse et les fonctionnalités nécessaires pour générer et analyser toutes sortes de signaux 802.11, notamment 802.11a/b/g/n/l/p/ac/ah/af. La dernière mise à jour de cette suite ajoute le 802.11ax à cette liste, pour accélérer le développement d'appareils compatibles avec cette future norme. Le logiciel tient compte de ses principales caractéristiques, dont l'espacement réduit entre sous-porteuses, la modulation 1024 QAM et la technique OFDMA multi-utilisateur. La dernière version inclut également des exemples de code LabVIEW pour aider les ingénieurs à automatiser les mesures WLAN simplement et rapidement.

9. Références

- [1] http://auto.ferrari.com/en_US/sports-cars-models/car-range/california-t/#specifications (http://auto.ferrari.com/en_US/sports-cars-models/Car-range/california-t/). Consulté le 29/04/2016
- [2] <https://newsroom.cisco.com/press-release-content?articleId=1741352> (<https://newsroom.cisco.com/press-release-content?articleId=1741352>). Consulté le 01/05/2016
- [3] IEEE: IEEE 802.11-16/0024r1, Proposed TGax draft specification
- [4] IEEE 802.11-15/0132r16, Specification Framework Document

10. Pour aller plus loin

- Découvrir notre solution de test 802.11ax (<http://www.ni.com/80211ax>).