

# IEEE 802.11ax : la sixième génération du Wi-Fi

## 1 Synthèse

La technologie sans fil ne cesse d'évoluer, impulsée par l'augmentation du nombre d'appareils, de connexions et d'applications gourmandes en bande passante. Outre une fiabilité accrue, les futurs réseaux devront offrir une plus grande capacité sans fil. C'est là qu'intervient la sixième génération du Wi-Fi.

Le nouveau standard IEEE 802.11ax marque la dernière étape d'un processus d'innovation continue. Il s'appuie sur les points forts du standard 802.11ac, tout en y ajoutant la flexibilité et l'évolutivité nécessaires pour permettre aux réseaux, aussi bien nouveaux qu'existants, d'exécuter des applications de nouvelle génération. IEEE 802.11ax allie la liberté et le débit de la technologie sans fil Gigabit à la prévisibilité inhérente à la technologie sans fil sous licence (LTE).

Le standard IEEE 802.11ax permet aux entreprises et aux opérateurs télécoms de prendre en charge de nouvelles applications sur la même infrastructure WLAN, tout en offrant un niveau de service supérieur aux applications plus anciennes. Ce scénario ouvre la voie au développement de nouveaux modèles économiques et à une adoption accrue du Wi-Fi.

La technologie IEEE 802.11ax permet aux points d'accès de prendre en charge un plus grand nombre de clients dans des environnements denses et d'offrir une expérience optimisée pour les réseaux LAN sans fil standard. Elle permet également d'améliorer la fiabilité des performances pour des applications avancées telles que la vidéo 4K, la technologie UHD, le bureau sans fil et l'Internet des objets (IoT). Grâce à la planification flexible de l'heure de sortie de veille, les appareils clients restent en veille beaucoup plus longtemps qu'avec la technologie 802.11ac et sortent de veille moins facilement, améliorant ainsi la durée de vie de la batterie des smartphones, des appareils connectés à l'IoT et autres équipements.

Pour offrir ces bénéfices, la technologie IEEE 802.11ax se concentre sur trois axes d'action :

- Une modulation plus dense à l'aide de 1024-QAM (modulation d'amplitude de quadrature), pour atteindre un pic de débit de plus de 35 %
- La planification basée sur la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour réduire la surcharge et la latence
- La signalisation à haute efficacité pour une optimisation des performances à une RSSI (Received Signal Strength Indication) beaucoup plus basse

La technologie OFDMA IEEE 802.11ax permet même aux points d'accès 802.11ax de la première vague de prendre en charge huit faisceaux spatiaux et d'offrir un débit atteignant jusqu'à 4 800 Mbit/s au niveau de la couche physique, en fonction de la mise en œuvre du fournisseur. Tous les clients bénéficient d'un débit effectif plus élevé au niveau de la couche MAC, pour une expérience d'utilisation globale optimisée.

Contrairement à 802.11ac, 802.11ax est une technologie bibande 2,4 GHz et 5 GHz. Par conséquent, les clients qui utilisent uniquement la bande 2,4 GHz peuvent directement tirer parti de ses bénéfices. De plus, la prise en charge 2,4 GHz de la technologie 802.11ax étend considérablement la portée Wi-Fi, en ajoutant des techniques de sondage et de formation de faisceaux standard. Cela permet, en outre, de nouveaux modes d'utilisation et modèles économiques pour une couverture en intérieur et en extérieur.

# Sommaire

## 1 Synthèse

## 2 Les dynamiques de marché

## 3 Qu'est-ce que le standard 802.11ax ?

- 3.1 Les pilotes pour 802.11ax
- 3.2 Pourquoi la technologie 802.11ax est-elle si rapide ?
- 3.3 IEEE 802.11ax et déterminisme
  - 3.3.1 Les trois dimensions de l'allocation des ressources
  - 3.3.2 La planification flexible des appareils à faible consommation
  - 3.3.3 Améliorer la capacité tout en réduisant les incertitudes liées à la planification
- 3.4 Comment l'IEEE a-t-il rendu le standard 802.11ax plus robuste ?
- 3.5 Présentation de la technologie
  - 3.5.1 OFDMA et l'allocation d'unités de ressources
  - 3.5.2 1024-QAM
  - 3.5.3 La réutilisation spatiale (SR) et le fonctionnement d'OBSS
  - 3.5.4 Débit et portée

## 4 Date de mise en œuvre de la technologie 11ax

## 5 Quelles sont les conséquences de la technologie 11ax pour l'utilisateur ?

- 5.1 La compatibilité
- 5.2 Quand passer à la technologie 802.11ax ?

## 6 Résumé

IEEE 802.11ax permet de renforcer les déploiements 802.11a/g/11n/11ac existants, même si leur mise à niveau complète vers 802.11ax n'est pas immédiate. Son accès aux canaux basé sur OFDMA est entièrement rétrocompatible avec les modes EDCA/CSMA classiques et les points d'accès Cisco® utilisent chaque schéma de manière optimale. Deuxièmement, les systèmes de surveillance et de prévention des intrusions sans fil (WIPS) 802.11a/g/11n/11ac restent capables de décoder la plupart des trames de gestion, telles que les trames de balise et de requête-réponse de sondage, même si elles sont envoyées dans le nouveau format de paquet 802.11ax.

Le standard IEEE 802.11ax a été conçu pour garantir une compatibilité maximale et assurer une coexistence efficace avec les appareils 802.11a/n/ac. Son nouveau préambule (HE-SIG-A/B) suit le préambule 802.11a/g/n/ac classique et les extensions des procédures RTS/CTS (demande d'émission/prêt à émettre) multi-utilisateurs pour éviter les collisions avec les utilisateurs antérieurs en mode mono-utilisateur.

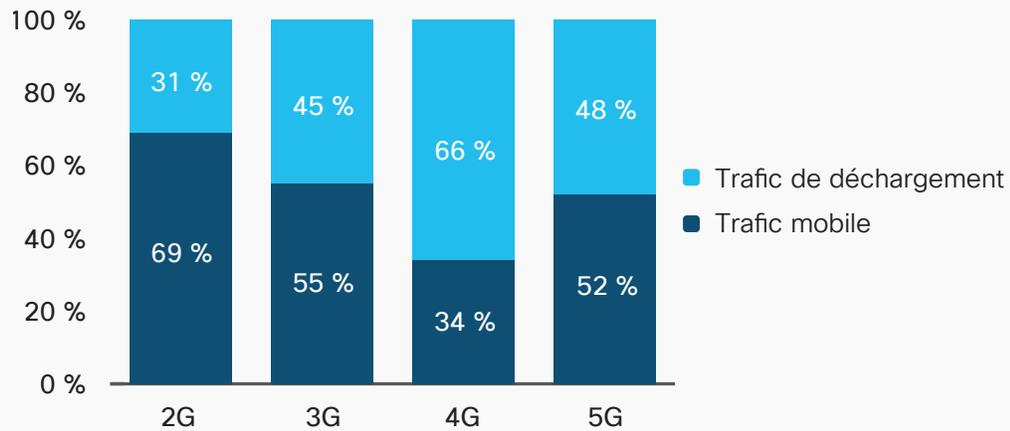
Le nouveau standard 802.11ax est un bond en avant important dans le domaine de la technologie sans fil, offrant des bénéfices majeurs aux entreprises et aux opérateurs télécoms sur le long terme.

## 2 Les dynamiques de marché

En étudiant les anciens réseaux 802.11, on constate que chaque génération a offert aux utilisateurs un débit et une portée accrues afin de prendre en charge l'extension et la densification des réseaux d'entreprise. Cependant, la nouvelle génération de réseaux sans fil devra non seulement poursuivre dans cette voie, mais aussi offrir un niveau de service supérieur aux réseaux existants. En particulier, il est de plus en plus important que nos entreprises clientes prennent en charge la vidéo 4K et 8K, la réalité augmentée et virtuelle (AR/VR), ainsi que l'IoT, sans oublier une extension fiable des fonctionnalités mobiles stratégiques, telles que la voix pour les opérateurs télécoms clients. Pour cela, un niveau de comportement déterministe plus élevé que celui proposé par les générations Wi-Fi précédentes est nécessaire.

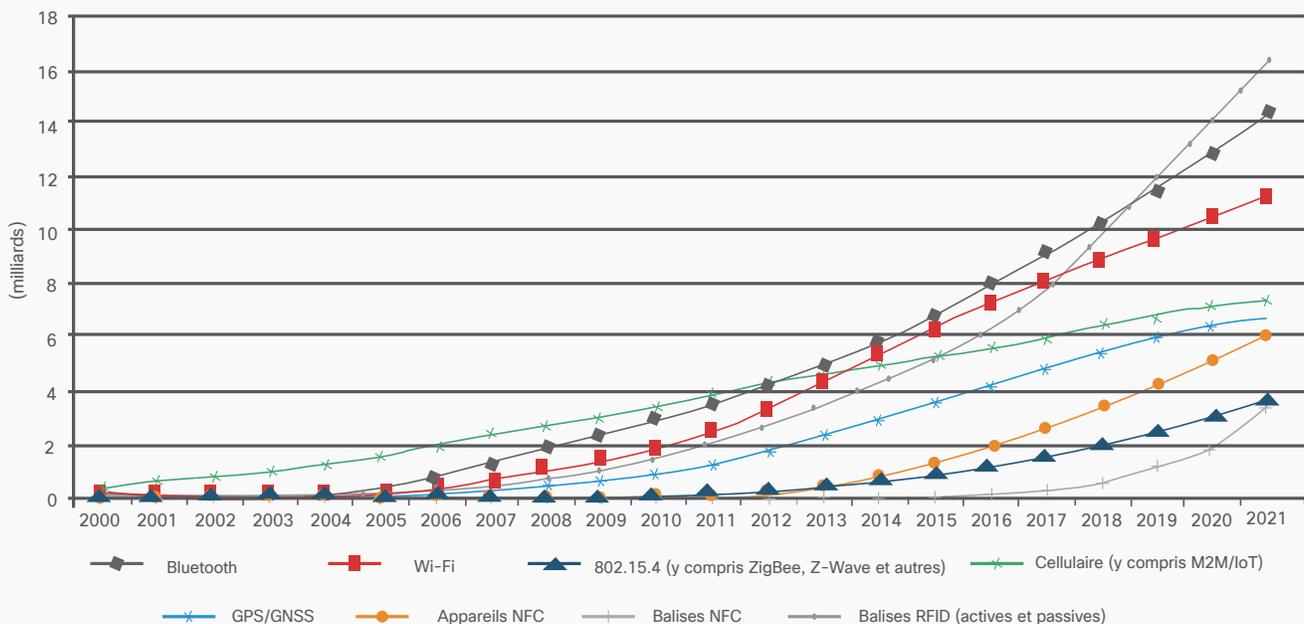
Jusqu'ici, chaque génération de technologie cellulaire (2G, 3G et 4G) a participé à l'intensification du trafic Wi-Fi, y compris dans les entreprises, pour bénéficier d'un meilleur débit à moindres frais. Après 2020, il est évident que même la technologie cellulaire la plus récente (5G) aura besoin d'une capacité Wi-Fi considérable prenant en charge des services vocaux et vidéo professionnels dont la diffusion sera optimale avec la technologie 802.11ax et sa capacité de planification de type cellulaire (Figure 1).

Figure 1. Tendence du trafic de téléchargement pour mobile (indice Cisco VNI)



L'Internet des objets (IoT) est une technologie en vogue qui représente un défi important pour les entreprises. En effet, il est important de savoir comment connecter, facilement et en toute sécurité, des centaines, voire des milliers d'appareils électroniques au réseau IT de l'entreprise tout en répondant à leurs besoins opérationnels et techniques. Contrairement aux appareils utilisateurs, tels que les ordinateurs portables, les objets connectés à l'IoT ont soit besoin d'un service sans fil déterministe (par exemple, l'appareil s'éteint s'il n'est pas interrogé toutes les 5 ms), soit d'un service à faible consommation (en d'autres termes, l'appareil ne communique que si c'est vraiment nécessaire). Auparavant, le recours à une technologie propriétaire, de niche ou spécifique à l'opérateur était la règle pour satisfaire ces besoins. Cependant, la technologie Wi-Fi d'entreprise s'est progressivement imposée en tant que plate-forme IoT en intérieur en raison de sa grande facilité de gestion et des importantes économies d'échelle qu'elle permet de réaliser. Le standard 802.11ax et ses fonctionnalités IoT, comme une faible consommation électrique et le déterminisme, étant capables de répondre aux besoins liés à l'IoT, cela devrait favoriser l'accélération de son adoption (voir Figure 2).

Figure 2. Tendances en matière d'IoT (indice Cisco VNI)



Dans l'entreprise de demain, les utilisateurs seront connectés virtuellement à leurs collègues via les technologies de réalité augmentée (AR), de réalité virtuelle (VR) ou de réalité mixte (MR). Chaque jour, les chercheurs, ingénieurs et informaticiens développent de nouvelles solutions d'entreprise telles que la télémedecine, la téléassistance sur site, les visualiseurs de vente au détail, la collaboration ou encore la formation virtuelle, confirmant ainsi les bénéfices de ces nouveaux modes de collaboration. Il est clair qu'un débit élevé (1 Gbit/s au minimum, par exemple) et une faible latence (<10 ms, par exemple) sont des conditions requises pour ces applications. Aussi, la technologie 802.11ax apparaît-elle comme la solution idéale, avec ses fonctionnalités MIMO (Multiple Input, Multiple Output) (8 x 8) et de planification avancées (Figure 3).

Figure 3. Toutes les réalités : augmentée, mixte et virtuelle



- ▶ Ces réalités posent de nouvelles exigences sur le plan des performances et de la qualité du réseau.
- ▶ Satisfaire les exigences en matière de bande passante et de latence est essentiel pour bénéficier d'une qualité d'expérience élevée.
- ▶ Le trafic AR sera multiplié par 7 entre 2016 et 2021, passant de 3 à 20 Po/mois.
- ▶ Le trafic VR sera multiplié par 11 entre 2016 et 2021, passant de 13 à 140 Po/mois.

## 3 Qu'est-ce que le standard 802.11ax ?

Pour commencer, 802.11ax est une évolution du standard 802.11ac. Pour en savoir plus sur le standard 802.11ac, consultez ce document : [www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white-paper-c11-713103.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white-paper-c11-713103.pdf). Si les concepts de MIMO multi-utilisateur (MU) en liaison descendante, 256-QAM et canaux larges 160 MHz introduits avec le standard 802.11ac vous sont déjà familiers, et que vous ne ressentez pas le besoin d'une mise à niveau, vous pouvez passer directement à la suite.

### 3.1 Les pilotes pour 802.11ax

Le standard IEEE 802.11ax est une évolution du standard 802.11ac. L'un des objectifs du standard 802.11ax, désigné également sous le nom de High-Efficiency Wireless (HEW), est d'optimiser l'efficacité dans les réseaux Wi-Fi existants :

- Offrir des débits de données élevés avec plus d'homogénéité dans les environnements Wi-Fi standard
- Se concentrer sur les indicateurs de performances clés qui améliorent la qualité de l'expérience (QoE)

Dans les entreprises classiques, les défis à relever sont les suivants :

- Un environnement à ultra-haute densité (UHD) avec un grand nombre d'utilisateurs équipés de trois ou quatre clients 802.11 qui utilisent tous les ressources du réseau simultanément
- L'adoption accrue d'applications en temps réel, telles que la vidéo 4K et la réalité augmentée ou virtuelle (AR/VR), ce qui accroît encore la demande sur des environnements déjà sous pression

Dans l'espace IoT adjacent, il devient urgent de prendre en charge les éléments suivants en raison de la convergence des réseaux opérationnels traditionnellement développés sur mesure sur les réseaux IT :

- Les dispositifs peu complexes et à faible consommation tels que les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC), les balises d'inventaire et les capteurs médicaux
- Les transmissions URLLC (Ultra Reliable Low-Latency Communications), notamment dans le domaine de la médecine (imagerie/contrôle) et de la fabrication (logistique de stockage, robotique), nécessitant un contrôle strict des indicateurs de performances clés

### 3.2 Pourquoi la technologie 802.11ax est-elle si rapide ?

Le débit de pointe du sans-fil est le résultat de quatre facteurs : bande passante des canaux, densité de constellation, nombre de faisceaux spatiaux et surcharge par symbole. La technologie IEEE 802.11ax poursuit sur la voie de la densité de constellation en ajoutant la méthode 1024-QAM, mais améliore de manière plus sensible la surcharge par symbole par le biais de paramètres de synchronisation PHY flexibles.

Tout d'abord, passer de la méthode 256-QAM à 1024-QAM permet d'améliorer le débit maximum de 25 %. En raison d'une plus grande proximité, les points de constellation sont également plus sensibles au bruit. La méthode 1024-QAM s'avère donc plus avantageuse lorsque la portée est plus courte. 256-QAM est plus fiable, mais 1024-QAM ne nécessite pas un spectre plus étendu, ni plus d'antennes que 256-QAM. Cette méthode peut être mise en œuvre aisément avec les systèmes physiques existants.

Ensuite, passer d'une durée de symbole fixe ( $T_s$ ) de 3,2 microsecondes ( $\mu s$ ) et seulement deux intervalles de garde (IG) de 400 ou de 800 ns à une durée  $T_s$  supérieure (12,8  $\mu s$ ) et trois options d'intervalle de garde (0,8 ; 1,6 ou 3,2  $\mu s$ ) offre à la fois un débit supérieur et, lorsque cela s'avère nécessaire, une plus grande fiabilité. D'un point de vue mathématique, le rapport  $T_s - T_o$  ( $G_I + T_s$ ) détermine l'efficacité de domaine temporel maximale qui, dans le cas du standard 11ac, pouvait atteindre 3,2  $\mu s / (3,2 \mu s + 400 \text{ ns})$  ou 88,9 %, tandis que le standard 802.11ax permet d'atteindre une efficacité de  $12,8 / (12,8 + 0,8) = 94 \%$  pour un gain de débit maximal de 5,9 %, offrant pourtant une propagation par trajets multiples bien plus robuste. En outre, le plan tonal 802.11ax est plus dense, avec 980 tonalités de données (sous-porteuses OFDMA) par 13,6  $\mu s$  ( $T_s + G_I$  minimum) sur 80 MHz, alors que le standard 802.11ac comprend 234 tonalités de données (sous-porteuses OFDM) par 3,6  $\mu s$  dans la même plage de 80 MHz. Cette densité tonale accrue entraîne un gain de débit maximum supplémentaire de 10 % par rapport au standard 802.11ac dans le même spectre (étant donné que  $(980/13,6) / (234/3,6) = 1,1$ ).

De plus, le débit est directement proportionnel au nombre de faisceaux spatiaux. Plus il y a de faisceaux spatiaux, plus il faut d'antennes, de connecteurs RF et de chaînes RF au niveau de l'émetteur et du récepteur. Les antennes doivent être espacées d'au moins 1/3 de longueur d'onde (3/4 de pouce à 5,25 GHz), et les chaînes RF supplémentaires consomment davantage de puissance. En raison, notamment, des exigences en matière de séparation physique, un grand nombre de terminaux mobiles limitent le nombre d'antennes à une, voire deux. On ne s'attend pas à ce que cela change pour les nouveaux terminaux mobiles compatibles avec le standard 802.11ax. Toutefois, ces contraintes liées aux ressources physiques ne sont pas aussi strictes pour les points d'accès. Il est donc prévu que la première vague de points d'accès 802.11ax prenne en charge jusqu'à 8 faisceaux spatiaux, soit deux fois le maximum offert aujourd'hui par les produits 802.11ac.

Ces trois améliorations sont illustrées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Calcul du débit des standards 802.11ac et 802.11ax

PHY	Bande passante (en nombre de sous-porteuses de données)	Bits de données par sous-porteuse	Temps par symbole OFDM (GI 800ns)	1 SS	3 SS	4 SS	8 SS
802.11ac	234 (80 MHz)	$5/6 \times \log_2(256) \approx 6,67$	4 $\mu s$	390 Mbit/s	1,17 Gbit/s	1,56 Gbit/s	-
	2 x 234 (160 MHz)	X	/	= 780 Mbit/s	-	3,12 Gbit/s	-
802.11ax	980 (80 MHz)	$5/6 \times \log_2(1024) \approx 8,33$	13,6 $\mu s$	600 Mbit/s	1,8 Gbit/s	2,4 Gbit/s	4,8 Gbit/s
	2 x 980 (160 MHz)			1,2 Gbit/s	3,6 Gbit/s	4,8 Gbit/s	-

### 3.3 IEEE 802.11ax et déterminisme

Proposer des débits de données gigabit dans un seul faisceau spatial à l'aide de la méthode 1024-QAM permet de bénéficier, régulièrement, d'un débit théorique de pointe dans les environnements d'entreprise à faible densité. Cependant, à mesure que la densité des clients (et la densité des points d'accès qui en résulte) augmente, la probabilité d'atteindre ces débits diminue, étant donné que la contention de canaux ou le temps d'émission augmente avec l'utilisation des clients dans le même ensemble des services de base (BSS – Basic Service Set) (point d'accès), ou de clients ou de points d'accès dans un BSS voisin ou superposé (OBSS – Overlapping BSS). Pour qualifier cette dernière dégradation, nous utilisons généralement le terme d'interférences dans le même canal (CCI – Co-Channel Interference), ce qui s'avère particulièrement problématique dans les espaces ouverts, tels que les salles de conférence et les points d'accès publics, où la propagation des signaux RF est presque idéale ou s'effectue en ligne directe.

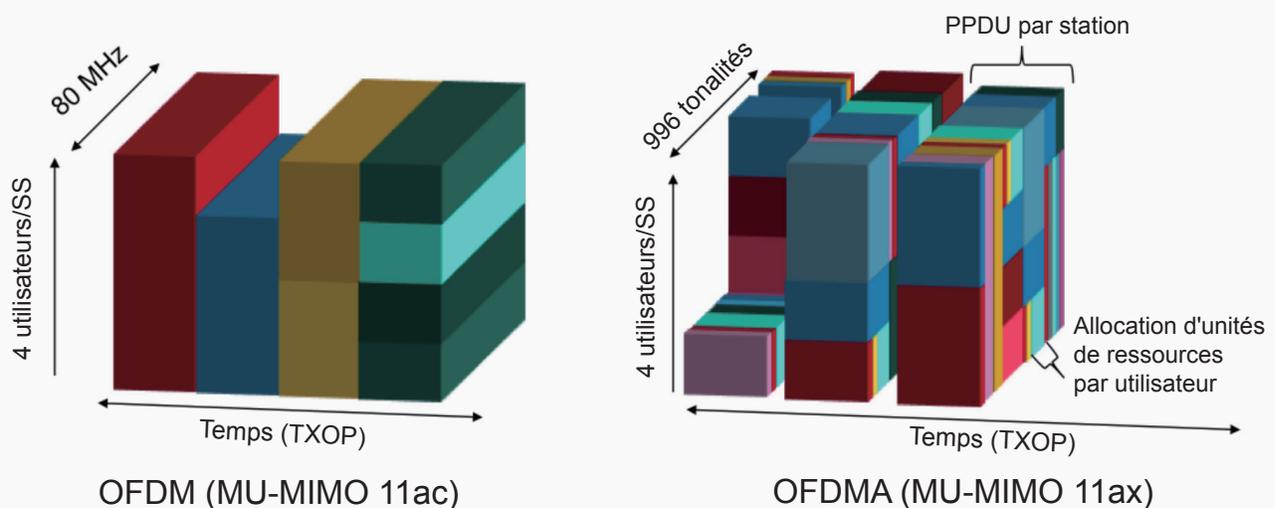
Pour lutter contre ces phénomènes bien connus, le standard 802.11ax intègre OFDMA, un nouveau mécanisme d'accès aux canaux qui s'apparente aux réseaux radio cellulaires/LTE, dans la mesure où il permet de maintenir la robustesse de la technologie Wi-Fi dans les fréquences sans licence. Premièrement, OFDMA garantit une transmission sans contention vers plusieurs clients sur la liaison descendante (DL) et la liaison ascendante (UL) dans une seule opportunité de transmission (TXOP) correspondante. Deuxièmement, l'ajout du mode EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) à UL-OFDMA permet au point d'accès d'affecter les priorités d'accès aux canaux relatives des clients, même entre des clients 802.11ax et 802.11ac. Ces deux schémas sont plus efficaces et moins sujets à la perte de paquets et à l'instabilité dues à la contention. De plus, étant donné qu'ils permettent au point d'accès de contrôler avec précision les transmissions UL et DL, ils garantissent un meilleur déterminisme.

#### 3.3.1 Les trois dimensions de l'allocation des ressources

Avec le standard 802.11ac, les différents utilisateurs sont séparés par l'espace et le temps. Dans le domaine temporel, les opportunités de transmission sont allouées pareillement aux clients et aux points d'accès de manière distribuée à l'aide de la méthode EDCA. Dans le domaine spatial, les techniques MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) multi-utilisateurs en liaison descendante sont utilisées pour les fonctionnalités d'isolation et de diffusion simultanée (simulcast) limitées par le nombre d'antennes d'émission (généralement jusqu'à 4). Les deux techniques sont appliquées à chaque MU-PPDU (Multiuser Physical layer Protocol Data Unit).

Le standard 802.11ax hérite de la même séparation entre l'espace et le temps que le standard 802.11ac, en y ajoutant toutefois une troisième dimension multi-utilisateur : la répartition en fréquence. Avec le standard 802.11ac, le canal Wi-Fi (20, 40, 80 ou 160 MHz) a été divisé en un ensemble de sous-canaux OFDM plus petits pour atténuer les interférences. À un moment donné, un seul utilisateur se voit attribuer l'ensemble de ces sous-porteuses dans chaque PPDU. Cependant, avec la technique OFDMA (802.11ax), des groupes de sous-porteuses distincts sont alloués aux clients en tant qu'unités de ressources pour chaque PPDU (Figure 4).

Figure 4. Comparaison OFDM/OFDMA



Comme indiqué précédemment, cette troisième dimension (OFDMA) présente de nombreux bénéfices, dont le déterminisme et une efficacité renforcée grâce à la réduction des collisions et de la contention. Cette technique révolutionne également le mode de garantie de la qualité de service (QoS). Auparavant, avec le standard 802.11ac, si un point d'accès souhaitait fournir un certain débit à un client, mais un débit plus élevé à un autre, le mieux qu'il pouvait faire était de planifier le nombre approprié de PPDU en liaison descendante dans le domaine temporel (avec les techniques de mise en file d'attente et de modelage, par exemple) et d'espérer que le client soit en mesure d'allouer un nombre suffisant de TXOP pour les UL-PPDU. En raison du manque d'efficacité et de prévisibilité, il est difficile de fournir une quelconque garantie quant au débit et à d'autres indicateurs de performances clés, comme le retard et l'instabilité.

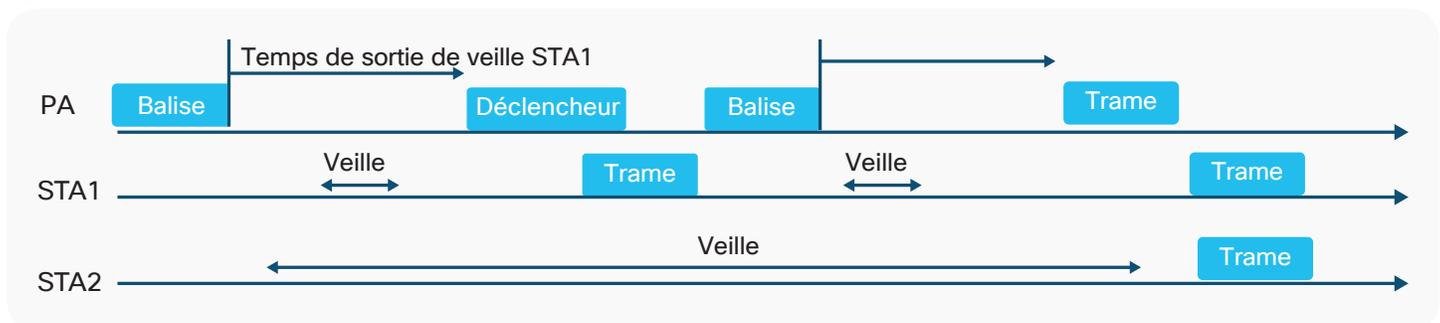
Avec la méthode OFDMA, nous disposons à présent d'une unité de temps et d'une fréquence de ressource DL plus précise ainsi que, pour la première fois, du moyen d'allouer explicitement des unités de ressources dans la liaison ascendante. Cette capacité d'allocation des ressources/unités bidirectionnelle est comparable au bloc de ressources (RB) LTE et permet de former une ressource virtuelle ou « tranche » dans la terminologie 5G. Comme on l'imagine, cette tranche 802.11ax dispose de divers attributs liés notamment à la bande passante, le retard et l'instabilité, permettant ainsi une qualité de service plus précise que celle qui était disponible avec le standard 802.11 ac.

### 3.3.2 La planification flexible des appareils à faible consommation

Avec les précédentes générations du standard 802.11, les appareils à faible consommation, tels que les téléphones mobiles, étaient équipés d'une fonction U-APSD (Unscheduled Automatic Power Save Delivery) ou WMM-PS (Wi-Fi Multi Media Power-Save). Dans ce mode, le point d'accès d'un client peut mettre en tampon les transmissions au lieu de les envoyer immédiatement. En effet, le point d'accès signale la disponibilité des données dans des balises périodiques par le biais d'un message TIM (Traffic Indication Message), permettant ainsi au client de garder son récepteur radio éteint (économie d'énergie) et de ne le réactiver que périodiquement pour recevoir des balises (généralement à une fréquence correspondant à un multiple de 102,4 ms). Cependant, ce strict respect des balises limite l'économie d'énergie potentielle pour les objets connectés à l'IoT qui ne requièrent pas d'accès régulier aux canaux, comme les téléphones mobiles, mais qui doivent être prêts à recevoir un appel téléphonique.

Le standard 802.11ax et sa nouvelle fonctionnalité de planification OFDMA offrent un nouveau mode d'économie d'énergie, appelé Target-Wakeup Time (TWT), qui élimine cette relation étroite entre les balises de point d'accès et le temps de veille de l'appareil. En règle générale, la station demande à planifier la sortie de veille à un moment donné, ce qui entraîne d'importantes économies d'énergie pour les dispositifs alimentés par batterie, en particulier dans l'espace IoT (Figure 5).

Figure 5. Fonctionnement du mode TWT (Target Wakeup Time)



Le mode TWT peut également être utilisé comme méthode de planification de liaison ascendante comparable à UL-OFDMA. En d'autres termes, étant donné que le mode fait passer effectivement les clients en veille avec une heure de sortie de veille prédéfinie (à leur demande), il permet de bénéficier de temps de transmission déterministes et de la planification de liaison ascendante. Le point d'accès peut ainsi réduire la contention (utilisation plus distribuée des canaux) et éliminer les retards pour booster les performances applicatives.

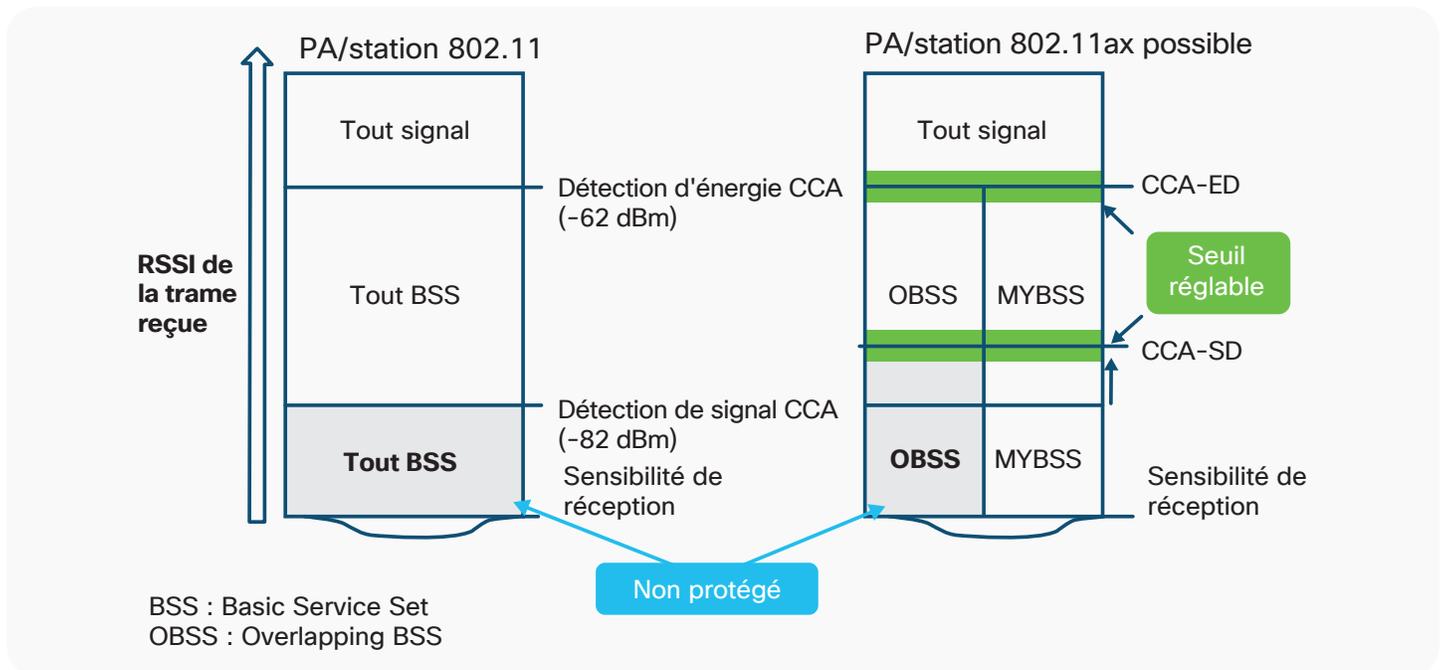
### 3.3.3 Améliorer la capacité tout en réduisant les incertitudes liées à la planification

Il est notoire que la gestion CCI est essentielle dans les fréquences sans licence, dans la mesure où elle réduit sensiblement la capacité totale du système. Elle perturbe également les tâches de planification des points d'accès, car les points d'accès voisins (appartenant à d'autres réseaux, par exemple) ne sont généralement pas coordonnés. Le standard IEEE 802.11ax offre un mécanisme efficace pour gérer les interférences CCI selon un principe qui consiste à différencier les transmissions de sa propre cellule (BSS) de celles d'une autre cellule, BSS ou OBSS.

Le standard 802.11ax prend en charge la détection de paquets OBSS (OBSS-PD) dynamique qui permet aux clients/points d'accès d'un BSS d'ignorer les trames provenant d'autres BSS, qui sont généralement éloignés. Pour obtenir cette configuration, on sélectionne de manière dynamique des seuils CCA (Clear Channel Assessment) appropriés et des niveaux de puissance de transmission (TXP) minimums pour atteindre les membres de leur propre BSS et recevoir des données de ces derniers.

Ce schéma est illustré à la Figure 6.

Figure 6. OBSS et BSS Color



Cette approche offre plusieurs bénéfices, notamment un gain de capacité système, mais aussi une réduction sensible de la variation de la latence, dans la mesure où il est beaucoup moins probable que le TXOP du client ou du point d'accès de diffusion soit retardé par un voisin amical (ou non autorisé).

### 3.4 Comment l'IEEE a-t-il rendu le standard 802.11ax plus robuste ?

L'un des défis du standard 802.11 est de trouver un équilibre entre les besoins de couverture des clients et les exigences de performances globales du système. Avec le standard 802.11ac, il fallait faire en sorte que les débits de données minimums des clients restent suffisamment élevés pour optimiser l'utilisation des fréquences, car un seul appareil à la fois avait accès à l'antenne. Nous avons donc privilégié les performances globales au détriment de la couverture. Cependant, ce n'est plus le cas avec OFDMA, dans la mesure où plusieurs utilisateurs accèdent au support en même temps et où leur impact se limite à une plus petite partie du canal. Dans ce contexte, les concepteurs du standard 802.11ax ont été en mesure d'étendre la couverture :

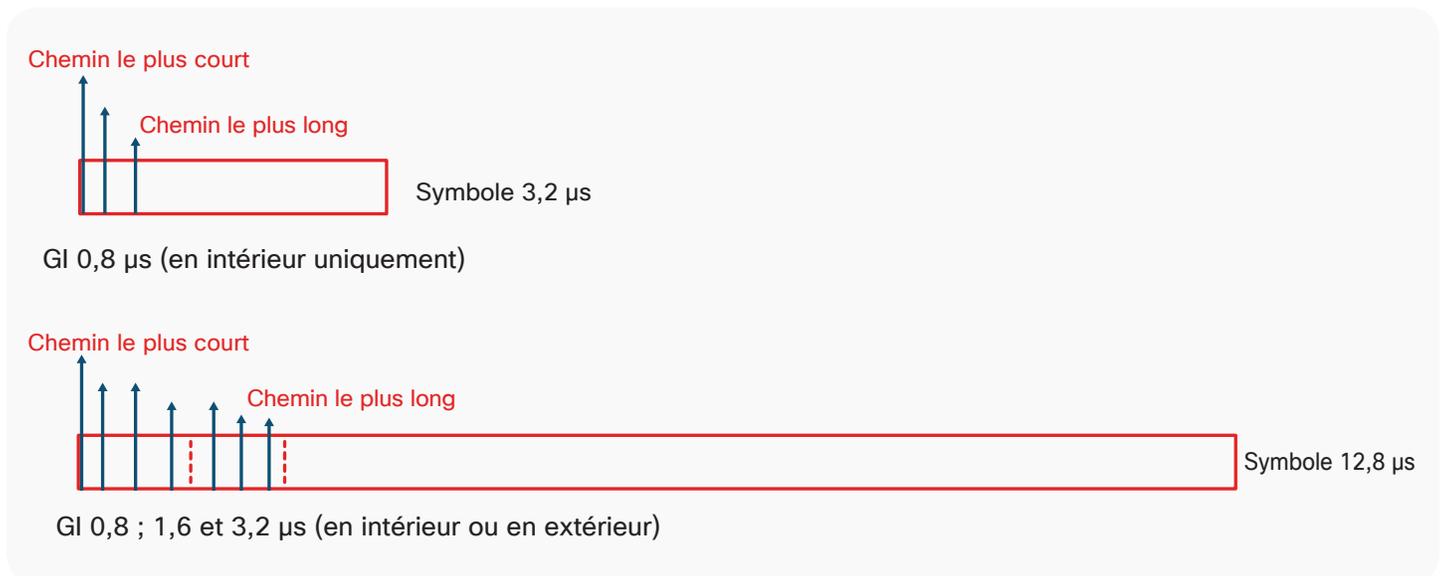
- En intégrant des modes à faible débit et à faible consommation.
- En utilisant une synchronisation PHY flexible.

Les débits de données très faibles permettent de résoudre le problème de décodage des signaux à longue portée ou dans des environnements bruyants, dans la mesure où les unités de ressources plus petites (c'est-à-dire, un nombre réduit de sous-porteuses OFDMA) nécessitent moins d'énergie totale, tout en offrant le même rapport signal/bruit (S/B). Alors que le plus petit canal du standard 802.11ac était de 20 MHz, la plus petite unité de ressource du standard 802.11ax est de 2 MHz, entraînant une réduction très importante de 8 dB de la puissance de bruit, tout en réduisant également la puissance de signal requise de 8 dB. Dans cette situation, le standard 802.11ax tolère 8 dB de bruit en plus et déploie une zone de couverture beaucoup plus étendue pour les clients à faible débit binaire (comme les données de télémétrie IoT).

La synchronisation PHY flexible, y compris l'intervalle de garde (GI), résout le problème d'évanouissement par trajets multiples (en extérieur, par exemple), selon lequel l'énergie d'écho d'un symbole OFDM s'insinue dans le symbole OFDM suivant, provoquant ainsi des interférences intersymbole (ISI). Cet intervalle de garde plus robuste offre un débit jusqu'à deux fois plus élevé dans les environnements extérieurs, tels que ceux desservis actuellement par la technologie cellulaire/LTE. Ensemble, ces deux fonctionnalités permettent aux opérateurs Wi-Fi de proposer des solutions Wi-Fi économiques et séduisantes avec technologie 4G LTE et 5G-NR pour l'espace IoT à débit réduit.

Comme le montre la Figure 7, lorsque l'espace du canal RF est compact (dans le cas des petites cellules en intérieur, par exemple), le retard de diffusion (DS) ou la différence entre le trajet le plus court et le plus long est faible (100 mètres, par exemple) et il en est de même pour le retard de diffusion (300 ns, par exemple). Cependant, lorsque l'espace du canal RF est étendu (dans les grandes cellules en extérieur, par exemple), le retard de diffusion est important ; un composant de signal peut, par exemple, être en visibilité directe, mais le suivant peut rebondir sur un bâtiment distant, ce qui se traduit par une différence de trajet d'environ 1 km et, par conséquent, un retard de diffusion très élevé (3,2  $\mu$ s). Dans tous les systèmes OFDMA, tels que 802.11ax et LTE, l'intervalle de garde OFDMA doit être plus long que le retard de diffusion afin d'éviter des erreurs de décodage importantes causées par les interférences intersymbole ou le chevauchement temporel d'une version d'un signal sur elle-même. Aussi, pour prendre en charge les canaux en extérieur (en ville, par exemple) ou mixtes (un stade ou un point d'accès, par exemple), l'intervalle de garde du standard 802.11ax peut être étendu de la spécification d'origine de 0,8  $\mu$ s du standard 802.11ac à 1,6  $\mu$ s voire 3,2  $\mu$ s en fonction du type de canal.

Figure 7. Options de synchronisation PHY

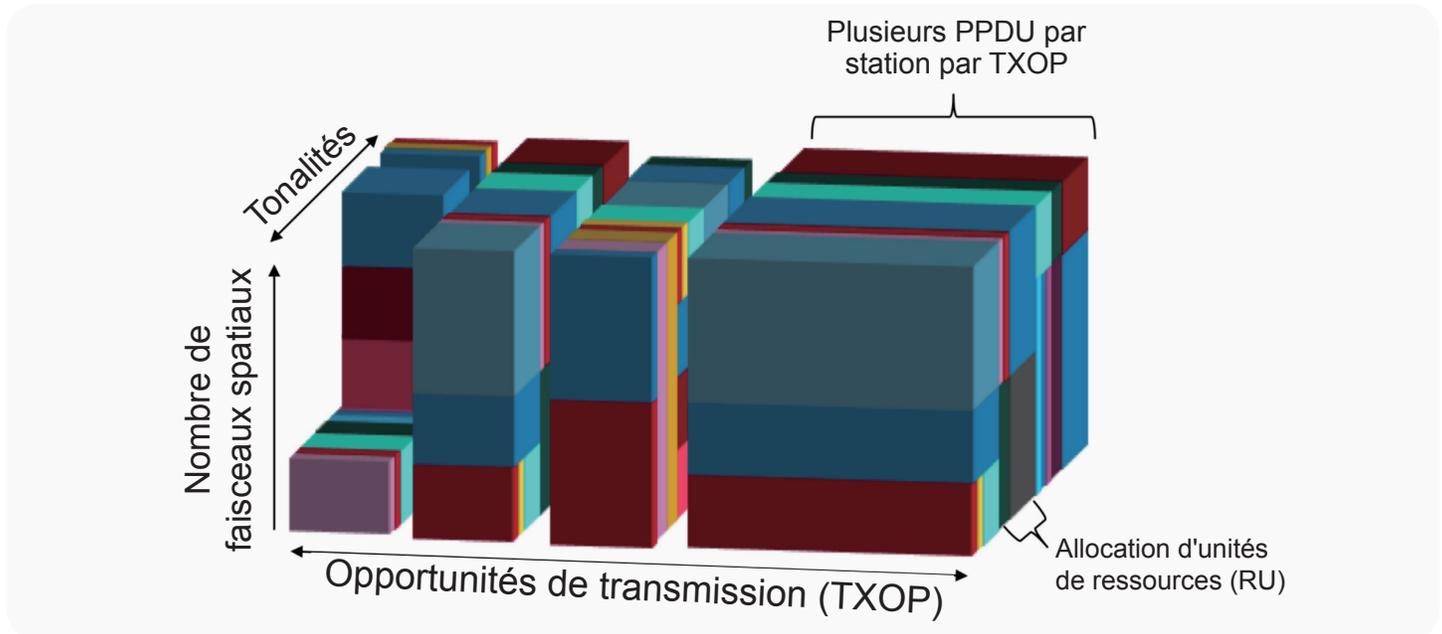


### 3.5 Présentation de la technologie

#### 3.5.1 OFDMA et l'allocation d'unités de ressources

La possibilité d'allouer une unité de ressources, c'est-à-dire un ensemble de sous-porteuses (« tonalités ») OFDMA contiguës à chaque client ou station (STA) d'une même PDU est propre au standard 802.11ax. La plus petite unité de ressource comprend 26 tonalités (2 MHz) et la plus grande, 2 x 996 tonalités (160 MHz), ce qui offre donc une grande flexibilité pour trouver un équilibre entre les performances agrégées (moyennes) et le débit de pointe. Dans le même temps, le standard 802.11ax prend en charge la technologie MIMO multi-utilisateur (MU) et peut allouer entre 1 et 8 faisceaux spatiaux (SS) à chaque station (voir Figure 8).

Figure 8. Dimensions des ressources OFDMA



La technique OFDMA en liaison descendante fonctionne comme suit :

1. Le point d'accès détermine le nombre de stations et la taille de chaque unité de ressource dans ce TXOP, et renseigne ces informations dans un champ du préambule de la PPDU.
2. Le point d'accès transmet les données de liaison descendante à plusieurs stations dans l'unité de ressource qui leur a été allouée (MU-PPDU).
3. Le point d'accès demande une reconnaissance de bloc (BA) auprès de toutes les stations (MU-BAR).
4. Les stations renvoient les reconnaissances de bloc au point d'accès (M-CB).

La technique OFDMA en liaison ascendante fonctionne comme suit :

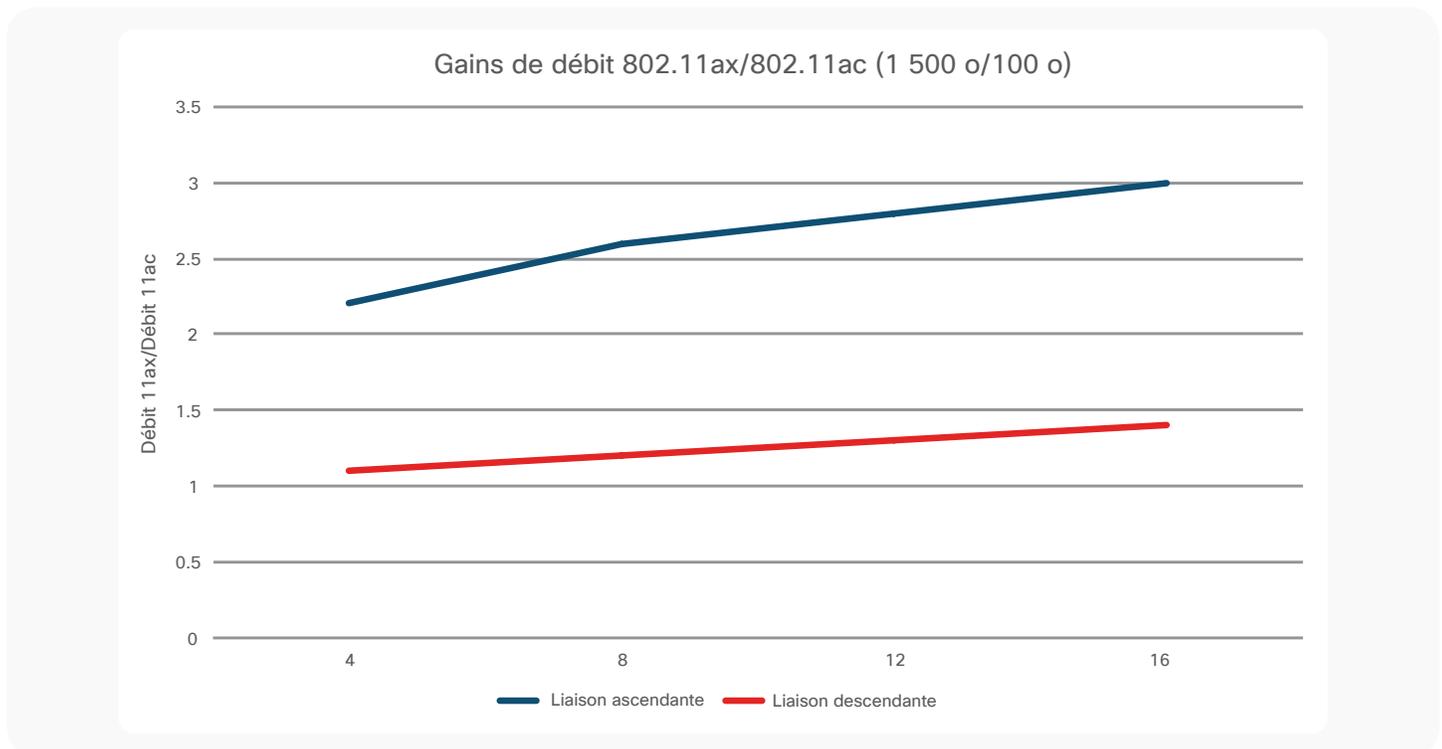
1. Le point d'accès détermine les stations auxquelles des données doivent être demandées ainsi que le nombre d'unités de ressources qui leur sont allouées.
2. Le point d'accès demande ou interroge les données de la station avec un déclencheur (déclencheur HE).
3. Les stations répondent avec des données (MU-PPDU en liaison ascendante).
4. Le point d'accès répond avec un accusé de réception (M-BA).

Contrairement au standard 802.11ac, le point d'accès 802.11ax contrôle l'allocation des unités de ressources en liaison ascendante et descendante en fonction de chaque PPDU, ce qui peut être considéré comme une forme de planification des points d'accès (dans les domaines de l'espace et de la fréquence). Bien que le standard 802.11ax ne spécifie pas formellement une planification temporelle semblable au standard LTE avec des fréquences sous licence, on peut imaginer que des techniques de QoS ou de mise en file d'attente avancées soient utilisées pour obtenir des résultats similaires à la technologie cellulaire, dans la mesure où l'infrastructure de base est déjà en place et où un réseau utilisant exclusivement la technologie 802.11ax présenterait d'excellentes capacités de gestion des interférences et du spectre.

Dans le cas des applications stratégiques et sensibles à la latence, telles que la réalité augmentée, la réalité virtuelle et l'IoT, la fonctionnalité de planification des points d'accès est essentielle pour bénéficier des caractéristiques souhaitées d'augmentation du débit effectif et de déterminisme. De même, la station doit prendre en charge les directives du point d'accès pour garantir une expérience optimale. C'est un facteur de différenciation entre les fournisseurs, en particulier lorsque l'interopérabilité entre le point d'accès et la station joue un rôle clé pour garantir des performances optimales.

S'agissant du débit, le gain (par rapport au standard 802.11ac) est illustré à la Figure 9. Les gains de liaison descendante et ascendante sont présentés par rapport aux clients simultanés (STA). Par exemple, avec seulement 4 stations, le débit de liaison descendante 802.11ax (avec des grands paquets de 1 500 octets) est seulement 10 % plus élevé qu'avec le standard 802.11ac. Dans le cas du débit de liaison ascendante, ce gain atteint en revanche 120 %. En règle générale, plus il y a de clients et de points d'accès dans chaque accès de canaux ou TXOP, plus le gain d'efficacité par rapport au standard 802.11ac est important, en particulier avec les petits paquets (voix, vidéo et accusés de réception TCP, par exemple).

Figure 9. Gains de liaison descendante et ascendante par rapport à la station



### 3.5.2 1024-QAM

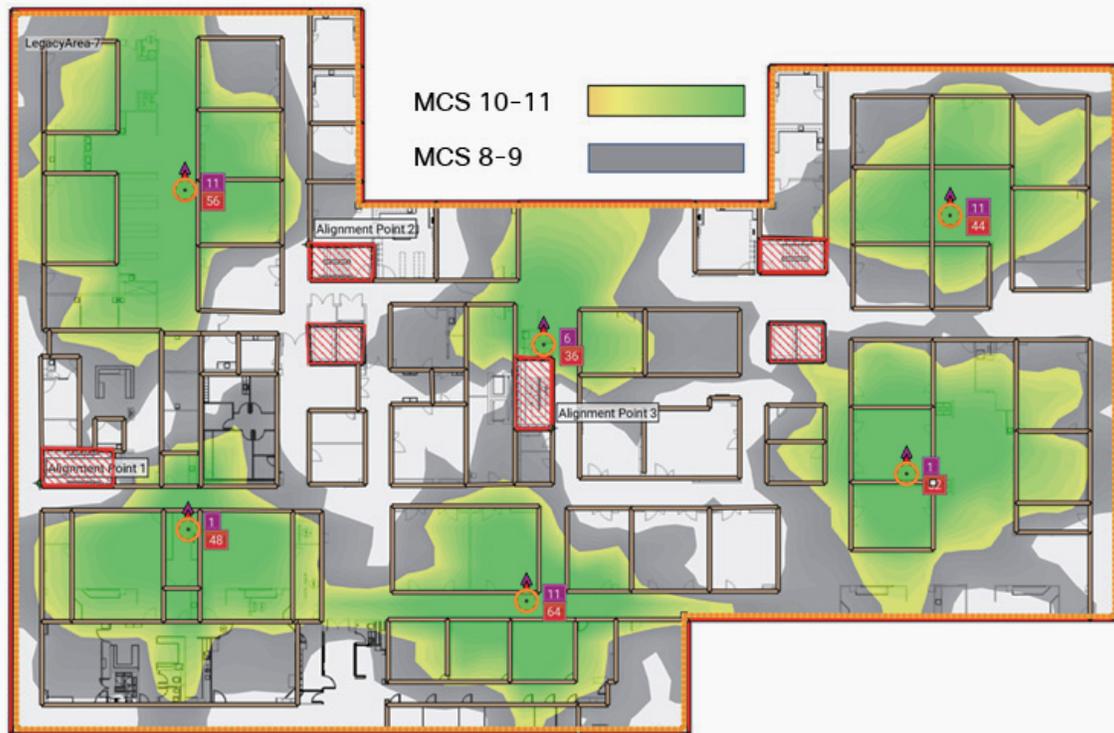
La méthode 1024-QAM est ajoutée au standard 802.11ax en l'associant à des taux de codage 3/4 et 5/6 afin de créer deux nouveaux schémas de modulation/codage (MCS – Modulation and Coding Scheme) 10 et 11. Le gain de débit brut par rapport à la méthode 256-QAM 802.11ac est de 10/8 ou 25 %. Ainsi, le standard 802.11ax est la première technologie sans fil commerciale capable d'offrir des débits de l'ordre du gigabit avec une seule antenne.

On s'attend à ce que les effets de la modulation 1024-QAM sur le débit cellulaire global soient plus importants pour les cellules plus petites et plus denses (<230 m<sup>2</sup>) que pour les cellules plus étendues (>460 m<sup>2</sup>). Néanmoins, les débits maximaux de 4,8 Gbit/s permettront de bénéficier de nouvelles capacités, telles que la réalité virtuelle immersive de qualité professionnelle à l'aide de visiocasques sans fil.

Ce haut débit a un coût, à savoir des points de constellation plus serrés de 50 %, qui se traduit par une exigence S/B plus élevée d'environ 6 dB. Cependant, contrairement au standard 802.11ac, le standard 802.11ax est conçu pour prendre en charge 8 antennes Tx et 8 antennes Rx, d'où des gains plus importants sur le plan de la formation de faisceaux d'émission et de la combinaison maximale des rapports (MRC) afin de compenser ce déficit. Du point de vue d'un déploiement Wi-Fi, les concepteurs doivent envisager ces débits maximaux en termes de capacité réseau requise.

Comme on peut le voir sur la carte thermique Ekahau de la Figure 10, dans un bureau d'entreprise standard, la zone de couverture de la modulation 1024-QAM (MCS 10-11) est, comme prévu, inférieure à celle de 256-QAM (MCS 8-9). Cependant, les zones clés sous le point d'accès jouissent d'une bonne couverture et les utilisateurs sont susceptibles d'y bénéficier de débits de plusieurs gigabits (selon la capacité de l'appareil).

Figure 10. Carte thermique Ekahau



### 3.5.3 La réutilisation spatiale (SR) et le fonctionnement d'OBSS

Quel que soit le système sans fil, y compris les réseaux 802.11 CSMA, il a toujours été compliqué de partager un même canal RF dans un même espace physique. Bien que le standard 802.11 réalise cette opération de manière plus ferme et plus élégante que les solutions alternatives, les clients (STA) et les points d'accès continuent d'agir indépendamment afin d'optimiser leur propre qualité d'expérience (QoE). Par exemple, il se peut que certains clients utilisent trop d'énergie si l'on tient compte de la proximité par rapport au point d'accès associé, créant ainsi des interférences inutiles, ou qu'ils en utilisent trop peu au vu des interférences et soient alors dans l'incapacité d'atteindre leur point d'accès.

D'un point de vue critique, le niveau du signal (RSSI) auquel une station détermine que le canal est « libre de transmettre » ou ce que nous désignons sous le nom de détection de porteuse (CS) a toujours été défini de façon prudente compte tenu des attentes minimales en termes de performances. Dans la pratique, il a toujours été complété par chaque fournisseur dans le but d'améliorer les performances. Toutefois, à l'avenir, le standard 802.11ax va standardiser ce comportement afin de garantir des performances optimales en formalisant quatre concepts :

1. OBSS (Overlapping Basic Service Set) désigne le chevauchement ou l'interférence entre un BSS (c'est-à-dire le point d'accès et ses stations associées) auquel la station est associée et un BSS voisin auquel elle n'est pas associée.
2. BSS Color est une méthode permettant de distinguer les BSS (c'est-à-dire les points d'accès et leurs clients) sur le même canal RF.
3. OBSS Packet Detection (PD) désigne la possibilité de détecter des signaux à partir d'autres BSS (OBSS).
4. Le contrôle du seuil CCA (Clear Channel Assessment) désigne la capacité d'un appareil à modifier sa sensibilité CCA en fonction du point d'accès auquel il est associé et de la transmission en cours.

Lorsque l'on associe ces concepts, il devient possible de gérer efficacement les interférences dans les réseaux gérés, tels que ceux déployés par les entreprises et les opérateurs télécoms. Pour être plus précis, cette capacité permet aux clients et aux points d'accès de convenir implicitement des seuils de signal « occupé » ou de détection de paquets requis ainsi que des niveaux de puissance de transmission (TXP).

La technologie BSS Color fonctionne comme suit :

- Chaque BSS (point d'accès) utilise une « couleur » différente (6 bits dans le préambule du signal ou SIG).
- Chaque station apprend son propre BSS lors de l'association et les autres BSS sont donc des OBSS.
- Les signaux ayant la même couleur BSS utilisent un faible seuil RSSI pour le report, réduisant ainsi les collisions au sein du même BSS.
- Les signaux ayant une couleur BSS différente utilisent un seuil RSSI plus élevé pour le report, autorisant ainsi davantage de connexions simultanées.

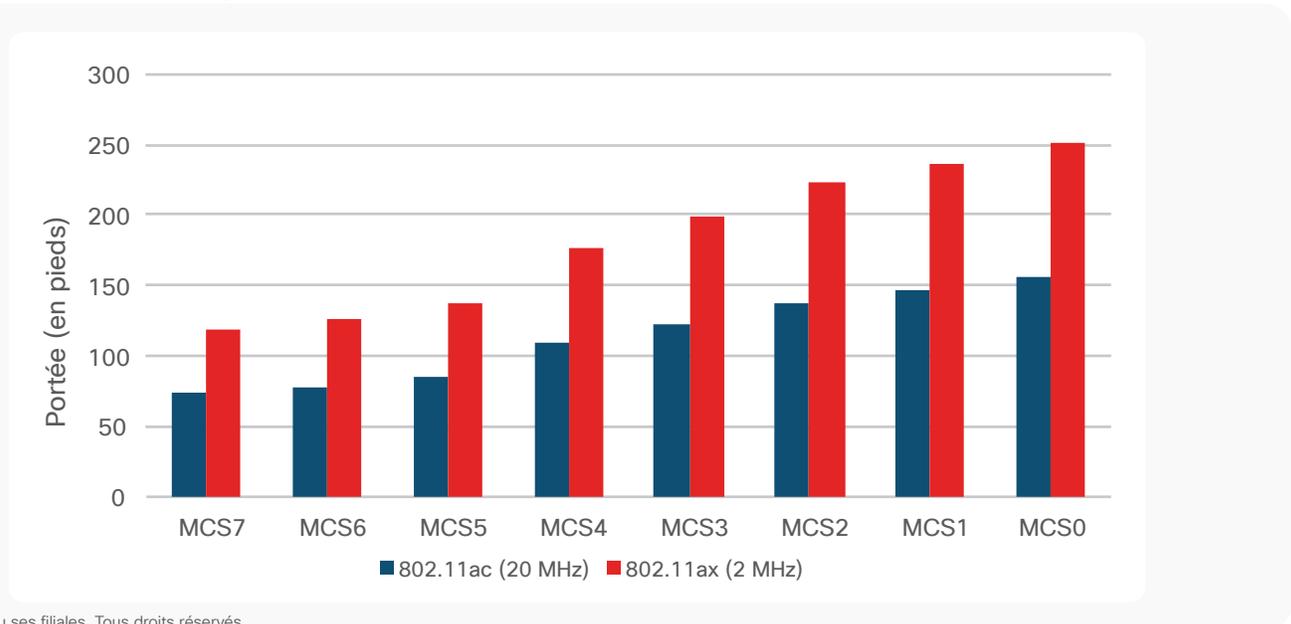
Fondamentalement, ce schéma échange un certain degré d'équité ubiquiste (en d'autres termes, toutes les stations « luttent à armes égales » pour obtenir un TXOP) contre une capacité par point d'accès plus élevée (en d'autres termes, les stations à l'intérieur de mon BSS sont prioritaires). Dans les réseaux d'entreprise managés à haute densité (HD), cette technique se montre efficace, alors que dans les environnements non managés, elle l'est moins et peut même nuire aux performances des clients. D'une manière générale, bien qu'il ne s'agisse pas de la solution idéale pour les puristes de la conception RF, si elle est utilisée de manière responsable, cette technique contribue grandement à améliorer les conditions dans un ensemble de scénarios où le comportement de chaque station entraîne une dégradation à l'échelle de la cellule.

À ce stade, il convient d'examiner de quelle manière la solution d'une entreprise ou d'un opérateur télécom peut compléter cette technique de base. Tout d'abord, il faut comprendre que la station répond aux conditions RF qu'elle perçoit. Il est donc essentiel que l'infrastructure WLAN ou Wi-Fi ait une vision précise du réseau tel que le voit le client afin d'offrir la meilleure qualité d'expérience possible. En effet, plus le WLAN peut recueillir de données historiques ou analytiques sur ses clients, mieux c'est, compte tenu de la diversité des clients dans l'écosystème. Ensuite, étant donné que les points d'accès coopèrent dans un groupe pour délivrer un service contigu, il est essentiel que la fonction RRM (Radio-Resource-Management) fournisse les conditions appropriées (à la périphérie de la cellule, par exemple) à la station pour qu'elle calcule les seuils CCA optimaux pour son propre BSS ainsi que pour les autres. En d'autres termes, la fonction RRM doit connaître BSS\_COLOR et OBSS\_PD pour prendre des décisions d'allocation RF. Dans tous les cas, BSS COLOR et OBSS\_PD vont assurément améliorer sensiblement la qualité d'expérience (QoE) et la capacité des réseaux d'entreprise et des opérateurs télécoms en optimisant les scénarios d'utilisation HD existants et peut-être en développant de nouveaux types d'activité pour les opérateurs Wi-Fi.

### 3.5.4 Débit et portée

Outre des débits plus élevés, le standard 802.11ax offre une portée plus étendue que le standard 802.11a/g/n/ac. Des débits de données effectifs plus faibles peuvent notamment être utilisés par le biais de l'allocation d'unité de ressource minimale (26 tonalités, 2 MHz) afin de fournir une augmentation du bilan de liaison allant jusqu'à 8 dB par rapport au standard 802.11ac. Ce gain est illustré à la Figure 11.

Figure 11. IEEE 802.11ax – Gain de portée 2 MHz (NLOS 5 GHz en intérieur)



## 4 Date de mise en œuvre de la technologie 11ax

Les produits compatibles avec IEEE 802.11ax sont l'aboutissement des efforts déployés par l'IEEE et la Wi-Fi Alliance. IEEE 802.11ax a proposé un amendement approuvé à la version 2.0 en septembre 2017 et fournira une version 3.0 améliorée en mai 2018, la ratification finale étant prévue pour fin 2019. Dans le même temps, il est prévu que la Wi-Fi Alliance utilise une première ébauche IEEE (version 2.0, par exemple) comme référence pour la certification d'interopérabilité de la première vague de produits mi-2019.

## 5 Quelles sont les conséquences de la technologie 11ax pour l'utilisateur ?

### 5.1 La compatibilité

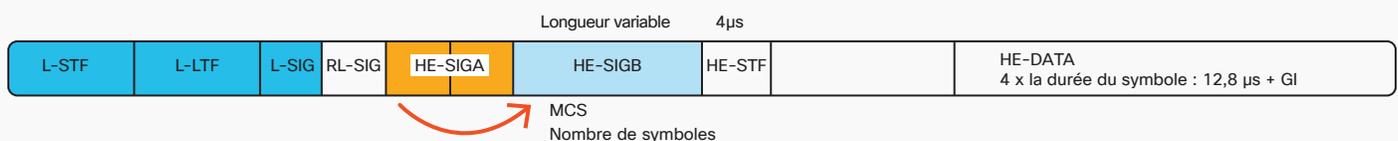
S'il est un facteur dont il n'est pas nécessaire de se soucier, c'est bien la compatibilité.

Le standard IEEE 802.11ax a été soigneusement élaboré pour offrir une compatibilité ascendante et descendante optimale avec les appareils 802.11a/g/n/ac. En effet, la conception de compatibilité 802.11ax est encore plus simple et plus directe que la compatibilité 802.11n avec les appareils 802.11a.

Un appareil 802.11ax doit prendre en charge tous les modes obligatoires des standards 802.11a/g/n et 802.11ac. Un point d'accès 802.11ax peut communiquer avec des clients 802.11a/g/n et 802.11ac à l'aide de PPDU au format 802.11a/g/n ou 802.11ac. C'est comme si le point d'accès était de type 802.11ac. De même, un client 802.11ax peut communiquer avec un point d'accès 802.11a/g/n ou 802.11ac à l'aide de PPDU 802.11a/g/n ou 802.11ac. Par conséquent, l'émergence des clients 802.11ax ne pose aucun problème avec l'infrastructure existante.

Le préambule du paquet au format 802.11ax (voir la Figure 12) est une extension du paquet existant au format 802.11a/g. Cette extension permet aux mécanismes CCA déjà en œuvre dans les appareils 802.11a/g/n et 802.11ac de continuer à s'exécuter dans un environnement 802.11ax. Dès que ces appareils voient le préambule 802.11ax, ils connaissent la durée de la PPDU et peuvent satisfaire cette requête temporelle. Les PPDU sont généralement suivies d'une trame Ack ou Block Ack envoyée dans une PPDU au format 802.11a/g. La compatibilité avec les appareils existants est ainsi garantie, ce qui leur permet à toutes de respecter les engagements temporels qui ont été définis avant de poursuivre leurs tâches habituelles. Dans le pire des cas, un appareil entend la PPDU 802.11ax, mais se trouve hors de portée de la station qui émet la trame Ack ou Block Ack (nœud caché). Dans ce cas, la station d'observation doit attendre plus longtemps (cette période est désignée sous le nom d'EIFS), le temps que la trame Ack ou Block Ack soit transmise, réduisant ainsi le risque de collision.

Figure 12. Format des signaux 802.11ax



Compte tenu de cette compatibilité au niveau du préambule, il n'est nul besoin pour les appareils 802.11ax de faire précéder leurs transmissions d'un CTS-to-Self ou RTS/CTS, bien qu'ils puissent choisir de les mettre en œuvre et de les envoyer pour protéger des PPDU plus longues. Cependant, le standard 802.11ax accepte les demandes RTS/CTS multi-utilisateurs, ce qui permet au point d'accès de réserver le canal (définition de NAV) pour plusieurs stations simultanément avec une seule PPDU MU-RTS qui est ensuite confirmée avec des PPDU CTS simultanées provenant de plusieurs stations. Ce scénario permet de remédier au manque d'efficacité des demandes CTS/RTS mono-utilisateur, qui prévalent aujourd'hui encore dans les réseaux 802.11ac, tout en protégeant les transmissions 802.11ax.

## 5.2 Quand passer à la technologie 802.11ax ?

Les entreprises et les opérateurs télécoms ont la chance de pouvoir choisir entre deux technologies performantes :

- IEEE 802.11ac avec MU-MIMO, formation de faisceaux et débits allant de 290 à 1 300 Mbit/s sur une plage de 80 MHz
- IEEE 802.11ax avec un maximum de 8 faisceaux spatiaux (SS) et des vitesses de 600 à 1 800 Mbit/s pour les clients (avec 1024-QAM), plus une prévisibilité supplémentaire pour des applications avancées

IEEE 802.11ac est disponible dès aujourd'hui et se montre particulièrement fiable pour la plupart des scénarios d'utilisation actuels.

IEEE 802.11ax représente l'avenir des réseaux locaux sans fil, mais les points d'accès 802.11ax certifiés Wi-Fi ne seront pas disponibles avant plusieurs mois. Les clients (smartphones, tablettes, ordinateurs portables, etc.) prenant en charge le standard 802.11ax sont prévus pour 2019. Le standard 802.11ax offre plusieurs bénéfices :

- La diffusion de vidéo 4K/8K dans la zone de couverture vers plusieurs utilisateurs simultanés (sans doute un réel soulagement pour tous ceux qui ont un adolescent à la maison)
- Les clients à ultra-haute densité (UHD)
- Le déterminisme pour les applications AR/VR et des économies d'énergie significatives, en particulier pour les objets IoT

La plupart des entreprises clientes déploient de nouveaux points d'accès en même temps qu'elles équiperont un bâtiment ou modernisent un espace. Nous recommandons à ces clients d'installer aujourd'hui des points d'accès 802.11ac Wave 2, en raison des bénéfices inhérents à ce standard. Il convient également de tenir compte de l'infrastructure (débits des ports) des réseaux LAN et WAN, car le standard 802.11ac offrant dès aujourd'hui des débits supérieurs au gigabit, ce sera le cas également du standard 802.11ax, ce qu'il est important de considérer dans le cadre de vos plans d'investissement.

Le déterminisme et la prévisibilité sont de plus en plus essentiels aux performances des applications stratégiques. Le rythme d'évolution de l'IoT dépasse toutes les prévisions. C'est pourquoi la technologie 802.11ax est un choix des plus judicieux. La plus-value du standard 802.11ax dépasse tout différentiel de prix raisonnable et pérennise vos investissements, sans porter atteinte à vos réalités opérationnelles actuelles.

## 6 Résumé

Le standard IEEE 802.11ax est un pas en avant majeur pour les réseaux locaux sans fil.

Outre des débits effectifs plus élevés, cette sixième génération de Wi-Fi établit de nouveaux modèles commerciaux et offre de nouvelles utilisations, notamment :

- Le déchargement de porteur complet de l'opérateur télécom
- La convergence IT/IoT
- Les applications en temps réel, telles que la réalité augmentée/virtuelle ou la vidéo 4K/8K de niveau professionnel

Comme pour tous les progrès récents réalisés dans le domaine du Wi-Fi, le standard 802.11ax est rétrocompatible ; il s'appuie sur les technologies existantes et les rend encore plus efficaces, ce qui permet une transition en douceur de la base installée, avec des gains croissants à mesure que la clientèle migre vers le standard 802.11ax. Dès que le standard 802.11ax sera disponible, il conviendra d'envisager son adoption, même si la densité de clients pour la technologie continue d'évoluer. En attendant, les entreprises et les opérateurs télécoms qui songent à investir à long terme dans les réseaux locaux sans fil sont invités à considérer les points d'accès 802.11ac.