

## CHAPITRE 3. RESEAUX LOCAL SANS-FILS (WLAN)

<b>Réseau local sans-fil</b> .....	<b>129</b>
<b>Technologies WLAN, IEEE 802.11 et Wi-Fi</b> .....	<b>130</b>
<b>Définition du réseau WLAN</b> .....	<b>132</b>
<b>Norme IEEE 802.11</b> .....	<b>132</b>
<b>Normes Wi-Fi</b> .....	<b>133</b>
<b>Architecture Wi-Fi</b> .....	<b>136</b>
<b>Mode infrastructure</b> .....	<b>136</b>
<b>Mode Ad-Hoc</b> .....	<b>138</b>
<b>Mode Infrastructure vs Mode Ad-Hoc</b> .....	<b>140</b>
<b>Architecture en couches des systèmes IEEE 802.11x</b> .....	<b>141</b>
<b>La couche physique</b> .....	<b>141</b>
<b>LES BANDES DE FREQUENCES</b> .....	<b>142</b>
<b>Techniques de transmission</b> .....	<b>142</b>
<b>FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)</b> .....	<b>142</b>
Schéma de modulation pour la technique FHSS.....	<b>144</b>
<b>Technique DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum)</b> .....	<b>144</b>
Schémas de modulation pour la technique DSSS.....	<b>145</b>
Bandes de fréquences pour la DSSS.....	<b>146</b>
<b>Technique HR/DSSS (High Rate DSSS)</b> .....	<b>149</b>

## Réseau local sans-fil

- ⇒ Le réseau local sans-fil WLAN (pour Wireless Local-Area Network en anglais) est une extension des réseaux câblés ;
- ⇒ Le réseau local filaire LAN et le WLAN partagent le même principe de fonctionnement ;
- ⇒ La seule différence réside dans la fourniture de données, d'une façon sans-fil, à un certain nombre de terminaux ou points ;



FIGURE.1. RESEAU LOCAL SANS-FIL

- ⇒ Le WLAN utilise la liaison RF pour transmettre et recevoir des données par voie hertzienne ;
- ⇒ Ceci implique une minimisation du besoin d'être connecté par câble ;
- ⇒ Le WLAN permet aux utilisateurs d'accéder à certaines informations facilement et de manière claire ;
- ⇒ L'industrie des réseaux locaux sans-fil est devenue l'une des segments les plus dynamiques de l'industrie des télécommunications et promet un grand potentiel de croissance ;
- ⇒ Le WLAN offre des avantages de productivité, de commodité (السهولة أو الراحة) et de coût par rapport aux réseaux câblés ;
- ⇒ Les avantages offerts par le WLAN sont :
  - La Mobilité : les utilisateurs peuvent accéder aux informations n'importe où et à tout moment ;
  - Rapidité et simplicité d'installation : Le WLAN est facile et rapide à installer ;
  - Fiabilité de l'installation : Le réseau peut être installé là où il est impossible d'installer un réseau câblé ;

- Coût de possession réduit : des investissements initiaux plus élevés, mais les avantages en termes de coûts à long terme sont plus importants dans les environnements dynamiques nécessitant des déplacements et des changements fréquents ;
- Évolutivité (قابلية التوسع) : le WLAN peut être configuré dans une variété de topologies pour répondre aux besoins d'applications et d'installations spécifiques.

## Technologies WLAN, IEEE 802.11 et Wi-Fi

- ⇒ Les technologies sans-fil (de réseau local) reposent essentiellement sur un seul standard, celui du groupe de travail IEEE 802.11.
- ⇒ L'alliance Wi-Fi (Wireless Fidelity) est une autre organisation, un consortium commercial qui s'occupe d'assurer l'interopérabilité du matériel respectant le standard IEEE 802.11 venant de différents fabricants.

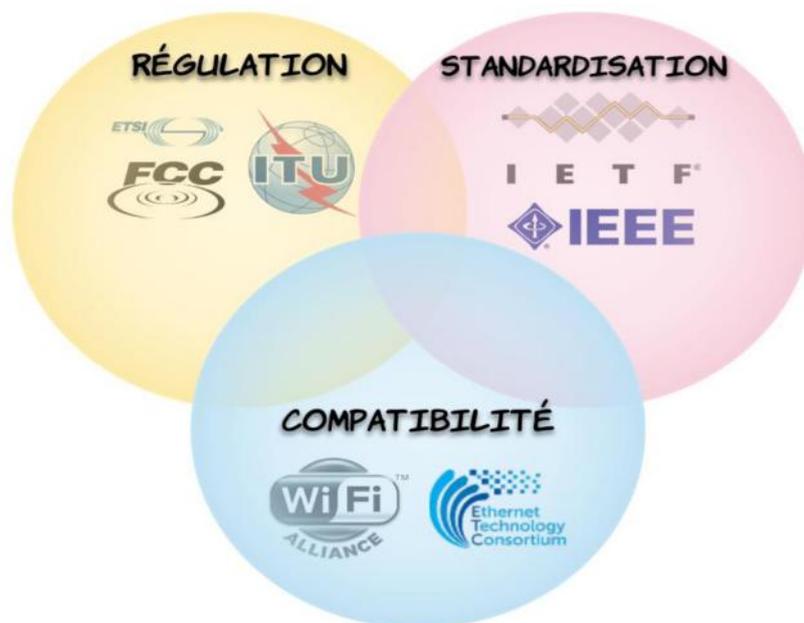


FIGURE 2 ORGANISMES DE REGULATION, STANDARDISATION ET COMPATIBILITE

- ⇒ On utilisera le terme "Wi-Fi" ou encore "Wifi" pour désigner une technologie sans-fil ou un périphérique respectant le standard IEEE 802.11 de manière interopérable ;
- ⇒ C'est l'une des technologies LAN sans-fil les plus couramment utilisées actuellement ;
- ⇒ Toutes ces désignations font référence aux technologies d'accès qui permettent de se connecter à un réseau local sans-fil de manière mobile ;



FIGURE.3. LOGO DU WI-FI

- ⇒ Le Wi-Fi fait référence à un ensemble de normes ;
- ⇒ Ces normes donnent les façons dont les appareils peuvent communiquer entre eux sur les réseaux sans-fil ;
- ⇒ Au fil des années, nous avons vu différentes évolutions du Wi-Fi, aboutissant à la nouvelle norme 802.11be ;
- ⇒ Chaque version de la norme 802.11 est réalisée pour être compatible avec l'Ethernet 802.3 (Technologie pour les réseaux de données câblés) ;



FIGURE.4. WI-FI LIE A L'ETHERNET 802.3

- ⇒ Il n'existe donc aucune différence entre le Wi-Fi et le WLAN. En effet, comme nous l'avons déjà dit, le Wi-Fi est un regroupement de plusieurs entreprises (ayant obtenu une certification pour WLAN) afin d'établir un standard unifié ;
- ⇒ On notera enfin que d'autres technologies utilisent aussi les ondes radios sur les mêmes fréquences ou sur d'autres fréquences que le Wi-Fi. Elles peuvent être issues du même groupe de travail IEEE 802,

comme *Bluetooth* (IEEE 802.15) pour le WPAN, le *Zigbee* ou *Z-Wave*, le *WiMax* (IEEE 802.16) pour le WWAN pour des objectifs différents. Il existe un bon nombre d'autres technologies qui utilisent l'air comme support de transmission : les satellites, les réseaux cellulaires, etc.

## Définition du réseau WLAN

- ⇒ C'est un réseau d'ordinateurs et de matériels sans-fil qui offre les fonctionnalités des réseaux locaux LAN traditionnels (Ethernet);
- ⇒ Dans la pratique, un WLAN permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA) ou même des périphériques à une liaison haut débit (de 2Mbps pour le 802.11b jusqu'à 40 Gbps pour le 802.11be) ;
- ⇒ La portée s'étale sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre 20 m et 50 m) et de centaines de mètres en extérieur (500 m) ;
- ⇒ Les réseaux Wi-Fi sont parfois associés à des antennes directionnelles pour établir des liaisons point à point.

## Norme IEEE 802.11

- ⇒ La norme 802.11 fait partie de la famille IEEE 802 ;
- ⇒ C'est une série de spécifications pour les technologies de réseau LAN ;
- ⇒ La figure (2) montre la relation entre les différents composants de la famille 802 et leur place dans le modèle OSI ;

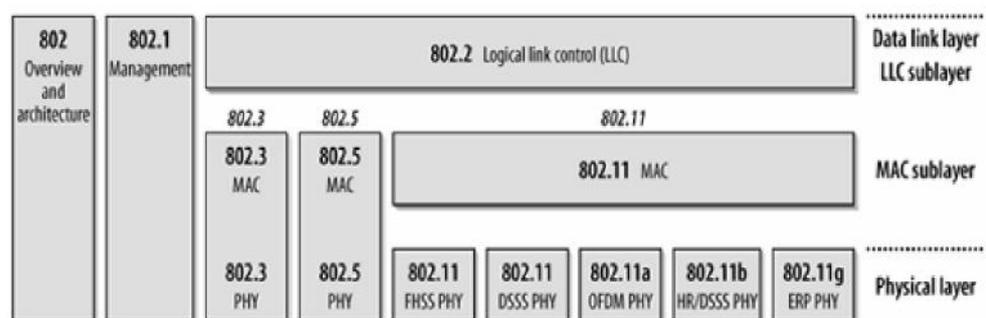


FIGURE.5. LA FAMILLE IEEE 802 ET SA RELATION AVEC LE MODELE OSI

- ⇒ Comme le montre cette figure, les spécifications IEEE 802 se concentrent sur les deux couches les plus basses du modèle OSI ;
- ⇒ Elles intègrent à la fois des composants physiques et de liaison de données ;
- ⇒ Tous les réseaux 802 ont à la fois un composant MAC et un composant physique (PHY) ;

- ⇒ Le MAC est un ensemble de règles pour déterminer comment accéder au support et envoyer des données ;
- ⇒ Les détails, concernant la transmission et la réception, sont laissés à la PHY.
- ⇒ Les spécifications individuelles de la série 802 sont identifiées par un deuxième numéro ;

**Exemples :**

- La spécification 802.3 est la spécification d'un réseau d'accès multiple à base de technique CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection en anglais ou accès multiple avec écoute de porteuse et détection de collision en français) ;
- D'autres spécifications décrivent d'autres parties de la pile de protocoles ;
- La spécification 802.2 définit la couche de liaison commune et le contrôle de liaison logique (LLC), qui peut être utilisé par n'importe quelle technologie LAN ;
- Les fonctions de gestion pour les réseaux 802 sont précisées dans la spécification 802.1.

## Normes Wi-Fi

- ⇒ Le nom réel du Wi-Fi est en fait 802.11 ;
- ⇒ C'est sous cette forme qu'on le retrouve pour toute nouvelle norme Wi-Fi (Voir le tableau 1) ;
- ⇒ Le code 802.11.x représente une suite de chiffres à laquelle est attachée une lettre pour indiquer le type de la norme ;
- ⇒ Comme le montre le tableau 1, le premier Wi-Fi, tel qu'il apparut en 1997, portait le nom 802.11a ;
- ⇒ Les différentes améliorations de cette norme Wi-Fi ont vu l'enchaînement des lettres varier et certaines de ces normes ont été regroupées sous le nom de Wi-Fi 2, Wi-Fi 3 jusqu'à Wi-Fi 7 (correspondant à la norme Wi-Fi 802.11be qui va apparaître en 2024/2025) ;
- ⇒ Comme le montre aussi ce tableau, les normes Wi-Fi ont évolué avec le temps et ont apporté des améliorations successives en termes de débit ;
- ⇒ Les normes 802.11a, 802.11b et 802.11g sont clairement dépassées et la norme 802.11n est probablement la norme la plus ancienne dont certains peuvent encore disposer à l'heure actuelle ;
- ⇒ L'alliance Wi-Fi parle désormais de Wi-Fi 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 passant des lettres aux chiffres pour les technologies des normes Wi-Fi destinées au grand public ;
- ⇒ Il est à noter que seuls les Wi-Fi 4, 5, 6 et 7 ont été officiellement validés mais à titre de correspondance précédente, les normes 802.11b, 802.11a et 802.11g coïncident respectivement avec les Wi-Fi 1, 2 et 3 ;

- ⇒ La norme Wi-Fi 802.11n présente des débits théoriques bien plus élevés allant jusqu'à 450Mbps sur la fréquence 5GHz ;

TABLEAU.1. LES DIFFERENTES NORMES WI-FI

Norme Wi-Fi	Date d'apparition	Fréquences	Largeur de canal	Débit maximum théorique	Portée	Nom
<b>802.11a</b>	1997	2,4GHz	20MHz	2Mbps	20m	N/A
<b>802.11b</b>	1999	2,4GHz	20MHz	11Mbps	35m	Wi-Fi 1
<b>802.11a</b>	1999	5GHz	20MHz	54Mbps	35m	Wi-Fi 2
<b>802.11g</b>	2003	2,4GHz	20MHz	54Mbps	38m	Wi-Fi 3
<b>802.11n</b>	2009	2,4GHz ou 5GHz	20, 40MHz	72,2Mbps - 450Mbps	70m	Wi-Fi 4
<b>802.11ac vague 1</b>	2014	5Ghz	20, 40, 80MHz	866,7Mbps	35m	Wi-Fi 5
<b>802.11ac vague 2</b>	2016	5GHz	20, 40, 80, 160MHz	1,73Gbps	35m	Wi-Fi 5
<b>802.11ax</b>	2019	2,4Ghz ou 5GHz	20, 40, 80, 160MHz	2,4Gbps	N/A	Wi-Fi 6
<b>802.11be</b>	2024/2025	2,4GHz, 5GHz et 6GHz	320 MHz	46 Gbps	Meilleure portée,	Wi-Fi 7

- ⇒ Cette technologie coïncida avec l'arrivée de la fibre optique et permit ainsi de profiter pleinement de cette connexion à très haut débit ;
- ⇒ Certains des adaptateurs 802.11n peuvent aussi émettre sur les deux fréquences simultanément (2,4GHz ou 5 GHz) et permettre ainsi la connexion des différents appareils sur l'une ou l'autre de celles-ci ;
- ⇒ La norme Wi-Fi 802.11n a aussi vu l'apparition des systèmes MIMO ;
- ⇒ La largeur de la bande a aussi, pour la première fois, été étendue pour atteindre les 40MHz ce qui a permis de doubler le débit ;
- ⇒ La norme 802.11ac est arrivée en deux vagues successives et a encore amélioré les débits avec une largeur de bande jusqu'à 160MHz sur la seconde vague ;
- ⇒ La norme 802.11ac a introduit aussi un nouveau procédé avec le Beamforming (Filtrage spatial permettant l'émission ou la réception directionnelle de signaux) qui est une technologie qui permet d'orienter le signal vers les appareils connectés assurant ainsi une meilleure connexion et une meilleure portée ;
- ⇒ Le Beamforming a permis de ne pas gaspiller de l'énergie (auparavant le signal Wi-Fi émet à pleine puissance dans toutes les directions) ;

- ⇒ L'avant dernière version de la norme Wi-Fi est la 802.11ax (Wi-Fi 6). Cette norme a permis d'augmenter le débit de 40% en comparaison avec la norme Wi-Fi 5. Le débit est aussi multiplié par 4 dans les environnements beaucoup peuplés (aéroports, stades...) et la durée de vie des batteries des appareils connectés est aussi augmentée. Cette rapidité étendue est liée aux points suivants :
  - Au nombre de données transmises (plus élevées) sur les mêmes fréquences et des processeurs plus puissants utilisés ;
  - La combinaison des technologies OFDMA et Mu-MIMO (Multiple User - Multiple Input Multiple Output) ;
    - L'OFDMA a permis au Wi-Fi de communiquer avec plusieurs appareils simultanément en divisant le canal Wi-Fi ;
    - Le Mu-MIMO a permis à tous les appareils connectés au Wi-Fi de communiquer en même temps avec le routeur (le Wi-Fi 5 utilise la technologie Su-MIMO qui permet aussi de communiquer avec plusieurs appareils mais pas simultanément) ;
- ⇒ Le Wi-Fi 7, de son petit nom 802.11be, a été présenté en 2018 et sa standardisation est prévue pour 2024/2025 ;
- ⇒ La principale évolution du Wi-Fi 7 concerne le débit maximal théorique que la norme peut désormais gérer : 46 Gbps ;
- ⇒ C'est une valeur importante qui est multipliée par 4,8 par rapport au Wi-Fi 6 ;
- ⇒ Pour atteindre ce débit, le Wi-Fi 7 joue sur la largeur de bande de fréquences, la modulation du signal et le nombre de flux gérés.
- ⇒ La figure (6) montre l'évolution du débit pour les normes Wi-Fi actuelles.

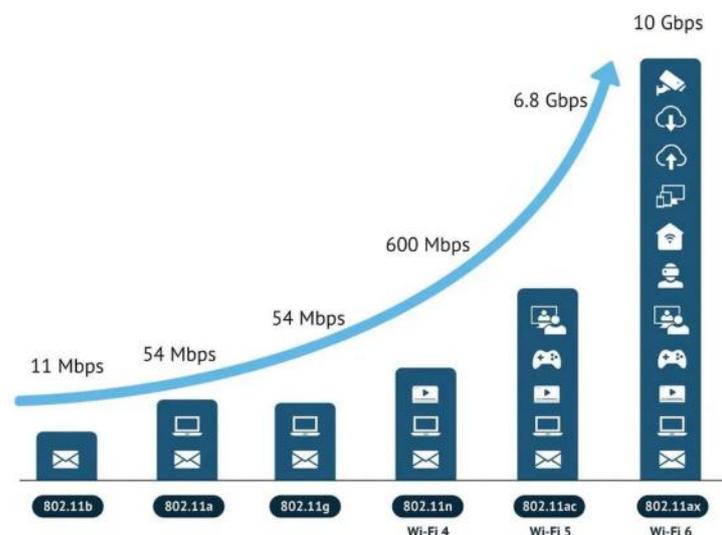


FIGURE.6. CROISSANCE DU DEBIT DE DONNEES POUR LE WI-FI

## Architecture Wi-Fi

- ⇒ Similairement à l'architecture de la téléphonie mobile, constituée de téléphones et de stations de base, le réseau Wi-Fi peut être créé sur la base d'un ou plusieurs points d'accès dans le but d'unifier le réseau et servir de ponts ;
- ⇒ La norme 802.11 offre deux modes de fonctionnement, le mode infrastructure et le mode Ad-Hoc.

### Mode infrastructure

- ⇒ La configuration d'un réseau en mode infrastructure nécessite au moins un point d'accès sans-fil AP (pour Access Point en anglais) ;
- ⇒ Le point d'accès et les clients doivent être configurés pour utiliser le même nom de réseau ;
- ⇒ Le point d'accès est câblé au réseau Ethernet pour permettre aux clients sans-fil d'accéder à des ressources telles qu'Internet ;
- ⇒ La norme 802.11 appelle ce réseau « Basic Service Set », plus connu sous les initiales de BSS ;
- ⇒ Similairement au réseau cellulaire, dans les BSS, les points d'accès jouent le rôle de station de base ;
- ⇒ Comme le BSS dépend de l'AP, il est délimité par la zone où le signal de l'AP n'est pas très fortement atténué ;
- ⇒ Cette zone (zone de couverture) porte les initiales de « BSA » pour Basic Service Area en anglais. Similairement au réseau cellulaire, on peut la considérer comme étant une cellule ;

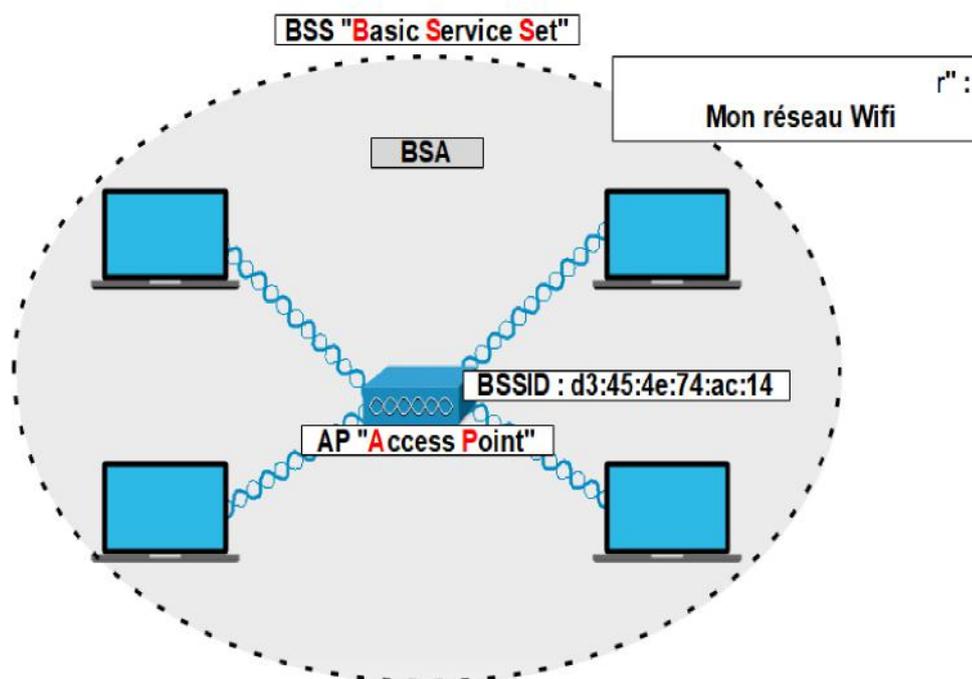


FIGURE.7. RESEAU AUTONOME WI-FI AVEC INFRASTRUCTURE

- ⇒ Sur la figure (7), le BSA, ou bien la cellule, est représentée par la zone circulaire grise, qui se centre autour du point d'accès (AP) ;
- ⇒ L'AP représente le point de contact unique pour chaque appareil qui souhaite utiliser le BSS ;
- ⇒ Il annonce l'existence du BSS afin que les appareils puissent le trouver et essayer de le joindre ;

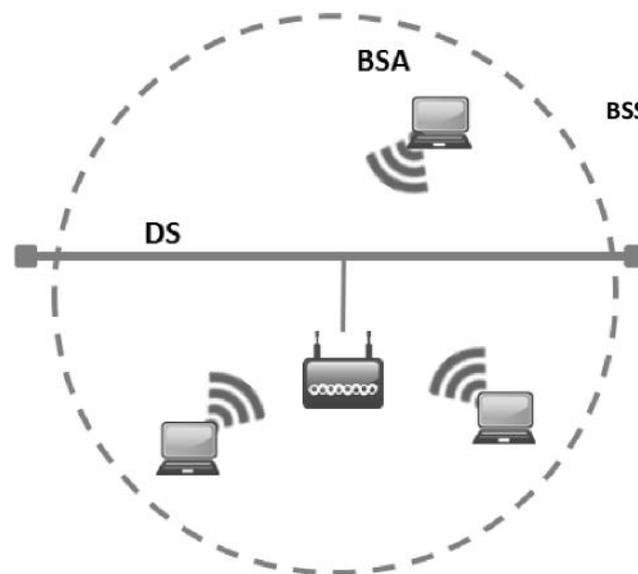


FIGURE.8. AP D'UN BSS CONNECTE A UN RESEAU ETHERNET

- ⇒ Pour réaliser cette opération, il utilise un identifiant BSS unique basé sur la propre adresse MAC de l'AP (BSSID) ;
- ⇒ L'AP annonce aussi le réseau sans-fil avec un identifiant (une chaîne de texte qui contient le nom du Wi-Fi) ;
- ⇒ Comme l'AP a des capacités sans-fil et câblées, il peut établir une liaison montante vers un réseau Ethernet.
- ⇒ Des points d'accès peuvent être ajoutés à ce réseau pour augmenter la portée de l'infrastructure et prendre en charge davantage de clients sans-fil ;
- ⇒ On obtient alors un réseau composé de plusieurs BSS, chacun d'eux est relié à un système de distribution, ou DS (Distribution System), par l'intermédiaire de leur point d'accès (AP) respectif ;
- ⇒ Un **système de distribution** DS correspond en règle générale à un réseau Ethernet filaire ;
- ⇒ Un groupe de BSS interconnectés par un système de distribution forme un ESS (Extended Service Set), qui n'est pas très différent d'un sous-système radio de réseau de mobiles ;
- ⇒ Pour augmenter la couverture, on peut rajouter d'autres AP avec une répartition géographiquement uniforme ;
- ⇒ Les AP, placés à différents emplacements géographiques, peuvent alors être interconnectés par une nouvelle infrastructure ESS ;

- ⇒ Dans ce cas, le SSID, qui est défini sur les différents AP, doit être identique pour ne pas obliger le client à reconfigurer le Wi-Fi en se déplaçant d'une zone à une autre ;

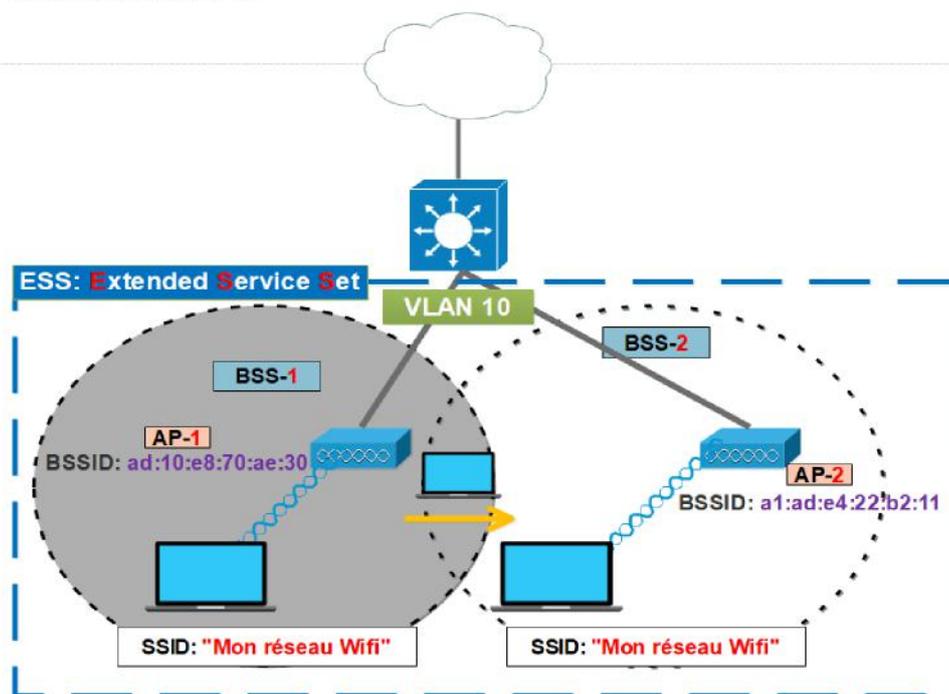


FIGURE.9. ESS CONNECTE A UN RESEAU ETHERNET

- ⇒ Comme le montre la figure (9), le BSA a un BSSID unique. En revanche, les deux BSA partagent le même SSID ;
- ⇒ Chaque AP offre son propre BSS sur son propre canal, afin d'éviter les interférences entre les AP ;

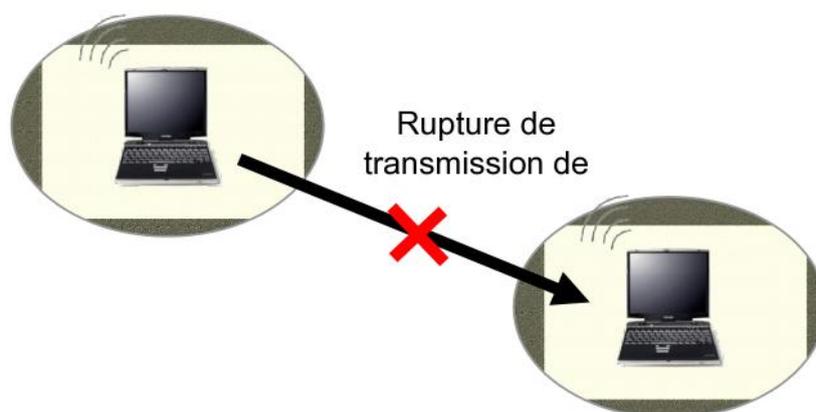


FIGURE.10. RUPTURE DE COMMUNICATION

- ⇒ Lorsqu'un appareil se déplace d'un point d'accès à un autre, il balaye les canaux disponibles pour trouver un nouveau point d'accès, et donc un nouveau BSS ;
- ⇒ L'appareil est en itinérance de BSS à BSS et de canal à canal ;

- ⇒ Les cellules recouvrantes permettent d'offrir un service de mobilité ce qui implique une absence de pertes de connexions ;
- ⇒ Un plus grand nombre d'utilisateurs est possible sans dégradation trop importante des performances ;

## .Mode Ad-Hoc

- ⇒ C'est un mode de fonctionnement qui permet de connecter directement les ordinateurs équipés d'une carte réseau Wi-Fi, sans utiliser un matériel tiers tel qu'un point d'accès → IBSS pour Independent Basic Service Set ;



FIGURE.11. RESEAU AUTONOME WI-FI AD-HOC

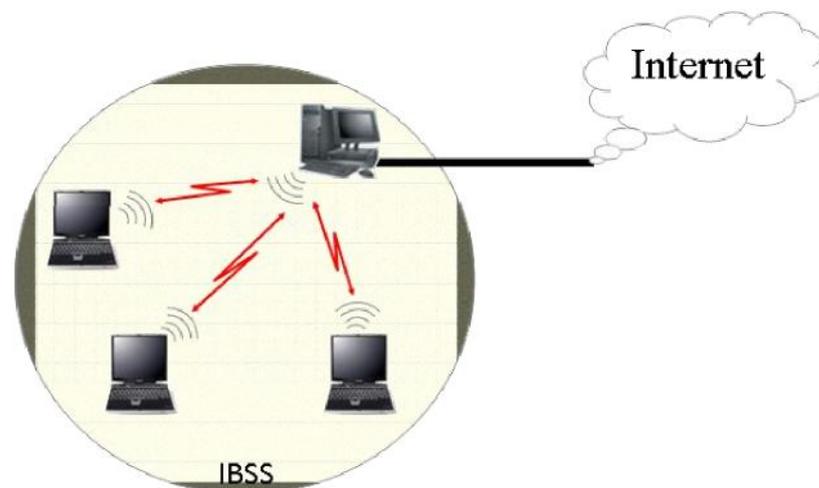


FIGURE.12. CONNEXION A INTERNET DANS UN IBSS

- ⇒ Ce réseau point à point (Peer to Peer en anglais) consiste en un réseau dans lequel chaque machine joue en même temps le rôle de client et le rôle de point d'accès ;

- ⇒ Dans le réseau IBSS, une station peut partager un accès à Internet avec une autre appartenant au même réseau → le réseau fonctionne comme un BSS ;
- ⇒ Lorsque trois stations A, B et C sont connectées en mode ad-hoc (différent d'un réseau ad-hoc de trois stations), il n'y a pas de protocole de routage. Par conséquent, comme le montre la figure (13), A ne peut pas envoyer de données à C car B ne peut pas effectuer le routage.

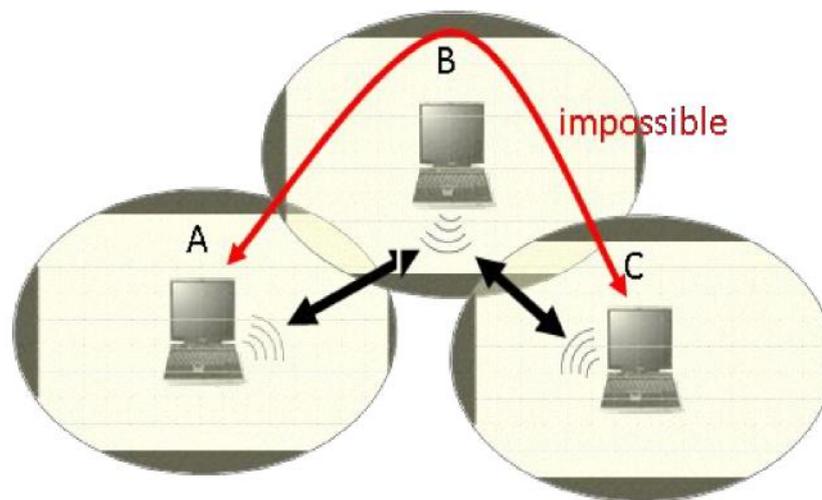


FIGURE.13. TROIS STATIONS EN MODE AD-HOC

## Mode Infrastructure vs Mode Ad-Hoc

- ⇒ Par rapport aux réseaux sans-fil Ad-Hoc, le mode infrastructure offre les avantages suivants :
  - L'évolutivité (قابلية التوسع) ;
  - La gestion centralisée de la sécurité ;
  - La portée améliorée ;
  - Les appareils sans-fil peuvent se connecter aux ressources sur un réseau LAN câblé, ce qui est courant dans les environnements professionnels ;
  - D'autres points d'accès peuvent être ajoutés pour réduire la congestion (الازدحام) et élargir la portée du réseau.
- ⇒ L'inconvénient des réseaux sans-fil en mode infrastructure est le coût supplémentaire du matériel AP ;
- ⇒ Les réseaux Ad-Hoc se connectent aux appareils de manière peer-to-peer (P2P), de sorte que seuls les appareils eux-mêmes sont nécessaires. Aucun point d'accès ou routeur n'est nécessaire pour que deux appareils ou plus se connectent l'un à l'autre ;
- ⇒ En bref, le mode infrastructure est typique pour les implémentations durables ou permanentes d'un réseau ;

- ⇒ Les réseaux Ad-Hoc existent généralement dans des moments de courte durée au cours desquels certains appareils doivent partager des fichiers mais sont trop éloignés d'un réseau pour fonctionner.

## Architecture en couches des systèmes IEEE 802.11x

- ⇒ La norme IEEE 802.11x définit les deux premières couches basses du modèle OSI. Il s'agit de la couche physique et de la couche liaison de données. Cette dernière est subdivisée en deux sous-couches, la sous-couche LLC (Logical Link Control) et la couche MAC (Medium Access Control) ;
- ⇒ La norme IEEE 802.11x a introduit des modifications sur le niveau physique avec le support de plusieurs méthodes d'accès radio (donc la définition de plusieurs couches physiques) ;
- ⇒ Comme le montre la figure (14), la nouvelle couche MAC est commune à toutes ces différentes couches physiques.

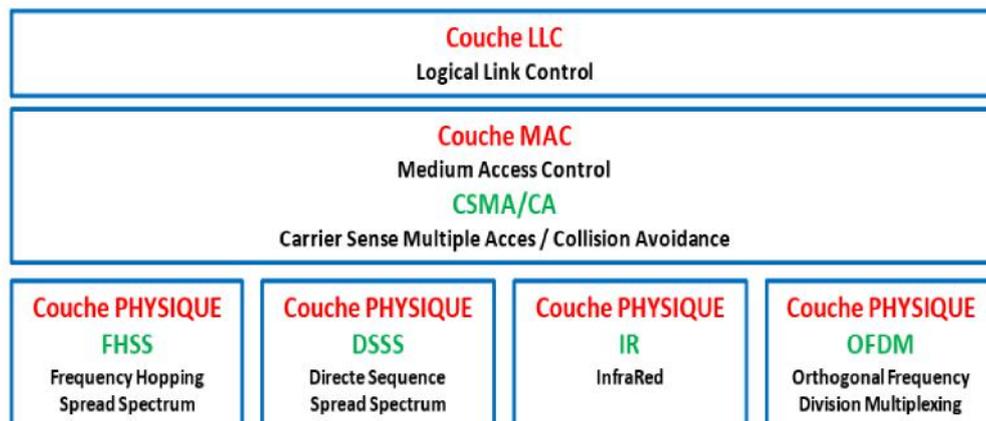


FIGURE.14. MODELE EN COUCHES DE L'IEEE 802.11

## La couche physique

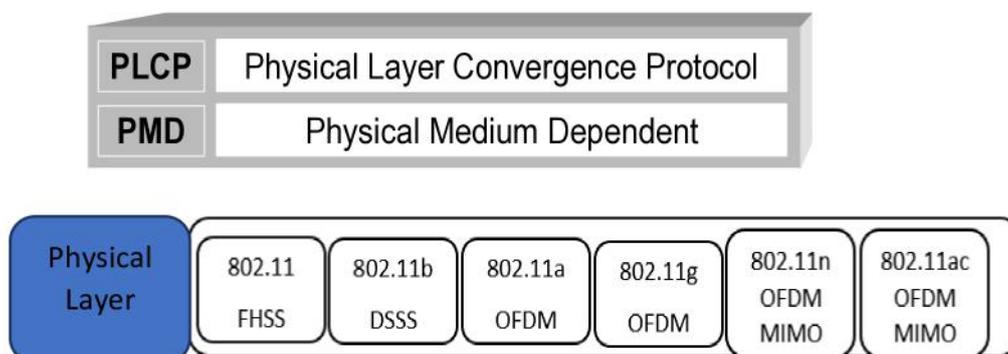


FIGURE.15. COUCHE PHYSIQUE DE L'IEEE 802.11

- ⇒ L'une des particularités de la norme IEEE 802.11 est qu'elle offre plusieurs variantes au niveau physique ;
- ⇒ Comme le montre la figure (14), la norme 802.11 d'origine a défini uniquement trois couches physiques, les couches FHSS, DSSS, et IR ;
- ⇒ Ultérieurement, le Wi-Fi, le Wi-Fi 5 et le IEEE 802.11g ont été ajoutés. Une autre modulation de fréquence (OFDM) a été adoptée accroissant les débits offerts ;
- ⇒ On rappelle que la couche physique de la norme IEEE 802.11 est l'interface située entre la couche MAC et le support qui permet d'envoyer et de recevoir les trames ;
- ⇒ Comme le montre la figure (15), chaque couche physique est divisée en deux sous-couches :
  - La sous-couche PMD (Physical Medium Dependent) qui gère l'encodage des données et effectue la modulation ;
  - La sous-couche PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) qui 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.

## LES BANDES DE FREQUENCES

- ⇒ Les couches radio du standard IEEE 802.11 utilisent des fréquences situées dans des bandes sans licence qui sont la bande ISM et la bande U-NII (Unlicensed-National Information Infrastructure) ;
- ⇒ La bande sans licence U-NII est située autour de la fréquence 5 GHz ;
- ⇒ Elle offre une largeur de bande de 300 MHz (plus importante que celle de la bande ISM qui est égale à 83.5 MHz) ;
- ⇒ La bande U-NII n'est pas continue mais elle est divisée en trois sous-bandes distinctes de 100 MHz. La première et la deuxième sous bande concernent des transmissions en intérieur. La troisième sous-bande concerne des transmissions en extérieur ;
- ⇒ Dans chaque sous bande, la puissance d'émission autorisée est différente ;
- ⇒ Comme pour la bande ISM, la disponibilité de ces trois bandes dépend de la zone géographique (Pays).

## Techniques de transmission

- ⇒ Comme nous l'avons indiqué précédemment, le standard 802.11 d'origine a défini trois couches physiques de base, FHSS, DSSS et IR, auxquelles ont été rajoutées de nouvelles couches physiques Wi-Fi. Dans ce qui suit les principes de ces techniques, appliquées à la norme Wi-Fi, seront montrés.

### FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

- ⇒ Comme nous l'avons vu dans les cours précédents, la FHSS désigne une technique d'étalement de spectre fondée sur le saut de fréquence ;
- ⇒ Dans cette technique, la bande ISM (de 2.4 GHz) est divisée en 79 canaux ayant chacun 1 MHz de largeur de bande ;

- ⇒ Similairement au cas des réseaux Bluetooth, pour transmettre des données, l'émetteur et le récepteur s'accordent sur une séquence de sauts précise ;
- ⇒ Dans le standard 802.11, la couche FHSS définit trois ensembles de 26 séquences, soit au total 78 séquences de sauts possibles ;
- ⇒ La transmission des données se fait par l'intermédiaire de sauts d'un sous-canal à un autre, sauts qui se produisent toutes les 300 ms, selon une séquence pseudo-aléatoire prédéfinie ;
- ⇒ Cette séquence est définie de manière optimale de façon à minimiser les probabilités de collision entre plusieurs transmissions simultanées ;
- ⇒ Si une station ne connaît pas la séquence de sauts des canaux, elle ne peut pas récupérer les données ;
- ⇒ L'un des avantages de la technique FHSS est qu'elle permet, théoriquement, de faire fonctionner simultanément 26 réseaux 802.11 FHSS dans une même zone, chaque réseau utilisant une des séquences prédéfinies ;
- ⇒ Un autre avantage de la technique FHSS est sa résistance face aux interférences. En effet, comme le système saute toutes les 300 ms 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 ;

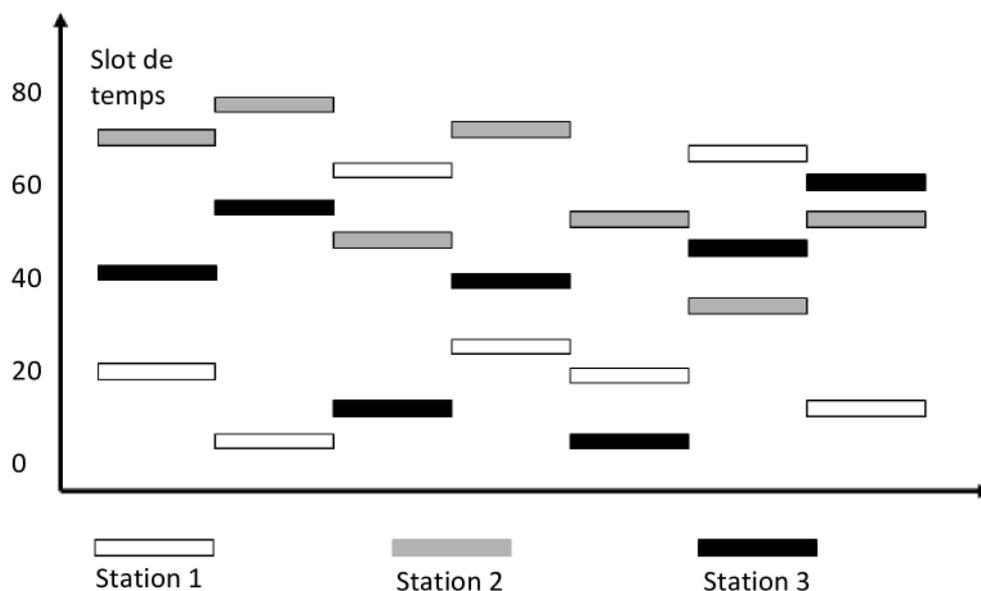


FIGURE.16. TECHNIQUE FHSS DANS LE WI-FI

- ⇒ Le principal inconvénient de la technique FHSS vient de son débit qui est limité à 2 Mbps. Cette limitation est due au fait que la bande passante des canaux est faible (égale à 1 MHz) ;
- ⇒ Le besoin d'accroître le débit a limité l'emploi de la FHSS dans les équipements Wi-Fi par rapport à d'autres techniques, plus performantes, qui intègrent les versions 802.11b/a/g ;
- ⇒ Cette technologie est aujourd'hui totalement écartée des équipements.

### SCHEMA DE MODULATION POUR LA TECHNIQUE FHSS

- ⇒ Dans le standard 802.11, les données sont émises au moyen d'une modulation GMSK (Gaussian Minimum-Shift Keying) ;
- ⇒ C'est une modulation de fréquence à enveloppe constante ;
- ⇒ Pour cette modulation, le débit est compris entre 1 et 2 Mbit/s ;

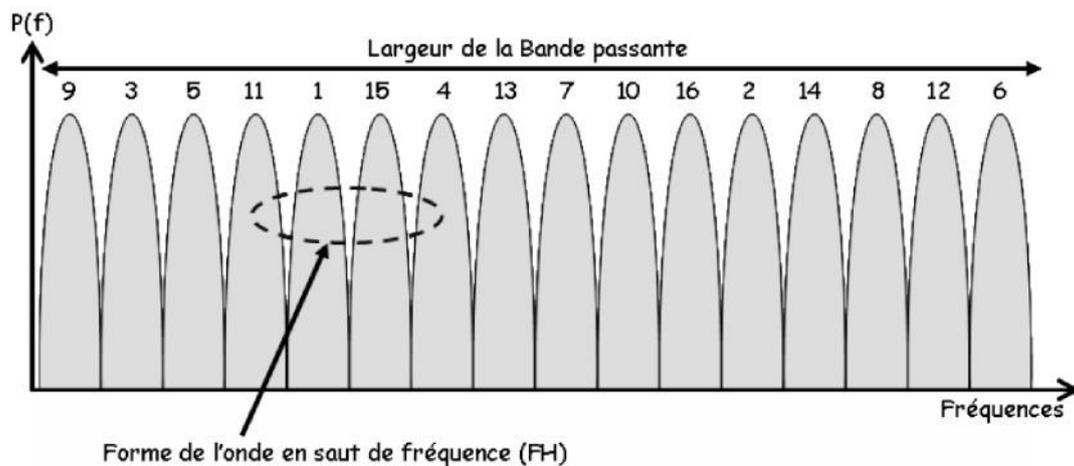


FIGURE.17. LARGEUR DE BANDE DE LA FHSS

### Technique DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum)

- ⇒ Dans cette technique, l'IEEE 802.11 combine le signal de données, au niveau de la station émettrice, avec une séquence de bits (appelée code pseudo-aléatoire) à débit plus élevé ;
- ⇒ Ce codage est appelé « Chipping » ;
- ⇒ L'IEEE 802.11 a fixé ses exigences minimales de gain de traitement à 11, ce qui signifie que le code est 11 fois très rapide par rapport au flux de données. En effet, chaque bit des données correspond à 11 chips (bribes) du code comme le montre la figure (18) ;

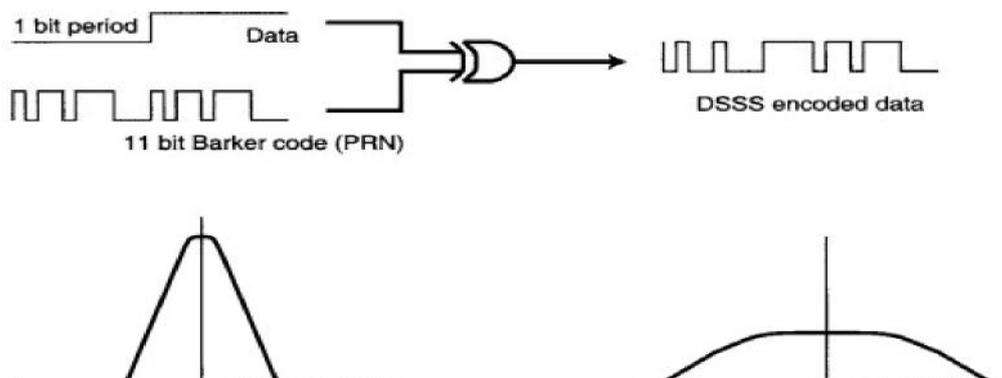


FIGURE.18. CODAGE DSSS UTILISANT UN CODE DE BARKER DE 11 CHIPS

- ⇒ Le code pseudo-aléatoire utilisé, est appelé code de Barker (1-111-1111-1-1-1). En effet, chaque bit de données transmis est multiplié par cette

- séquence. Cette approche introduit un étalement de spectre rendant le signal à transmettre plus insensible aux interférences bande étroite ;
- ⇒ On définit une séquence de 11 chips (10110111000) pour coder un « 1 » et son complément (01001000111) pour coder un « 0 »
  - ⇒ Plus les codes d'étalement sont longs, moins la transmission est sensible aux interférences des signaux d'autres utilisateurs. De plus, la diffusion offre un certain degré de protection contre les écoutes clandestines non autorisées ;

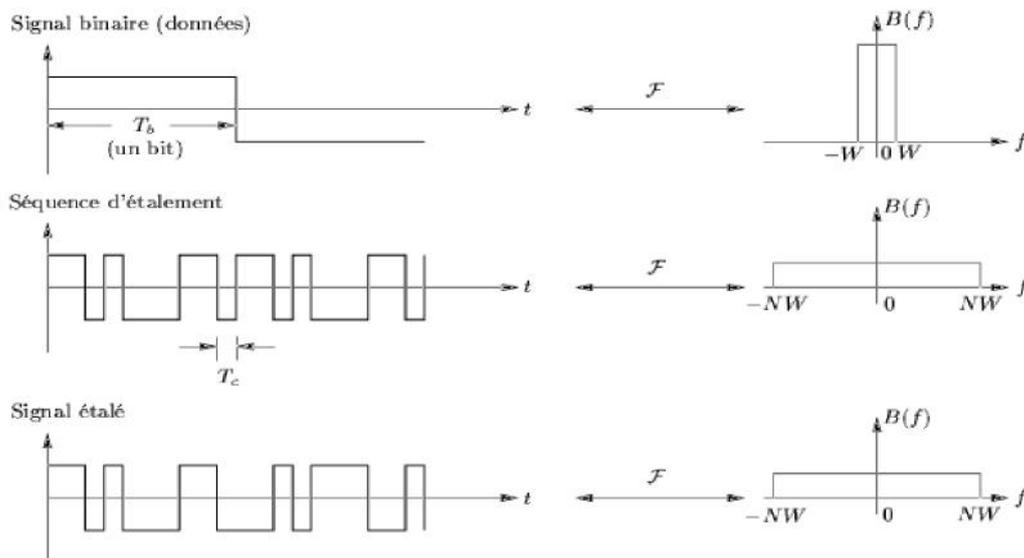


FIGURE.19. ETALEMENT DE SPECTRE D'UN SIGNAL DE DONNEES

- ⇒ Côté spectral, comme le montre la figure (19), la DSP du signal à transmettre est étalée sur une large bande de fréquences ;

SCHEMAS DE MODULATION POUR LA TECHNIQUE DSSS

- ⇒ Avec la technique DSSS, deux schémas de modulation peuvent être utilisés à savoir :
  - La DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying), conduisant à un débit égal à 1 Mbit/s (Voir la figure (20));
  - La DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), conduisant à un débit égal à 2 Mbit/s.
- ⇒ La modulation par déplacement de phase différentielle (DPSK) est une alternative de la PSK ;

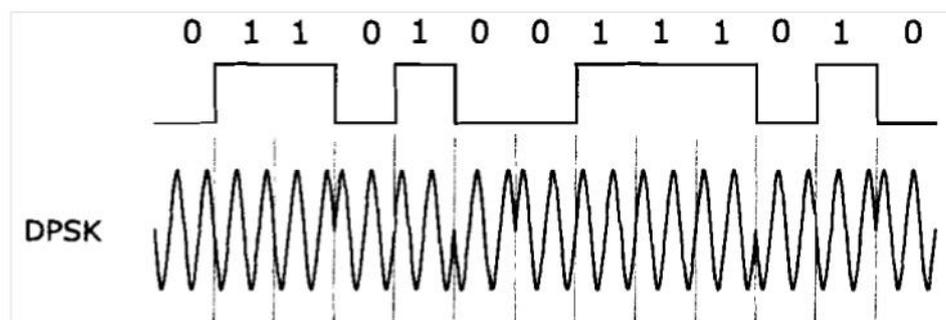


FIGURE.20. MODULATION DBPSK

⇒ La différence entre ces deux types de modulation est que, par exemple, dans le DBPSK les bits ne sont pas représentés par une certaine phase, mais par un changement de phase. En effet, lorsqu'un "1" binaire est envoyé, la phase est inchangée par rapport au bit précédent, et un zéro binaire est représenté par un changement de phase. Un exemple est montré dans la figure (21).

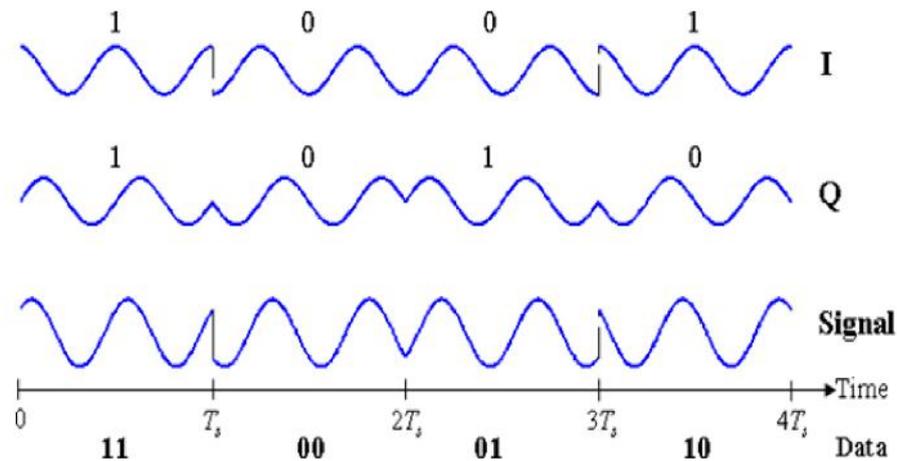
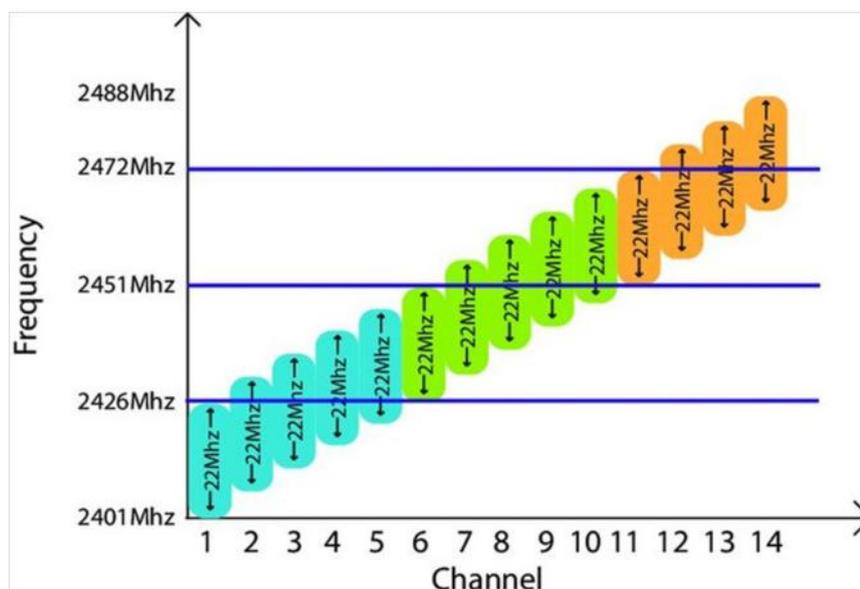


FIGURE.21. MODULATION DQPSK

⇒ Similairement, la QPSK différentielle (DQPSK) est une variante compatible avec les récepteurs non cohérents. En effet, dans la DQPSK, un certain déphasage est appliqué par rapport au symbole précédent.

BANDES DE FREQUENCES POUR LA DSSS



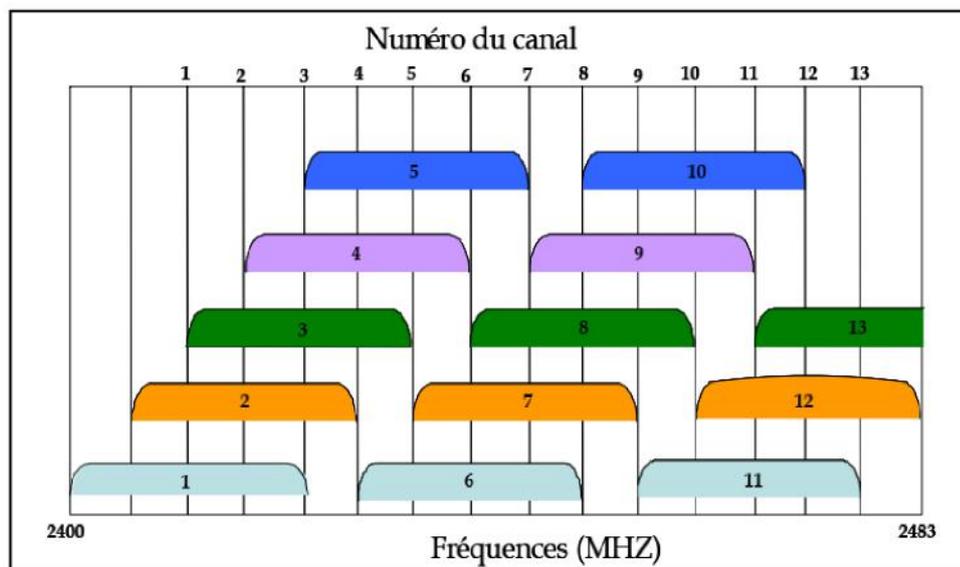


FIGURE.22. RECOUVREMENT SPECTRAL DES 14 CANAUX DANS LE WI-FI A BASE DE TECHNIQUE DSSS

- ⇒ Dans la technique DSSS, la bande ISM est divisée en canaux ou sous-bandes (14 canaux de 22 MHz chacun);
- ⇒ La largeur de la bande ISM étant égale à 83.5 MHz, il est impossible d'y placer 14 canaux adjacents de 22 MHz chacun ;
- ⇒ Les canaux se recouvrent donc, comme illustré à la figure suivante ;
- ⇒ Les fréquences crêtes (fréquences centrales correspondant à chacune des sous-bandes) sont espacées de 5 MHz. Les valeurs de ces fréquences sont montrées dans le tableau (2) :

TABLEAU.2. CARACTERISTIQUES SPECTRALES DES CANAUX DANS LE WI-FI A BASE DE LA TECHNIQUE DSSS

Numéro du canal	Fréquence basse [GHz]	Fréquence Centrale [GHz]	Fréquence haute [GHz]
1	2.401	2.412	2.423
2	2.406	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.446	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473
12	2.456	2.467	2.478
13	2.461	2.472	2.483
14	2.473	2.484	2.495

- ⇒ La transmission ne se fait que sur un canal donné ;
- ⇒ L'utilisation d'un seul canal pour la transmission est un inconvénient si différents réseaux 802.11 DSSS se superposent ;
- ⇒ Les réseaux fonctionnant sur des canaux qui ne se chevauchent pas n'interféreront pas les uns avec les autres.
- ⇒ En pratique, il est souvent impossible de créer un plan de bande parfait, et certains chevauchements se produiront presque certainement.
- ⇒ Lorsqu'un canal est sélectionné, le spectre du signal occupe une bande comprise entre 10 MHz et 15 MHz de chaque côté de la fréquence centrale. La valeur 15 MHz provient de la décroissance non idéale des lobes secondaires de la modulation utilisée (Voir le figure (23));
- ⇒ La bande passante utilisée par un canal s'étale sur les canaux voisins.

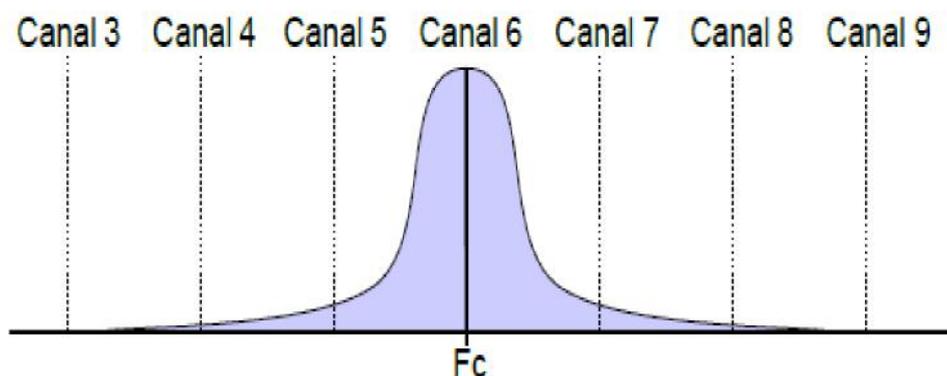


FIGURE.23. UNE BANDE PASSANTE UTILISEE PAR UN CANAL S'ETALANT SUR LES CANAUX VOISINS

- ⇒ Il n'est donc pas possible d'utiliser, dans la même zone géographique, les canaux adjacents à ce canal ;
- ⇒ Pour permettre à plusieurs réseaux d'émettre sur une même cellule, il faut allouer à chacun d'eux des canaux appropriés, qui ne se recouvrent pas (Voir la figure (22));
- ⇒ Par exemple, si un réseau utilise le canal 6, les canaux 5 et 7 ne peuvent pas être utilisés par un deuxième réseau, car ces canaux sont très proches du canal 6 ;
- ⇒ Il en va de même pour les canaux 2, 3, 4, 8, 9 et 10, qui ne peuvent non plus être alloués du fait de l'étalement de la bande passante du canal 6 ;
- ⇒ Les canaux qui peuvent être utilisés sont les canaux 1, 11, 12, 13 et 14 ;
- ⇒ Comme le montre la figure (22), dans la bande de 83.5 MHz (ISM), il ne peut donc y avoir au maximum que trois réseaux 802.11 DSSS émettant sur une même cellule sans risque d'interférences ;
- ⇒ Plusieurs réseaux colocalisés doivent utiliser des canaux espacés de 25 à 30 MHz pour ne pas interférer.

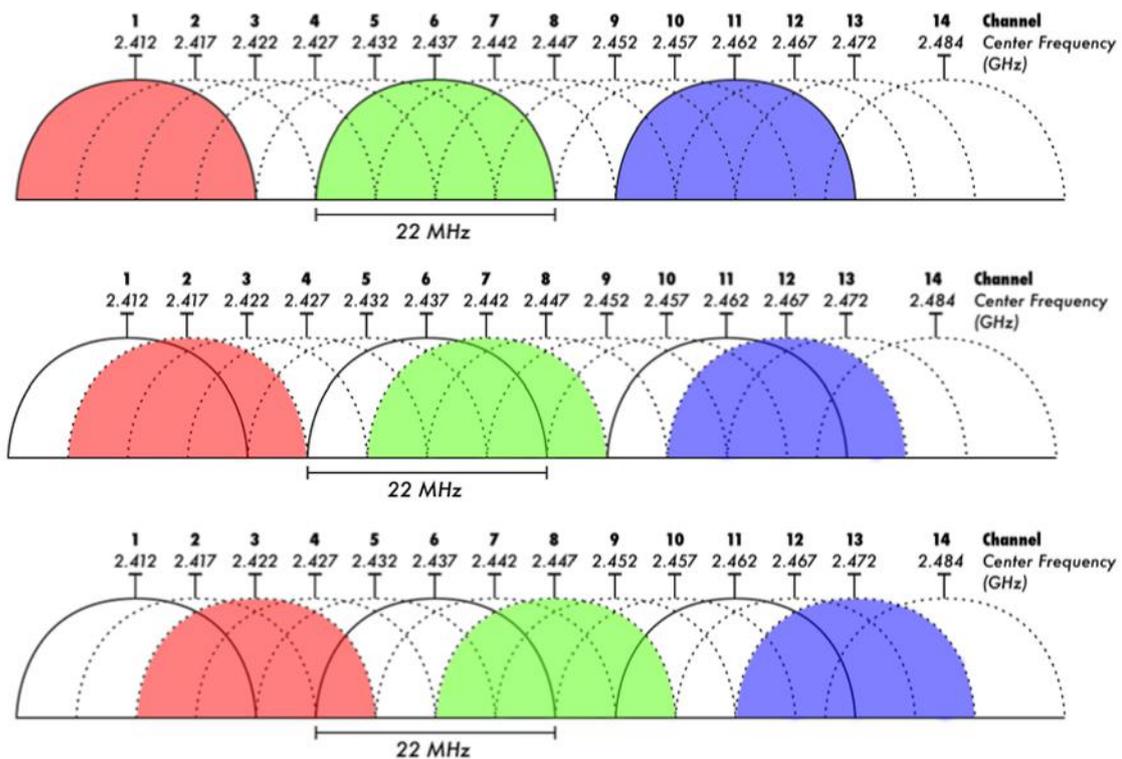


FIGURE.24. CHOIX DES CANAUX NE PRESENTANT PAS UN RECOUVREMENT

### Technique HR/DSSS (High Rate DSSS)

- ⇒ Une nouvelle couche physique (802.11b) ajoutée au standard 802.11 en 1999 ;
- ⇒ Elle fonctionne dans la bande ISM ;
- ⇒ Elle utilise le schéma HR/DSSS (High Rate DSSS) → Une extension de la technique DSSS ;
- ⇒ Le HR/DSSS utilise le même système de canaux que le DSSS ;
- ⇒ La 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* ;
- ⇒ Plutôt que de s'arrêter aux deux séquences de Barker sur 11 bits, le standard définit la technique de modulation CCK (Complementary Code Keying) ;
- ⇒ La séquence d'information est envoyée par l'intermédiaire des codes spéciaux ayant de très bonnes propriétés de corrélation ;
- ⇒ Pour transmettre à 5.5 *Mbps*, il faut transmettre 4 bits par symbole ;
- ⇒ Pour transmettre à 11 *Mbps*, il faut transmettre 8 bits par symbole ;
- ⇒ Les code CCK sont générés par la formule suivante :

$$C = \left\{ \begin{array}{l} e^{j(\varphi_1+\varphi_2+\varphi_3+\varphi_4)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_3+\varphi_4)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_2+\varphi_4)}, -e^{j(\varphi_1+\varphi_4)} \\ e^{j(\varphi_1+\varphi_2+\varphi_3)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_3)}, -e^{j(\varphi_1+\varphi_2)}, e^{j(\varphi_1)} \end{array} \right\}$$

- ⇒ Dans la modulation CCK à 5.5 Mbps,  $d_0, d_1, d_2, d_3$  sont transmis par symbole ( $d_0$  transmis en premier) ;
- ⇒ La phase  $\varphi_1$  est déterminée à partir du couple ( $d_0, d_1$ ) selon un codage DQPSK (Voir le tableau (3)) ;

TABLEAU.3.  $\varphi_1$  EN FONCTION DE ( $d_0, d_1$ ) - MODULATION CCK A 5.5 Mbps

$(d_0, d_1)$	$\varphi_1$ pair	Symbole	$\varphi_1$ impair	Symbole
00		0		$\pi$
01		$\frac{\pi}{2}$		$\frac{3\pi}{2}$
11		$\pi$		0
10		$\frac{3\pi}{2}$		$\frac{\pi}{2}$

- ⇒ En fonction du couple ( $d_2, d_3$ ), nous pouvons calculer ( $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ ) par les formules suivantes :

$$\varphi_2 = (d_2 \times \pi) + \frac{\pi}{2}; \quad \varphi_3 = 0; \quad \varphi_4 = d_3 \times \pi.$$

- ⇒ Dans la modulation CCK à 11 Mbps,  $d_0, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7$  sont transmis par symbole ( $d_0$  transmis en premier) ;
- ⇒ Similairement au cas précédent, la phase  $\varphi_1$  est déterminée à partir du couple ( $d_0, d_1$ ) selon un codage DQPSK (Voir le tableau 2) ;
- ⇒ En fonction des couples ( $d_2, d_3$ ), ( $d_4, d_5$ ) et ( $d_6, d_7$ ), nous pouvons calculer respectivement  $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  selon le tableau (4).

TABLEAU.4.  $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  EN FONCTION DE ( $d_i, d_{i+1}$ ) - - MODULATION CCK A 11 Mbps

$(d_i, d_{i+1})$	$\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$
00	0
01	$\frac{\pi}{2}$
11	$\pi$
10	$\frac{3\pi}{2}$

- ⇒ Dans la modulation CCK à 16.5 Mbps, 12 bits sont transmis par symbole ( $d_0$  transmis en premier) ;
- ⇒ La phase  $\varphi_1$  est déterminée à partir du couple ( $d_0, d_1$ ) et  $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  sont déterminées respectivement à partir des couples ( $d_2, d_3$ ), ( $d_4, d_5$ ) et ( $d_6, d_7$ ) selon le tableau (5).

TABLEAU.5.  $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  EN FONCTION DE ( $d_i, d_{i+1}$ ) - - MODULATION CCK A 16.5 Mbps

$(d_0, d_1)$	$\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$	$(d_i, d_{i+1})$	$\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$
000	0	000	0
001	$\frac{\pi}{4}$	001	$\frac{\pi}{4}$

<b>011</b>	$\frac{\pi}{2}$	010	$\frac{\pi}{2}$
<b>010</b>	$\frac{3\pi}{4}$	011	$\frac{3\pi}{4}$
<b>110</b>	$\pi$	100	$\pi$
<b>111</b>	$\frac{5\pi}{4}$	101	$\frac{5\pi}{4}$
<b>101</b>	$\frac{3\pi}{2}$	110	$\frac{3\pi}{2}$
<b>100</b>	$\frac{7\pi}{4}$	111	$\frac{7\pi}{4}$