

Groupe 5 : Baptiste PRUNEAU, Benjamin GAIRE, Thomas NANTIER

IEEE 802.11

Bloc 1 : Support et mise à disposition de services informatiques

Table des matières

Qu'est que la norme IEEE 802.11	2
Origine de la norme.....	2
Explication technique.....	2
Couche physique (PHY).....	2
Sous-couche MAC (Medium Access Control).....	2
Structure de la norme	3
Les points clés.....	3
Evolution de la norme.....	4
Protocole.....	4
Les fréquences	4
Largeur de la bande (MHz et GHz).....	4
Les débits.....	4
Le codage.....	5
Portée	5
Protocole de sécurité.....	5
Avantage et inconvénients	5
Avantages.....	5
Inconvénients.....	6
Les constructeurs qui utilisent la norme.....	6
Routeurs et bornes Wifi.....	6
Ordinateurs / Smartphones	6
Objets connectés / IoT	6
Interopérabilité et compatibilité	6
Les sources.....	7

Qu'est que la norme IEEE 802.11

Origine de la norme

La norme IEEE 802.11 a été créée dans les années 1990 par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) pour répondre au besoin de connecter des appareils sans fil sur de courtes distances. Elle fait partie du groupe IEEE 802, dédié aux réseaux locaux. La première version de la norme est publiée en 1997.

Son objectif est d'unifier les communications sans fil entre appareils, quelle que soit leur marque, grâce à un langage technique commun. Cette norme devient rapidement la base du Wi-Fi. Elle évolue au fil du temps pour améliorer le débit, la portée, la fiabilité et la sécurité.

Aujourd'hui, IEEE 802.11 est le socle technique de toutes les connexions Wi-Fi modernes et continue d'être développée par l'IEEE en collaboration avec l'industrie du numérique.

Explication technique

Cette norme opère au niveau des deux premières couches du modèle OSI : la couche physique (PHY) et la couche liaison de données, plus précisément la sous-couche MAC (Medium Access Control).

Couche physique (PHY)

La couche physique est responsable de la transmission et de la réception des signaux radio. Elle définit :

- Les bandes de fréquences utilisables : 2,4 GHz, 5 GHz, et depuis Wi-Fi 6E/7, 6 GHz ;
- Les techniques de modulation comme DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ou QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ;
- La largeur des canaux (20, 40, 80, 160 voire 320 MHz) ;
- Les technologies d'optimisation comme MIMO (Multiple Input Multiple Output) ou Beamforming.

Chaque version (ex. 802.11n, 802.11ac, 802.11ax) propose des améliorations au niveau physique pour augmenter le débit, la robustesse du signal et la capacité du réseau.

Sous-couche MAC (Medium Access Control)

La couche MAC gère l'accès concurrent au canal radio, via le protocole CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Contrairement à Ethernet (CSMA/CD), elle doit éviter les collisions avant qu'elles ne se produisent, car il est difficile de détecter un conflit dans un médium radio.

Elle prend également en charge :

- la fragmentation et réassemblage des trames,
- le contrôle d'erreur (accusés de réception ACK),
- la gestion de la QoS (Quality of Service),
- la négociation de sécurité (WPA2, WPA3),
- les mécanismes de roaming entre points d'accès,
- la gestion de l'économie d'énergie (notamment pour les appareils mobiles et IoT).

Structure de la norme

En plus de ces couches, la norme est structurée en une norme de base (publiée en 1997) suivie de nombreux amendements successifs, chacun correspondant à une évolution technique.

Ces amendements sont régulièrement regroupés dans des versions consolidées appelées "roll-up" (ex : IEEE 802.11-2016, IEEE 802.11-2020).

Chaque version comprend également des sections sûres :

- les formats de trames,
- les procédures de sécurité (WEP, WPA, WPA2, WPA3),
- la gestion d'énergie,
- la qualité de service (QoS),
- le roaming entre points d'accès,
- la coexistence avec d'autres technologies (Bluetooth, Zigbee, etc.).

Les points clés

Point Clés	Fonction principale
Réseau WLAN	Communication sans fil à courte portée
CSMA/CA	Accès au canal partagé sans collision
Bandes de fréquences	2,4 / 5 / 6 GHz selon la version
Débits évolutifs	De 2 Mbps à 30+ Gbps selon les technologies
Topologie réseau	Infrastructure, Ad-hoc, Mesh
Sécurité	WPA2, WPA3, chiffrement AES
Technologies supplémentaires	MIMO, OFDMA, Beamforming, etc.
Interopérabilité	Compatibilité entre tous les appareils Wi-Fi

Evolution de la norme

Protocole

La norme IEEE 802.11 repose sur un protocole de communication sans fil structuré autour du mécanisme CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).

Ce protocole permet aux équipements d'accéder au canal radio de manière ordonnée en évitant les collisions. Le protocole intègre également des procédures comme l'envoi d'accusés de réception (ACK), des temporisations aléatoires et des mécanismes de contrôle d'accès pour garantir une transmission efficace dans un environnement partagé.

Les fréquences

Les différentes versions de la norme IEEE 802.11 utilisent plusieurs bandes de fréquences. Historiquement, la bande 2,4 GHz a été la première utilisée (802.11b/g/n), puis la bande 5 GHz a été introduite avec 802.11a et exploitée pleinement à partir de 802.11ac.

Plus récemment, la bande 6 GHz est apparue avec la version Wi-Fi 6E (802.11ax étendu) et sera pleinement exploitée par Wi-Fi 7 (802.11be). Chaque bande offre des avantages en termes de portée et de débit.

Largeur de la bande (MHz et GHz)

La largeur de bande correspond à la taille des canaux radio utilisés pour transmettre les données. Plus elle est grande, plus le débit potentiel est élevé.

Par exemple, 802.11n permettait jusqu'à 40 MHz, 802.11ac jusqu'à 160 MHz, et 802.11be ira jusqu'à 320 MHz.

Ces canaux sont inclus dans les bandes de fréquence (2,4 GHz, 5 GHz, 6 GHz) et permettent une transmission simultanée de plusieurs flux.

Les débits

Les débits ont considérablement évolué depuis la première version de la norme. En 1997, le débit maximum était de 2 Mbps. Avec 802.11n, il est monté jusqu'à 600 Mbps, puis à plus de 6 Gbps avec 802.11ac.

La norme 802.11ax (Wi-Fi 6) permet jusqu'à 9,6 Gbps, tandis que 802.11be (Wi-Fi 7) vise des débits supérieurs à 30 Gbps.

Ces performances sont rendues possibles grâce à l'agrandissement des canaux, à l'augmentation du nombre de flux MIMO et à des techniques de codage plus avancées.

Le codage

Le codage des données radio a évolué pour améliorer la vitesse et la fiabilité. Les premières normes utilisaient des modulations simples comme DSSS ou FHSS.

À partir de 802.11a/g, l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est introduit, permettant de transmettre plusieurs sous-porteuses en parallèle.

Des modulations plus complexes comme 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM (802.11ax) et 4096-QAM (802.11be) permettent d'augmenter le débit en encodant plus de bits par symbole.

Portée

La portée d'un signal Wi-Fi dépend de la bande de fréquence, de la puissance d'émission et des obstacles.

La bande 2,4 GHz offre une portée plus longue mais avec un débit moindre, tandis que les bandes 5 et 6 GHz offrent un meilleur débit mais une portée plus courte.

Des technologies comme le beamforming, le MIMO et la gestion dynamique du canal améliorent la couverture en concentrant le signal vers les appareils connectés.

Protocole de sécurité

La sécurité des réseaux Wi-Fi a évolué pour répondre aux nouvelles menaces. La norme a commencé avec WEP (faible sécurité), remplacé par WPA puis WPA2 (utilisant le chiffrement AES).

Aujourd'hui, WPA3 est la référence pour les nouveaux équipements, apportant une meilleure protection contre les attaques par dictionnaire et une sécurité renforcée sur les réseaux publics grâce au chiffrement individualisé (SAE – Simultaneous Authentication of Equals).

Avantage et inconvénients

Avantages

La norme IEEE 802.11 permet une connexion sans fil rapide et flexible, adaptée aux environnements domestiques, professionnels et publics. Elle offre une grande mobilité, réduit les coûts d'installation (pas de câbles), et permet de connecter un grand nombre d'appareils.

Grâce à ses différentes évolutions, elle garantit des débits élevés, une meilleure gestion de l'énergie, ainsi qu'un renforcement de la sécurité (avec WPA3).

Elle est aussi universellement adoptée, ce qui garantit une interopérabilité entre les appareils de marques différentes.

Inconvénients

Malgré ses avantages, le Wi-Fi reste moins stable que les connexions filaires (Ethernet), notamment à cause des interférences radio, des murs, ou de la distance.

Les performances peuvent varier selon la bande de fréquence et le nombre d'utilisateurs connectés. De plus, la sécurité dépend souvent d'une bonne configuration par l'utilisateur.

Enfin, les bandes 5 GHz et 6 GHz offrent un meilleur débit mais une portée plus faible.

Les constructeurs qui utilisent la norme

Routeurs et bornes Wifi

Les fabricants de routeurs et points d'accès intègrent tous les standards IEEE 802.11. Parmi les plus connus, on trouve TP-Link, Netgear, Asus, D-Link, Cisco, Ubiquiti ou encore Huawei.

Ces équipements sont certifiés pour supporter les dernières normes (Wi-Fi 5, 6, 6E, voire 7), avec des fonctionnalités avancées comme le MIMO, Beamforming, OFDMA.

Ordinateurs / Smartphones

Les constructeurs de PC portables comme HP, Lenovo, Dell, Asus et les fabricants de smartphones comme Apple, Samsung, Xiaomi, Google, OnePlus utilisent des chipsets Wi-Fi conformes à IEEE 802.11 dans leurs appareils.

Ces équipements sont compatibles avec plusieurs versions de la norme pour assurer une connexion efficace en tout lieu.

Objets connectés / IoT

De nombreux objets connectés utilisent la norme IEEE 802.11 pour se connecter à Internet.

Cela inclut les caméras de surveillance, enceintes intelligentes (ex : Google Home, Amazon Echo), thermostats (Nest), balances connectées, lampes Philips Hue, etc.

Pour ces appareils, le Wi-Fi permet une communication continue sans nécessiter d'un hub filaire.

Interopérabilité et compatibilité

L'un des grands atouts de la norme IEEE 802.11 est l'interopérabilité : les équipements conformes peuvent communiquer entre eux même s'ils sont fabriqués par des marques différentes.

Cela est garanti par la Wi-Fi Alliance, qui teste les produits pour vérifier leur compatibilité.

Ainsi, un smartphone Apple peut se connecter sans problème à un routeur TP-Link, ou une imprimante HP peut fonctionner avec un PC Lenovo via le Wi-Fi.

Les sources

-  [IEEE 802.11 Working Group](#)
-  [Wi-Fi Alliance - Certifications](#)
-  [Wikipedia - IEEE 802.11](#)
-  [Wireless Standards – Cisco Press](#)