

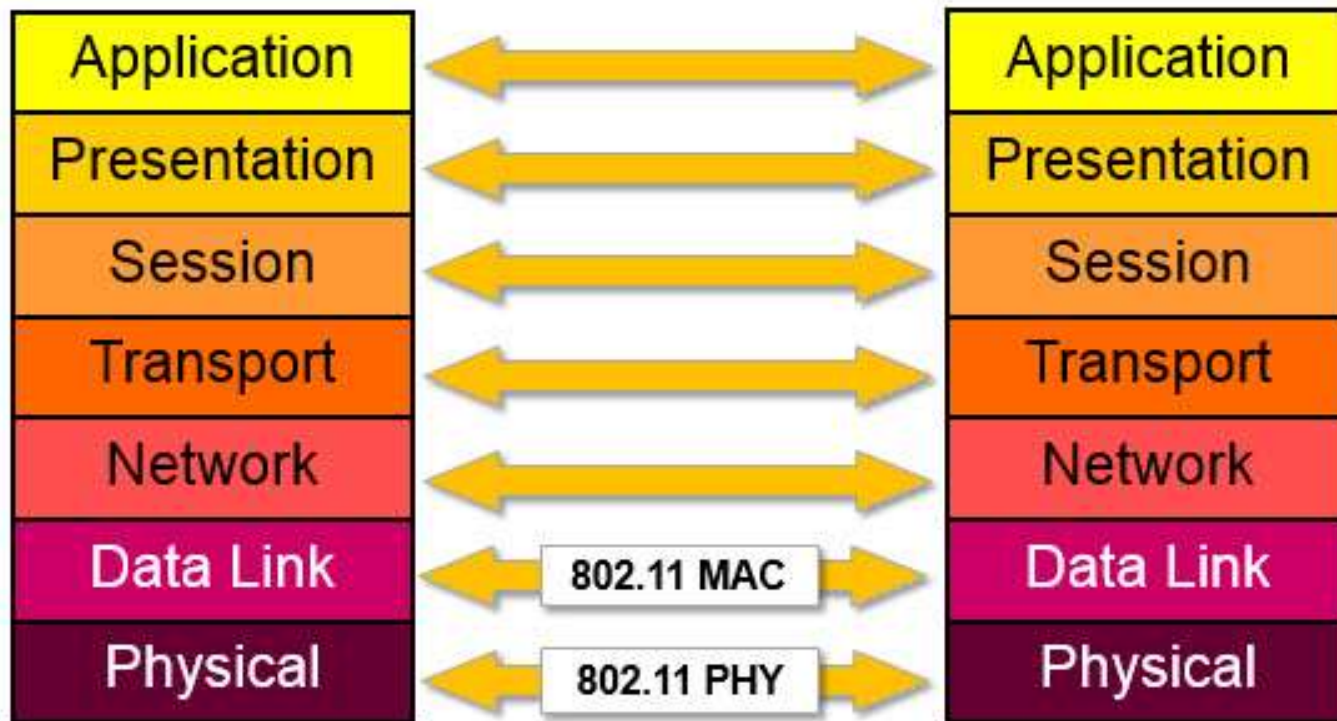
UMKB/Département d'Informatique/M1RTIC

Cours :

Les couches OSI 802.11

Dr. AYAD Soheyb

V 1.6

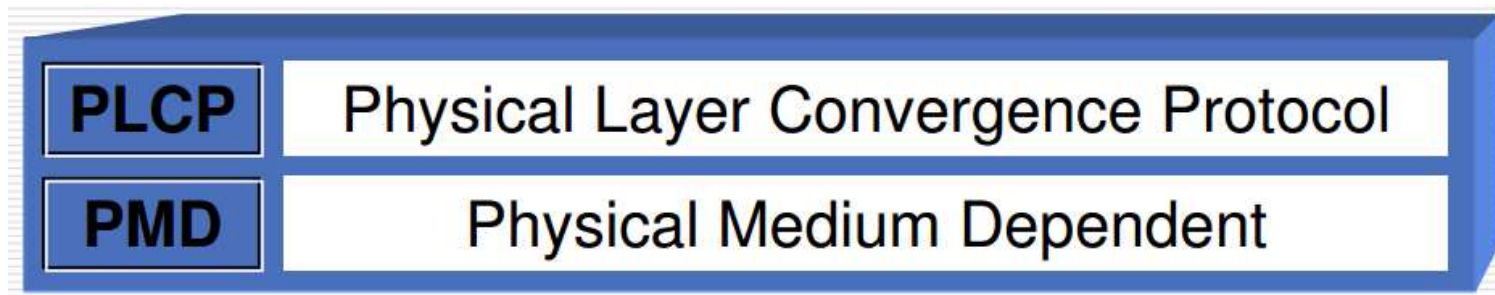


La couche physique

Le Niveau physique

Rôles:

- Transmission sans fil (radio ou IR) des données entre les stations du réseau
- Evaluation de l'état du canal



Le Niveau physique

Composée de deux sous-couches :

- la sous-couche PMD (Physical Medium Dependent) qui gère l'encodage des données et effectue la modulation pour la transmission des données.
- la sous-couche PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) réalise l'interface entre la couche MAC et les fonctions de la PMD. Et s'occupe de l'écoute du support et fournit un CCA (Clear Channel Assessment) à la couche MAC pour lui signaler que le canal est libre.

Transmission radio

- Plages de fréquences
 - La bande ISM (Industrial Scientific Medical) (2,4 GHz)
 - La bande U-NII (Unlicensed-National Information Infrastructure) (5GHz).
- Limites
 - Des trajets multiples : Provoqués par les matériaux réfléchissants
 - Des atténuations : provoquées par les matériaux absorbants et la distance
 - Des interférences : avec les autres utilisateurs des mêmes fréquences

Bandes ISM de télécommunication

Les bandes ISM (industriel, scientifique, et médical) sont des bandes de fréquences qui ne sont pas soumises à des réglementations nationales et qui peuvent être utilisées librement (gratuitement, et sans autorisation) pour des applications industrielles, scientifiques et médicales (avec prise en considération de la puissance d'émission).

Les bandes de fréquences ISM ont été désignées par l'UIT (UIT : Union Internationale de Télécommunication)

1) Bandes basses

- La bande **433 MHz** est très largement utilisée pour des liaisons domestiques à faibles performances ou débit, en particulier les télécommandes de voitures ou de portails, les alarmes sans fil, les baby phone, des jouets, etc.
- La bande **868 MHz** est également utilisée dans les réseaux d'équipements domotiques tel que EnOcean, Z-Wave ou des réseaux M2M comme Sigfox (IoT).

Bandes ISM de télécommunication

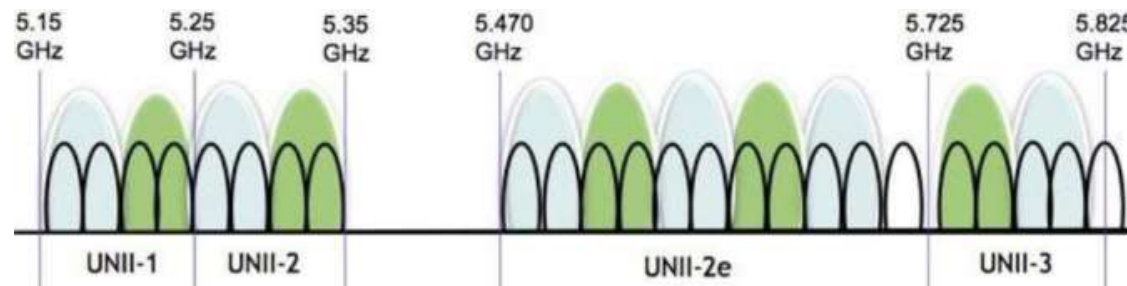
2) Bande 2,4 GHz

- Les réseaux WLAN (802.11 b/g) et les dispositifs Bluetooth émettent dans la bande des **2 400 à 2 483 MHz**.
- Outre le Wi-Fi, la bande des 2,4 GHz est réservée à de nombreuses applications publiques et grand public sans fil, les caméras de vidéo-surveillance ..ect

Bandes U-NII

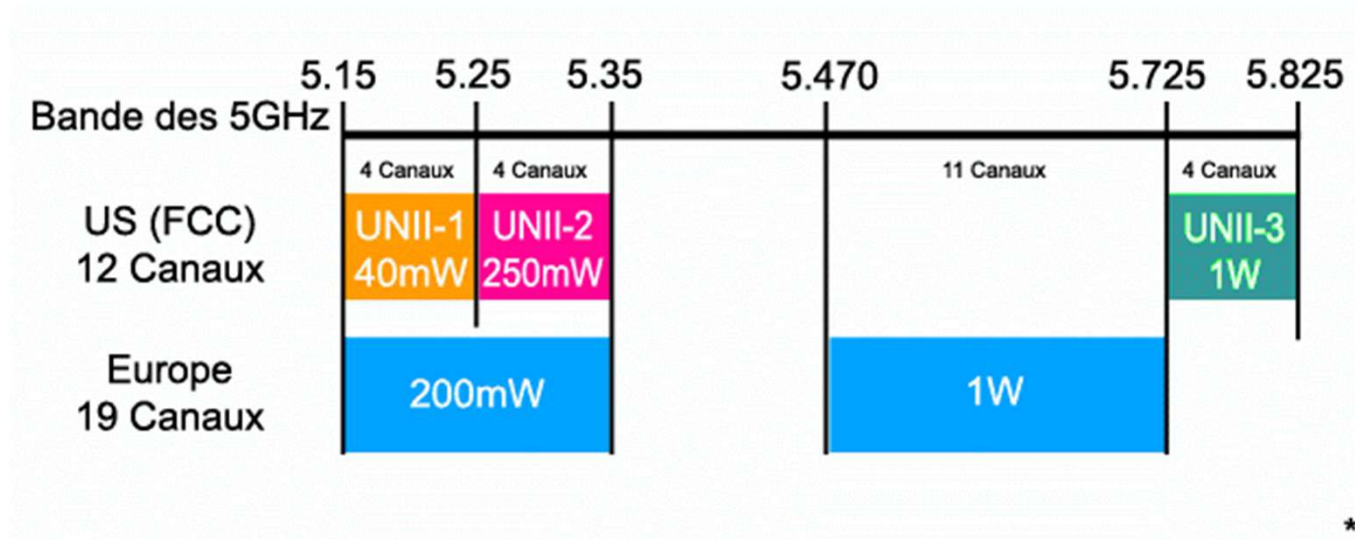
3) Bande 5 GHz

- La bande **5 GHz** est divisée en sous-bandes appelées bandes U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure), et généralement nommées U-NII-1, U-NII-2, U-NII-2e, U-NII-3 (U-NII-4 ou plus en rapport avec l'évolution du WiFi) n'est pas disponible librement au niveau mondial
- la bande de fréquences 5 GHz est divisée en 23 canaux de 20 MHz (Avec une variation par pays : exp. 19 canaux en Europe !)
- Possibilité d'agréger les canaux avec la liaison de deux canaux (40 MHz) ou de quatre canaux (80 MHz).
- la radio **IEEE 802.11a** utilise la bande de fréquences ISM 5 GHz (5,180 – 5,825 GHz)



Bandes U-NII

- Dans chacune des bandes U-NII on utilise une puissance de signal différente (Selon la réglementation des pays).
- Exp :



Avantages et inconvénients des normes 2,4 GHz et 5 GHz

- La bande 2,4 GHz présente l'avantage de fonctionner dans une bande ISM disponible au niveau mondial. La portée atteinte en utilisant la même puissance de sortie est supérieure sur 2,4 GHz par rapport aux radios utilisant la bande 5 GHz plus haute fréquence.
- La bande ISM 5 GHz intégrale n'est pas disponible au niveau mondial. La disponibilité des produits et composants est parfois limitée par rapport à la bande 2,4 GHz.
- La plus grande force de la bande 5 GHz est la disponibilité de 23 canaux sans chevauchement ; 10 canaux de plus que ceux disponibles dans la bande 2,4 GHz.
- Dans la mesure où il n'y a aucune autre technologie sans fil se « concurrence » pour l'espace radio, les 23 canaux sans chevauchement disponibles peuvent simplifier la planification d'une communication sans fil stable et sans interférences.

Futures normes

- WiFi 6E -> bande **6 GHz**

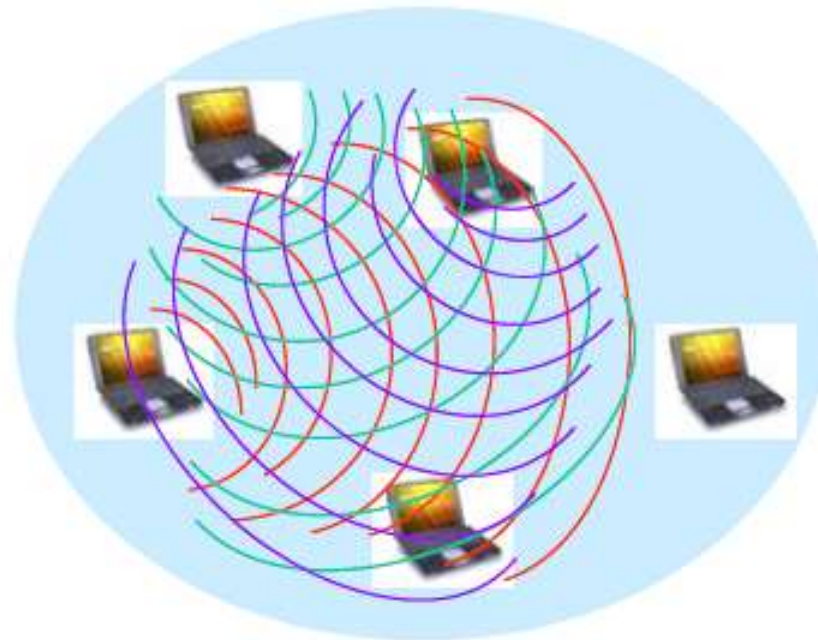
le Wi-Fi 6E permet d'identifier les appareils Wi-Fi 6 compatibles avec la bande de fréquence à 6 GHz. Jusqu'à présent, la plupart des appareils Wi-Fi utilisaient les bandes 2,4 GHz (jusqu'à Wi-Fi 802.11n ou Wi-Fi 4) et 5 GHz (depuis le Wi-Fi 802.11n dual band et le Wi-Fi 5 802.11ac).

Le 6 GHz est donc une toute nouvelle bande de fréquence, qui ne sera prise en charge que par les appareils certifiés « Wi-Fi 6E ».

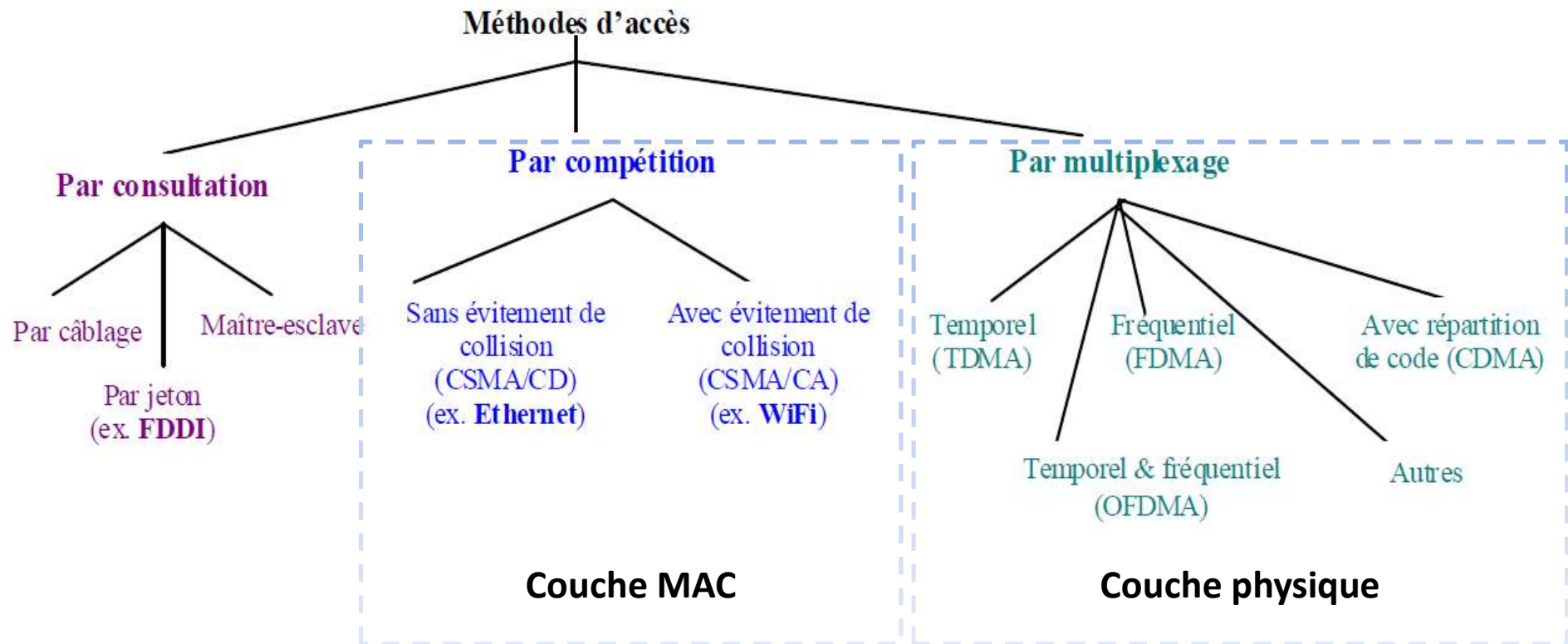
Méthodes d'accès au support de transmission dans les réseaux sans fils

Accès au canal

Canal partagé par toutes les stations du réseau donc un **conflit d'accès** !



Méthodes d'accès aux supports partagés



Choix de méthode d'accès

Réseaux locaux et internet

- Méthodes utilisées : CSMA/CD, CSMA/CA

Monde de la téléphonie

- Méthodes utilisées : TDMA, FDMA, CDMA

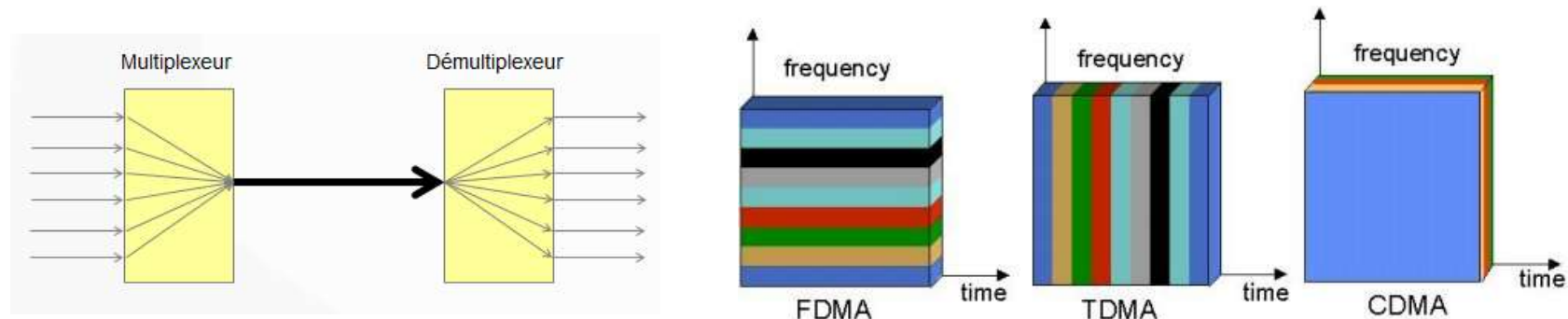
Monde Industriel et Embarqué

- Méthodes utilisées : Jeton, Maître-esclave

Méthodes d'accès par multiplexage

Le multiplexage:

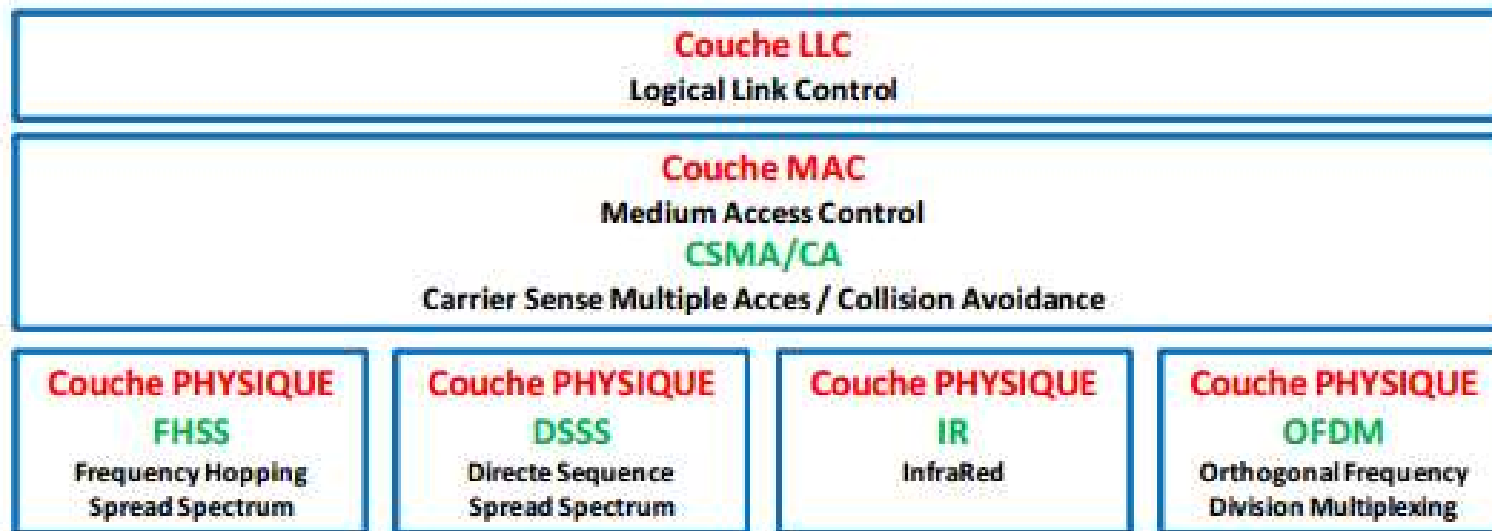
C'est la capacité à transmettre sur un seul support physique, des données provenant de plusieurs paires d'équipements (émetteurs et récepteurs) ;



TDMA (multiplexage temporelle) : Adapté aux transmission des données mais n'ét pas adapté à la transmission de la voie

FDMA (modulation ou multiplexage fréquentiel): Adapté à la transmission de la voie (nécessite une large bande de transmission pour pouvoir utiliser plusieurs fréquences)

À cela (techniques d'accès au support de transmission), viennent s'ajouter des techniques de gestion de la bande passante, c'est-à-dire la manière d'utiliser le spectre de fréquences pour transmettre une trame, le but étant d'utiliser au mieux la largeur de bande afin d'augmenter les débits !



le standard 802.11 d'origine a défini les couches physiques de base suivante :

FHSS, DSSS, IR et OFDM

**FHSS (Frequency Hopping Spread
Spectrum)**
**Technique d'étalement par saut de
fréquence**

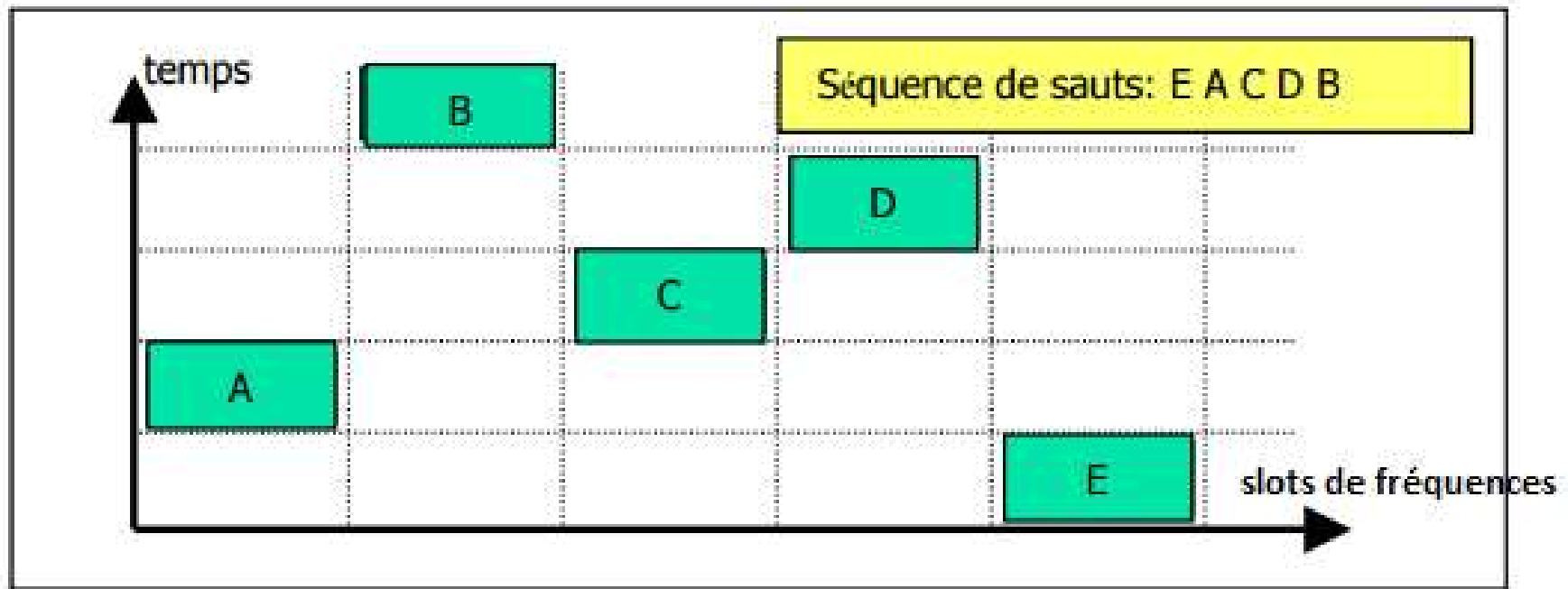
FHSS

- Technique d'étalement de bande fondée sur le saut de fréquence.
- Dans laquelle la bande ISM des 2.4 GHz est divisée en 79 sous-canaux de 1 MHz de largeur de bande.
- Pour transmettre des données, l'émetteur et le récepteur s'accordent sur une séquence de sauts précise qui sera effectuée sur ces 79 sous-canaux.
- FHSS défini 3 ensembles de 26 séquences.

FHSS

- La transmission de donnée se fait par l'intermédiaire de sauts d'un sous-canal à un autre.
- sauts qui se produisent toutes les 400 ms (selon les normes américaines), selon une séquence prédéfinie.
- Chaque saut doit être espacé du précédent d'au moins 6 fréquences (6MHz).
- Si une station ne connaît pas la séquence de sauts des canaux, elle ne peut pas récupérer ses données.

FHSS



FHSS

- Cette technique était utilisée auparavant dans les transmissions militaires pour sécuriser leurs transmissions.
- Lors de la libération de la bande ISM, en 1985, ils ont également rendu libre l'usage de FHSS. La bande ISM n'étant pas allouée de la même manière selon les pays,
- Il existe des disparités dans le nombre de canaux utilisés.

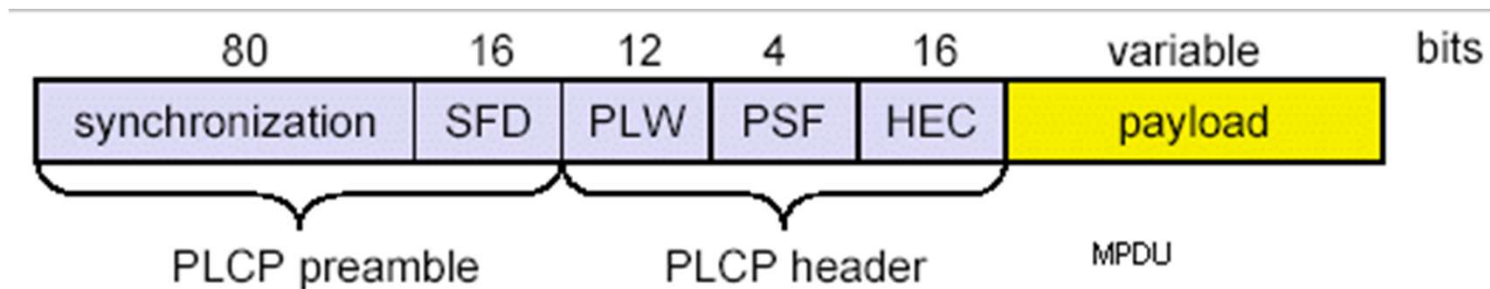
Pays	Etats-Unis	Europe	Japon
Nombre de canaux utilisés	79	79	23

- En mode FHSS les données sont émises au moyen d'une modulation GFSK (Gaussian minimum -shift keying). Le débit est compris entre 1 et à 2 Mbit/s.

Les trames FHSS

- Les paquets de données, provenant de la couche réseau, sont encapsulés au niveau 2 par un en-tête MAC, formant une MPDU (Mac Protocol Data Unit).
- Cette MPDU est ensuite encapsulée dans une seconde trame au niveau 1 (physique) pour permettre la transmission sur le média. Cette encapsulation consiste à rajouter un préambule et un en-tête à la MPDU, cet ensemble forme une PLCP-PDU.
- Le préambule et l'en-tête diffèrent suivant la couche physique utilisée.

La trame FHSS



Préambule :

synchronization: est une séquence de synchronisation qui est composée d'une suite de 80 bits, constitués en alternance de 0 et de 1. Elle permet à la couche physique de détecter la réception d'un signal. Elle permet accessoirement aussi, de choisir la meilleure antenne de réception si le choix existe.

Le Start Frame Delimiter (SFD) est l'identificateur de trame. Il est constitué par la suite de bits suivants : 0001100101101101 indiquant le début de la trame PLCP.

En-tête :

PLW (PSDU Length Word): est un paramètre passé par la couche MAC qui indique la longueur de la trame (la partie données).

PSF (Payload Signalling Field) : est un champ sur 4 bits qui permet de définir la vitesse de transmission. Les bits 1, 2 et 3 sont réservés et définis par défaut à zéro. Le 4ème et dernier bit, indique la vitesse de transmission. à 1Mb/s s'il est à 0 et à 2Mb/s s'il est à 1.

HEC (Header Error Check): est un CRC de 16 bits permettant de détecter les erreurs des champs de l'en-tête (PLW et PSF).

Avantages et inconvénients du FHSS

Avantages:

- Sa résistance face aux interférences.
- Comme le système saute toutes les 400 ms (ou moins) d'un canal à un autre sur la totalité de la bande, si des interférences surviennent sur une partie de la bande ISM (un ou plusieurs canaux), cela n'engendre pas de trop importantes pertes de performances.

Inconvénient:

- Le principal inconvénient du FHSS vient de son débit qui est limité à 2 Mbit/s. Cette limitation est due à la largeur des canaux égales à 1 MHz.

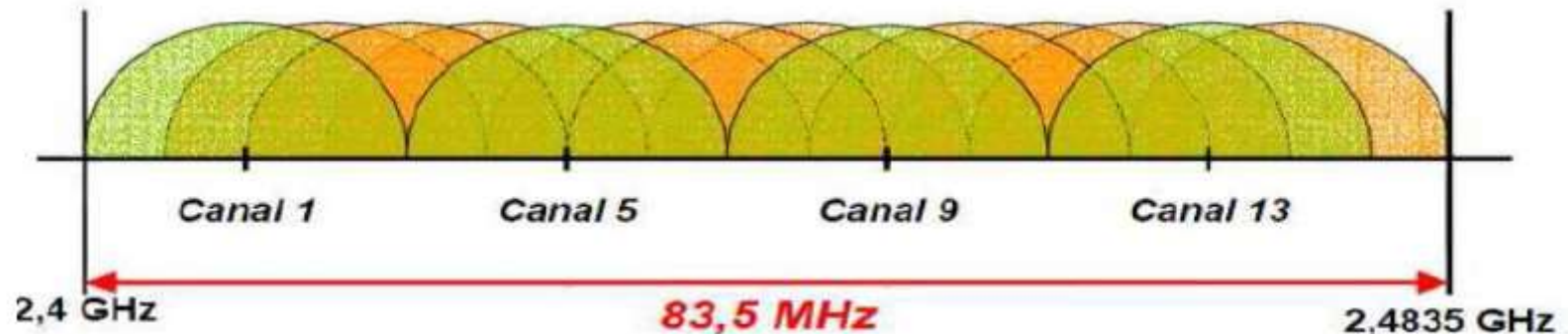
Applications d'FHSS

- Le FHSS est aussi utilisé dans Bluetooth.
- La seule différence entre FHSS de Bluetooth et celui de 802.11 vient des séquences de sauts, qui ne sont pas les mêmes de façon à éviter les interférences entre les deux systèmes.
- On notera enfin que le mode FHSS est aujourd'hui totalement supplanté dans les équipements WiFi par les solutions 802.11b/a/g.

DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum)
**L'étalement de spectre par séquence
directe**

DSSS

- Contrairement au FHSS, le DSSS utilise l'intégralité de la bande de fréquences.
- le DSSS divise la bande ISM en 14 canaux de 20 MHz chacun.
- La transmission ne se fait que sur un canal donné.
- La largeur de la bande ISM 2,4 GHz étant égale à 83.5 MHz, il est impossible d'y placer 14 canaux adjacents de 20 MHz. Les canaux se recouvrent donc comme suit:



DSSS

- Le tableau suivant montre les fréquences centrales de chaque sous-canal.

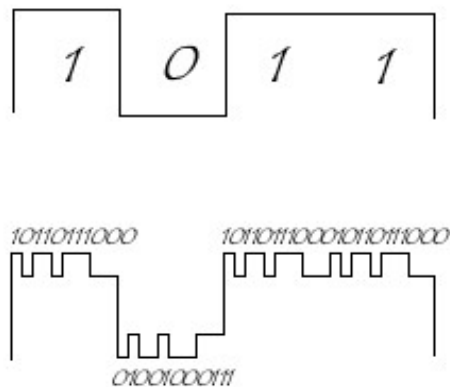
Canal	Fréquence centrale (GHz)
1	2.412
2	2.417
3	2.422
4	2.427
5	2.432
6	2.437
7	2.442

Canal	Fréquence centrale (GHz)
8	2.447
9	2.452
10	2.457
11	2.462
12	2.467
13	2.472
14	2.477

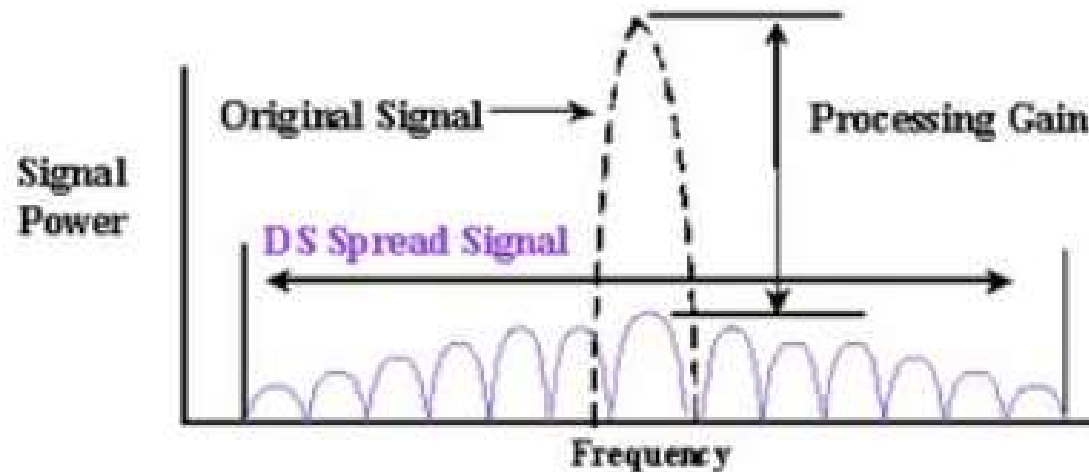
- Comme la transmission ne se fait que sur un canal, les systèmes DSSS sont plus sensibles aux interférences que les systèmes FHSS,

DSSS: Technique d'étalement par code binaire

- Le spectre de signal émis est étalé sur tout le canal grâce à un codage connu sous le nom de séquence de barker (bruit pseudo-aléatoire) ou « chipping ».
- Cette technique est utilisée dans la norme WiFi 802.11 où la couche physique définit une séquence de 11 bits (10110111000) pour représenter chaque bit 1 ; et la séquence (01001000111) pour le 0.
- L'avantage de la transmission en largeur de bande par rapport à la transmission en bande étroite, est qu'un signal parasite n'altère qu'une partie du spectre de fréquence, et ces conséquences sur le signal original peuvent même être supprimées en réception grâce à l'application de fonctions mathématiques



Représentation temporelle

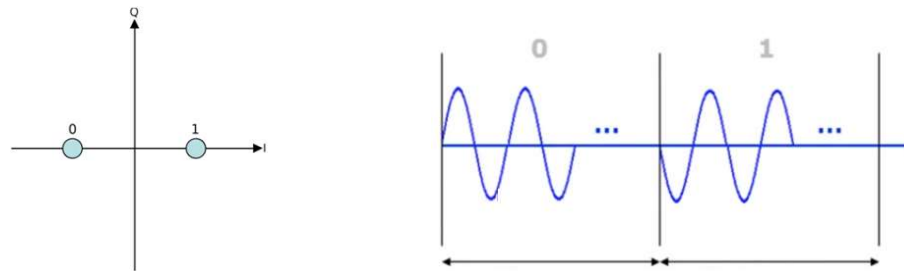


Représentation fréquentielle

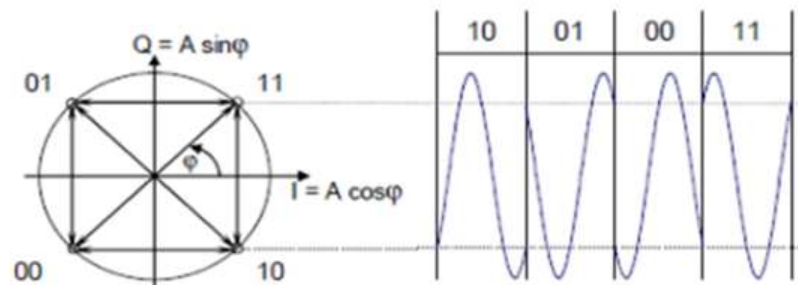
Modulation avec DSSS

Pour le 802.11, deux schémas de modulation peuvent être utilisés:

BPSK (Binary Phase Shift Keying) : il s'agit d'une modulation de phase binaire pour un débit binaire de 1 Mbits/s



QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) : c'est une autre variante de la modulation de phase en quadrature pour un débit de 2 Mbits/s.



WiFi/IEEE.802.11b

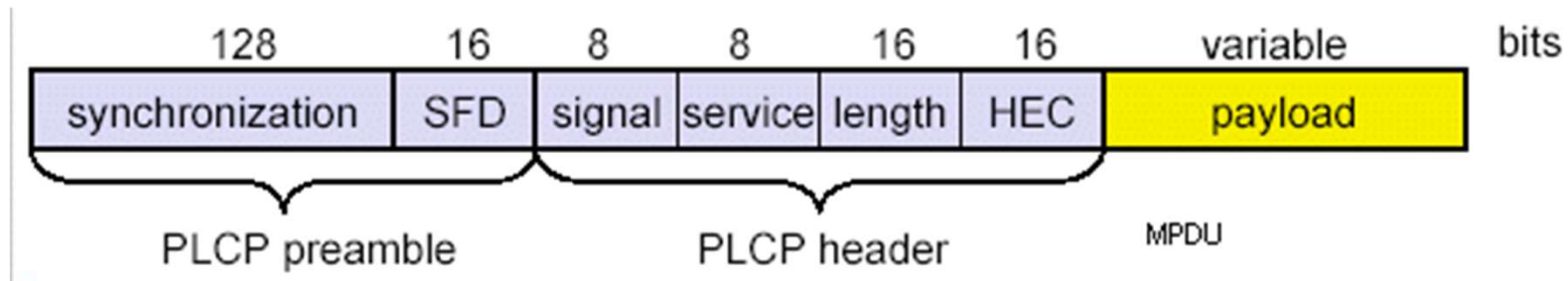
- En 1999, une nouvelle couche physique, 802.11b, a été ajoutée au standard 802.11.
- Fonctionnant toujours dans la bande ISM, cette couche physique utilise une extension du DSSS, appelée HR/DSSS (High Rate DSSS).
- Le HR/DSSS utilise le même système de canaux que le DSSS avec 22MHz comme largeur des canaux.
- Le HR/DSSS est basé sur CCK au lieu du code barker
- Comme ils s'appuient sur le DSSS, les réseaux 802.11b et 802.11 DSSS sont compatibles et peuvent communiquer entre eux, mais aux débits de 802.11 DSSS, compris entre 1 à 2 Mbit/s.
- Le HR/DSSS possède une meilleure efficacité spectrale que le DSSS et il permet d'offrir deux débits : 5.5 Mbit/s ou 11 Mbit/s.

IEEE.802.11b (HR/DSSS)

Débits	étalement	Modulation	Vitesse de symbole	Nb de bits/symbole
1 Mbit/s	11 (Barker Sequence)	BPSK	1 MS/s	1
2 Mbit/s	11 (Barker Sequence)	QPSK	1 MS/s	2
5.5 Mbit/s	8 (CCK)	QPSK	1,375 MS/s	4
11 Mbit/s	8 (CCK)	QPSK	1,375 MS/s	8

CCK : Complementary Code Keying

Trame DSSS



➤ **Préambule :**

Synchronization : est une séquence de synchronisation qui est composée d'une suite de 128 bits constitués en alternance de 0 et de 1. Elle sert à la synchronisation au niveau récepteur.

SFD (Start Frame Delimiter) : permet au récepteur de détecter le début de la trame. ce champ de deux octets vaut en hexadécimal F3A0.

➤ **En-tête : en quatre parties**

Signal sur 8 bits : indique la vitesse sélectionnée pour la transmission des données (MPDU) :

- mode BPSK (1Mbits/s) -> 0A (en hexadécimale)
- mode QPSK (2Mbits/s) -> 14 (en hexadécimale)
- mode QPSK (5,5Mbits/s)
- mode QPSK (11Mbits/s)

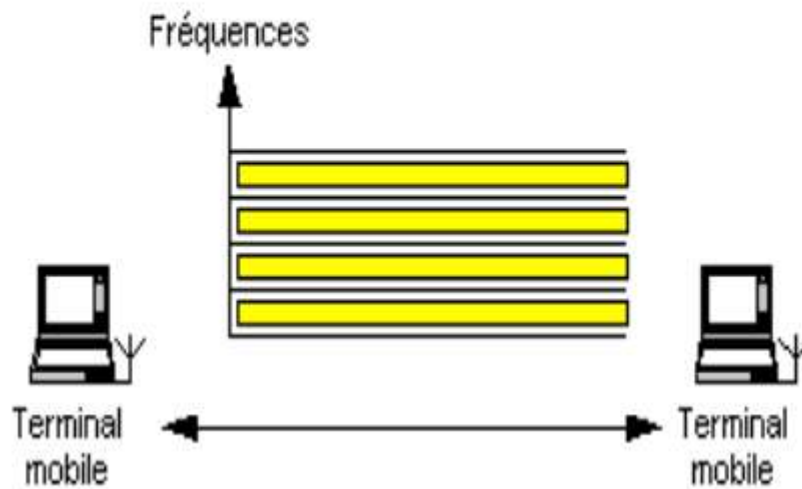
Service sur 8 bits : réservé pour un usage futur (valeur 0x00 signifie que le transmetteur est conforme IEEE802.11)

Length sur 16 bits : indique la longueur (en nombre d'octets) de la trame à suivre (MPDU), cela permet à la couche physique de déterminer la fin de la trame.

HEC (Header Error Check): est un CRC de 16 bits permettant de détecter les erreurs des champs de l'en-tête (Signal, Service et Length).

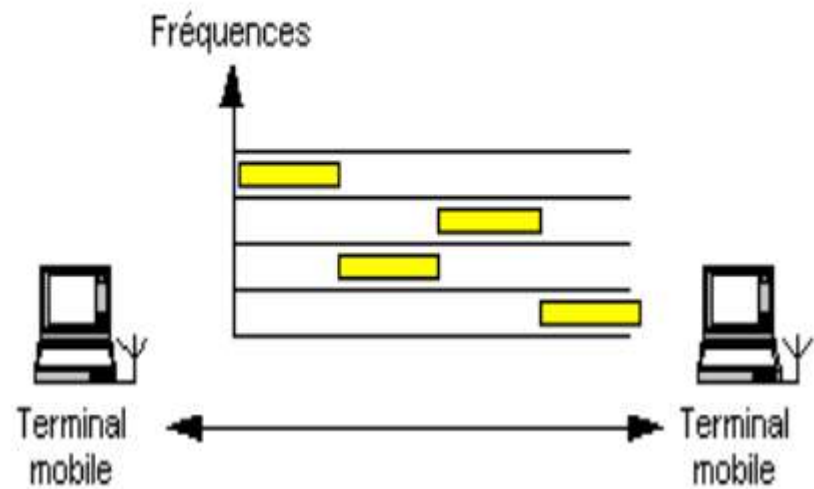
FHSS vs DSSS

DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum



FHSS : Frequency Hopping Spread Spectrum

%

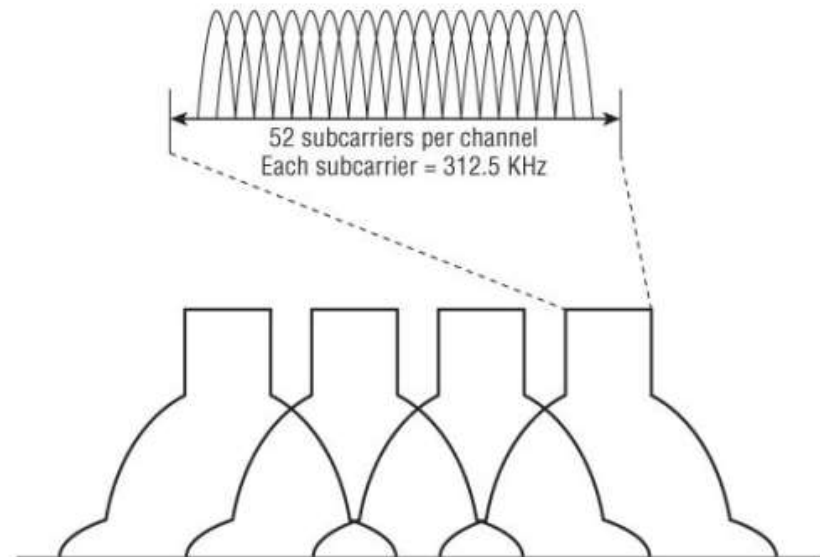
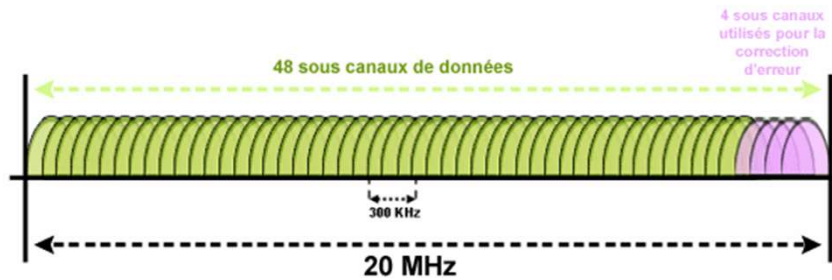
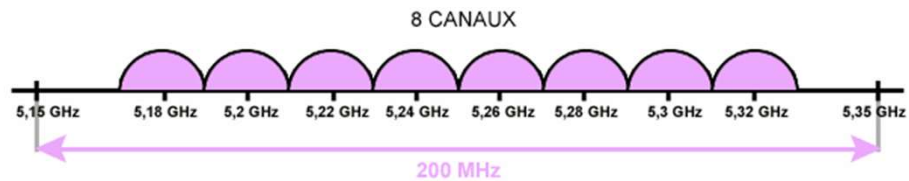


OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

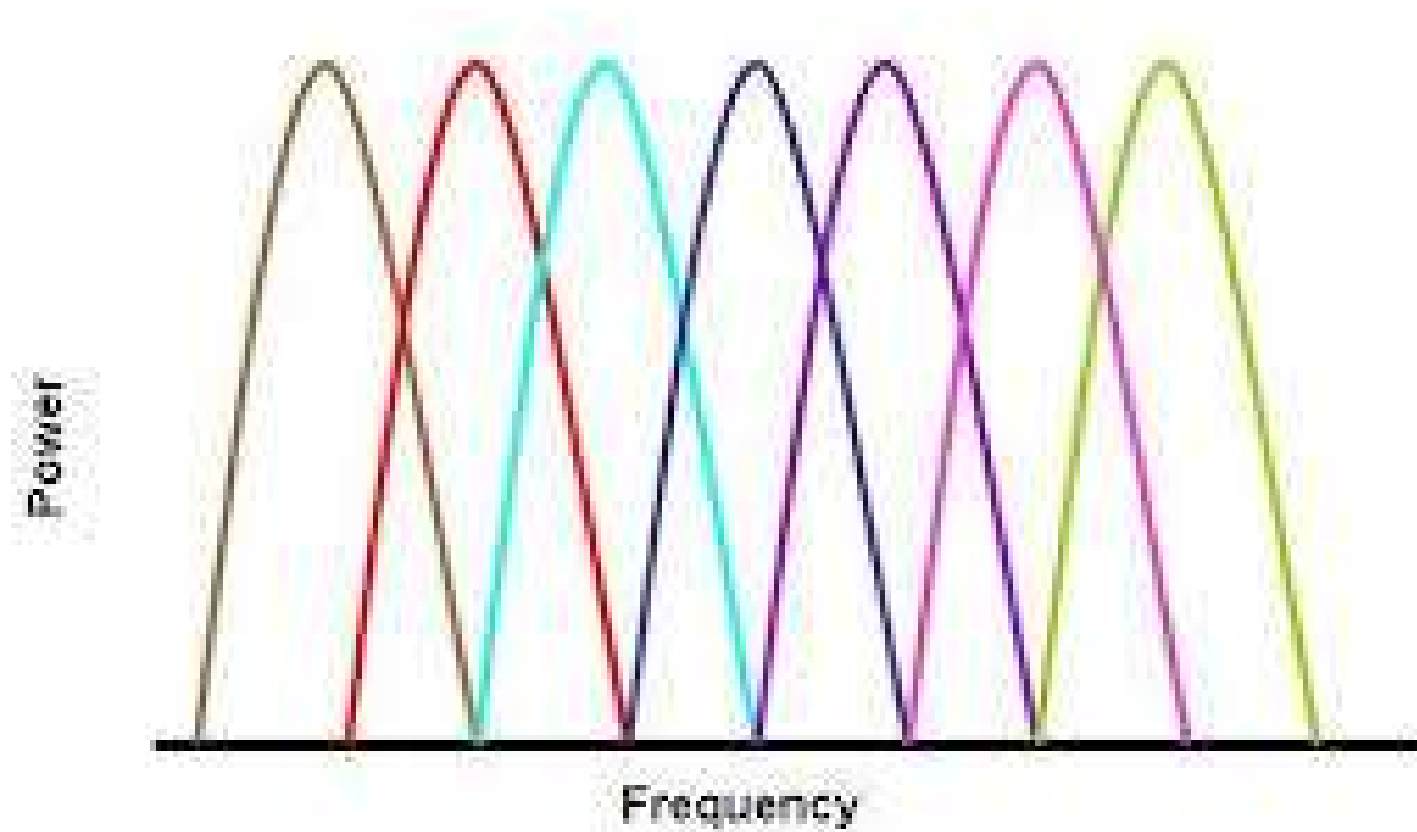
OFDM

- Utilisé comme base pour : 802.11 a/g/n/ac
- Avec OFDM, chaque canal de fréquence est divisé en plusieurs sous-canaux (48 utiles) utilisés en parallèle pour la transmission du signal.
- Dans chaque sous canal des modulations BPSK, QPSK, QAM sont appliqués permettant d'avoir des débits : 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 et 54 Mb/s (ou plus).
- Les porteuses de chaque sous-canal ont des fréquences proches, mais orthogonales entre elles.
- Les sous-porteuses OFDM sont alignées de telle sorte que les valeurs nulles du spectre d'une sous-porteuse coïncident avec les pics de fréquence des sous-porteuses adjacentes, ce qui entraîne un chevauchement spectral partiel.
- La transmission en parallèle de plusieurs canaux à faible débit crée globalement l'effet d'un seul canal à haut débit.

OFDM (2.4 et 5GHz)



OFDM



Calcul du Débit

$$\text{Max Data Rate} = \frac{\text{Data Carriers} \times \text{Spatial Streams} \times \text{Bits per Symbol} \times \text{Code Rate}}{\text{Symbol Duration}}$$

Attribute	802.11a/g	802.11n	802/11ac
Data Subcarriers	48	108	468
Spatial Streams	1	4	8
Bits Per Symbol	6	6	8
Code Rate	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{5}{6}$
Symbol Duration	4 μ s	3.6 μ s	3.6 μ s
Max Data Rate	$\frac{48 * 1 * 6 * \frac{3}{4}}{4}$	$\frac{108 * 4 * 6 * \frac{5}{6}}{3.6}$	$\frac{468 * 8 * 8 * \frac{5}{6}}{3.6}$
	54 Mbits/s	600 Mbits/s	6.933 Gbits/s

Avantages et inconvénients OFDM

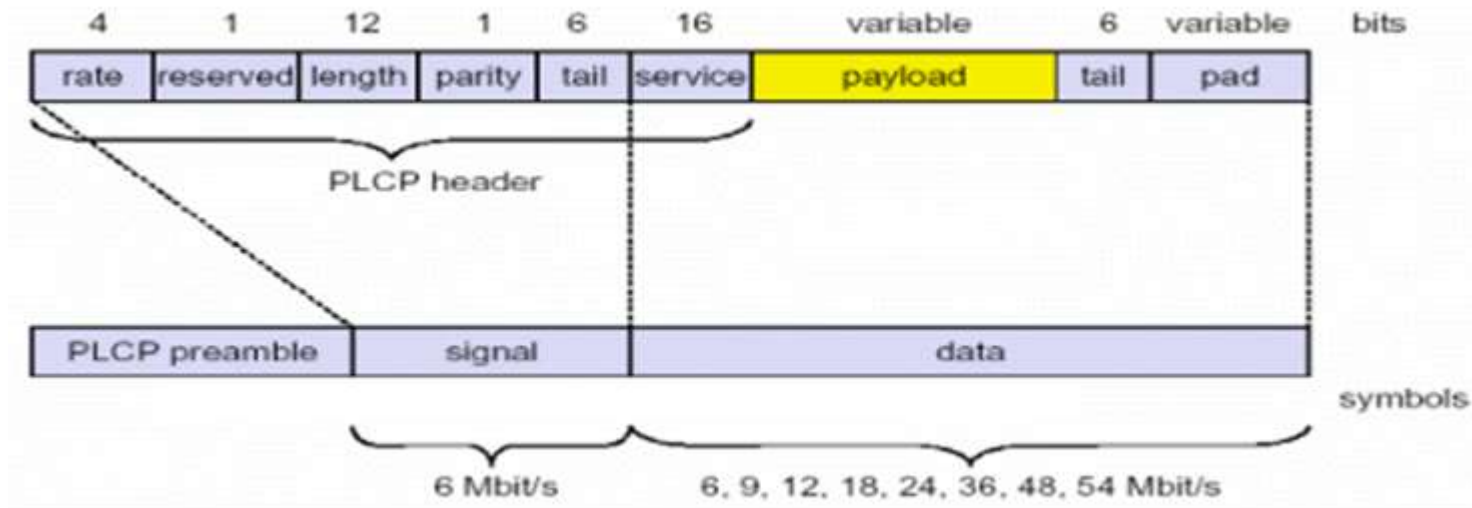
Avantages:

- Elle permet obtenir des débits élevés. Le standard Wi-Fi 802.11a, par exemple, définit une transmission basée sur le codage OFDM dans la bande des 5 GHz, débit 54 Mbits/s.

Inconvénients :

- L'OFDM requiert toutefois davantage de puissance que le DSSS ou le FHSS et nécessite l'utilisation d'outils de traitement du signal relativement sophistiqués.

Trame OFDM



Préambule : réalisé grâce à une séquence de symboles permettant la détection du signal par le récepteur.

En-tête : en six champs

- **RATE** : indique le débit de transmission
- **1 bit** réservé toujours à 0
- **Length** : indique le nombre d'octets dans la trame.
- **1 bit** de parité des trois champs précédents
- **Tail** (en-queue) : champs réservé, toujours à 0
- **Service** : champ réservé, toujours à 0

MPDU :

- **Tail** : champ réservé, toujours à 0
- **Pad** : champ de padding (remplissage) de 6 bits minimum permettant une structure se comptant en octets.

Fin du cours