



CHAPITRE 4 :

LES RÉSEAUX SANS FIL METROPOLITAINS : TECHNOLOGIE WIMAX

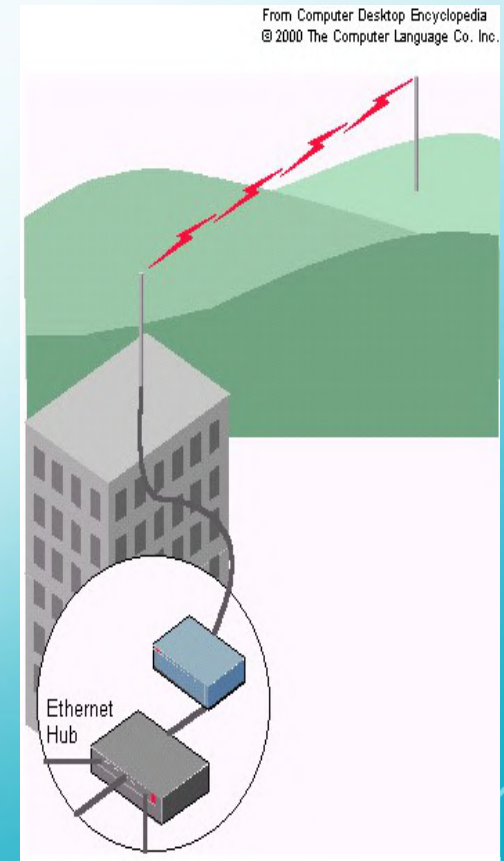
WMAN

- Définition

- ❖ Réseau métropolitain (Wireless Metropolitan Area Network)
- ❖ Plus connu sous le nom de Boucle Local Radio (BLR) ou WLL (Wireless Local Loop),
- ❖ Permet à un particulier ou une entreprise d'être relié à son opérateur (téléphonie fixe, Internet, télévision...) via les ondes radio.
- ❖ Basé sur la norme 802.16
- ❖ Caractéristiques:
 - ✓ Couverture :assez large (-50 Km),
 - ✓ Permet à la fois les communications voix et IP.
 - ✓ Débits: Supérieur à 20 Mbit/s.

- Technologies

- ❖ Local Multipoint Distribution Service (LMDS)
- ❖ Multi Channel Multipoint Distribution Service (MMDS)
- ❖ Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

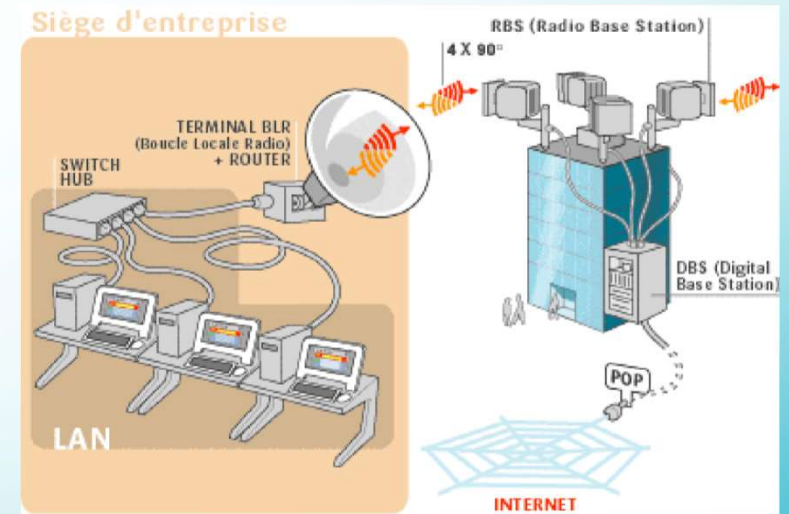


BOUCLE LOCALE RADIO

- La boucle locale radio désigne les infrastructures de transmission d'un réseau ouvert au public reliant directement les clients aux équipements de commutation.
- La BLR présente la particularité d'avoir une station de base et des stations d'abonnés réparties dans la zone de service de cette station de base (Connexion point- multipoint)

BOUCLE LOCALE RADIO

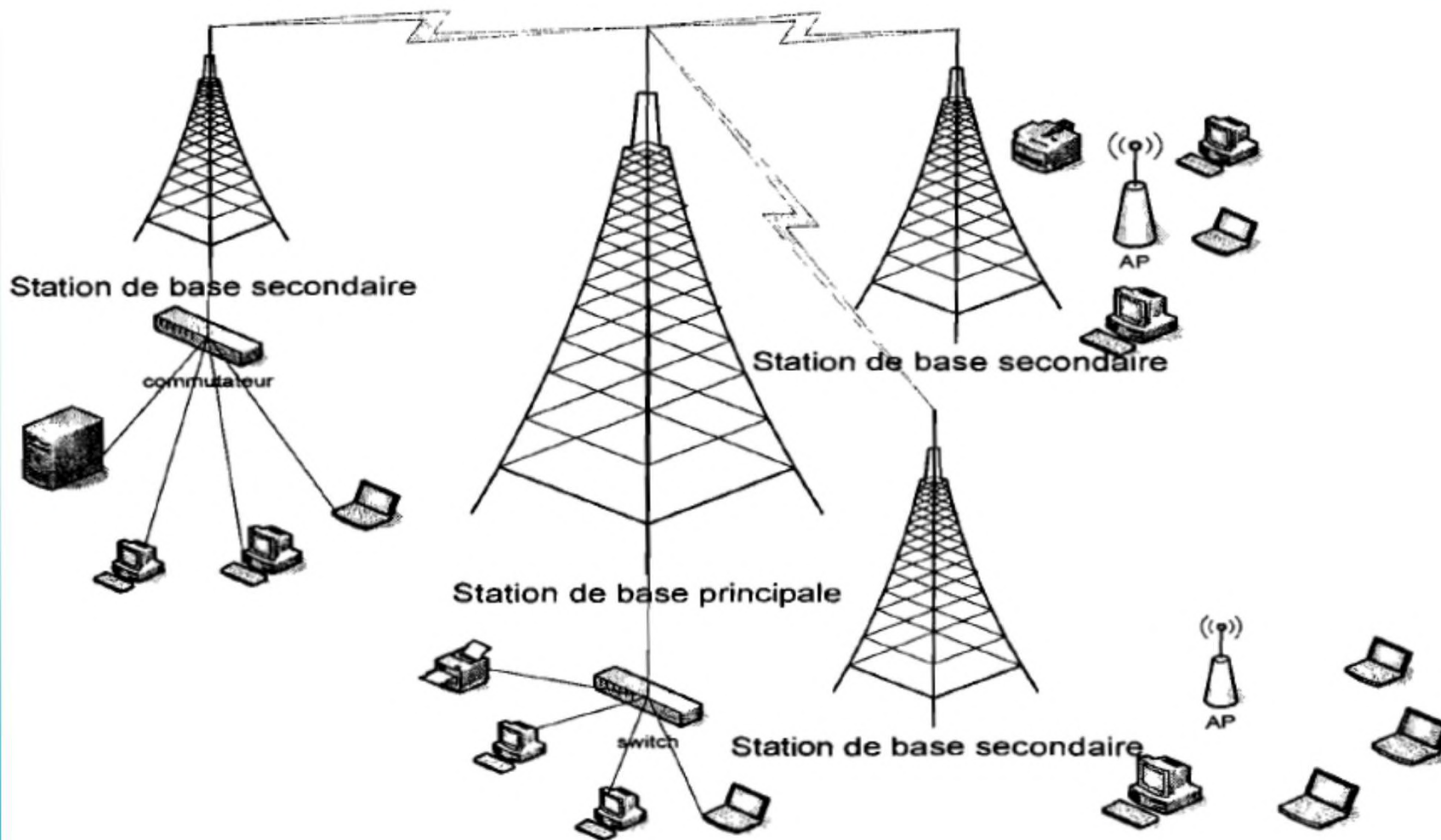
- Boucle locale radio (BLR) est
 - Un réseau de boucle locale.
 - Un réseau radioélectrique.



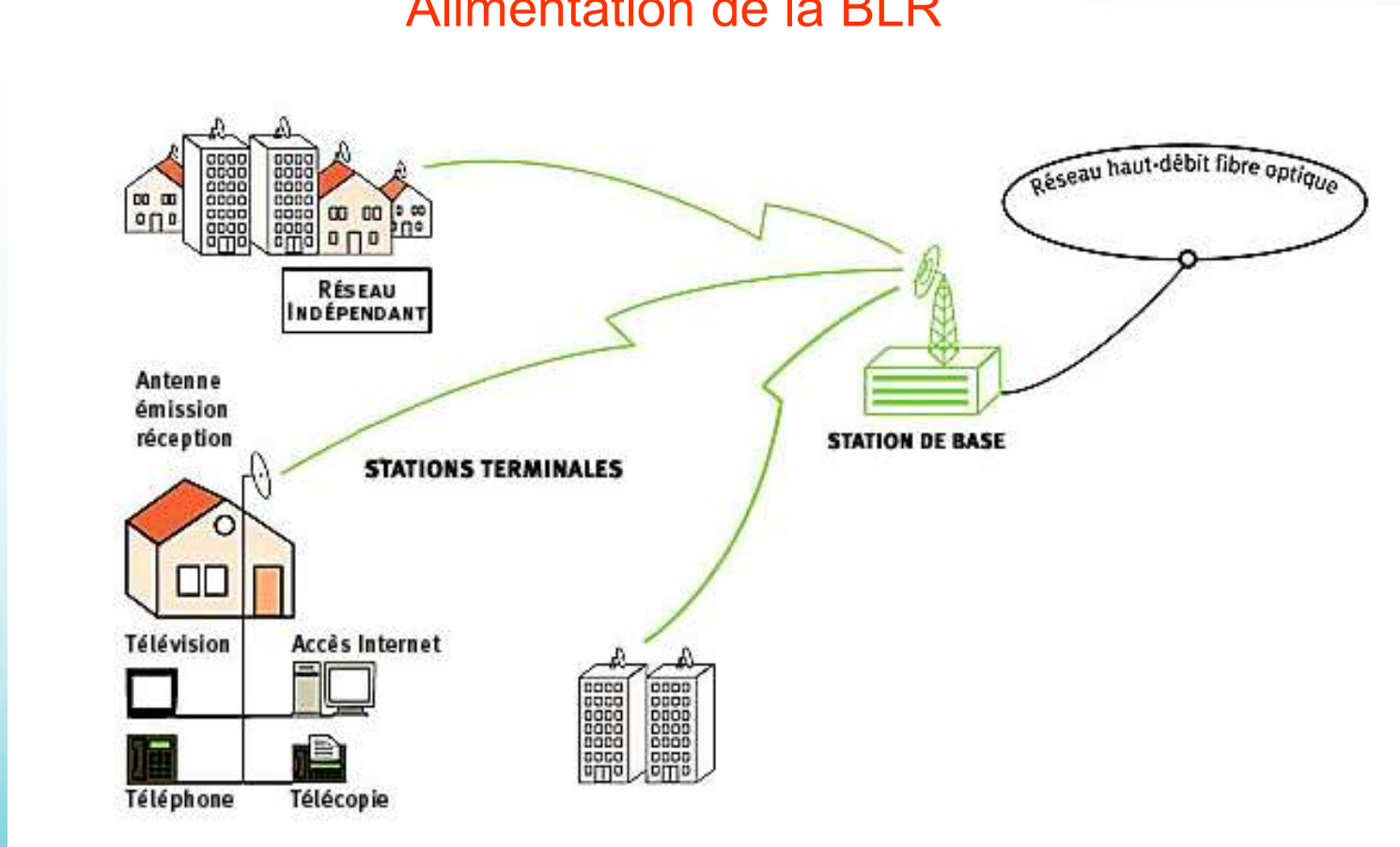
- La bande de fréquences choisie (3,5 GHz) est la gamme privilégiée pour le développement de la BLR.

Le Wimax est l'une des technologies de la BLR.

INTERCONNEXION DE RÉSEAUX LOCAUX PAR BLR



Alimentation de la BLR



L'antenne de l'opérateur, appelée station de base. Ensuite un câble relie l'antenne à un boîtier sur lequel se trouve différents connecteurs: prises téléphoniques, alimentation électrique

WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS

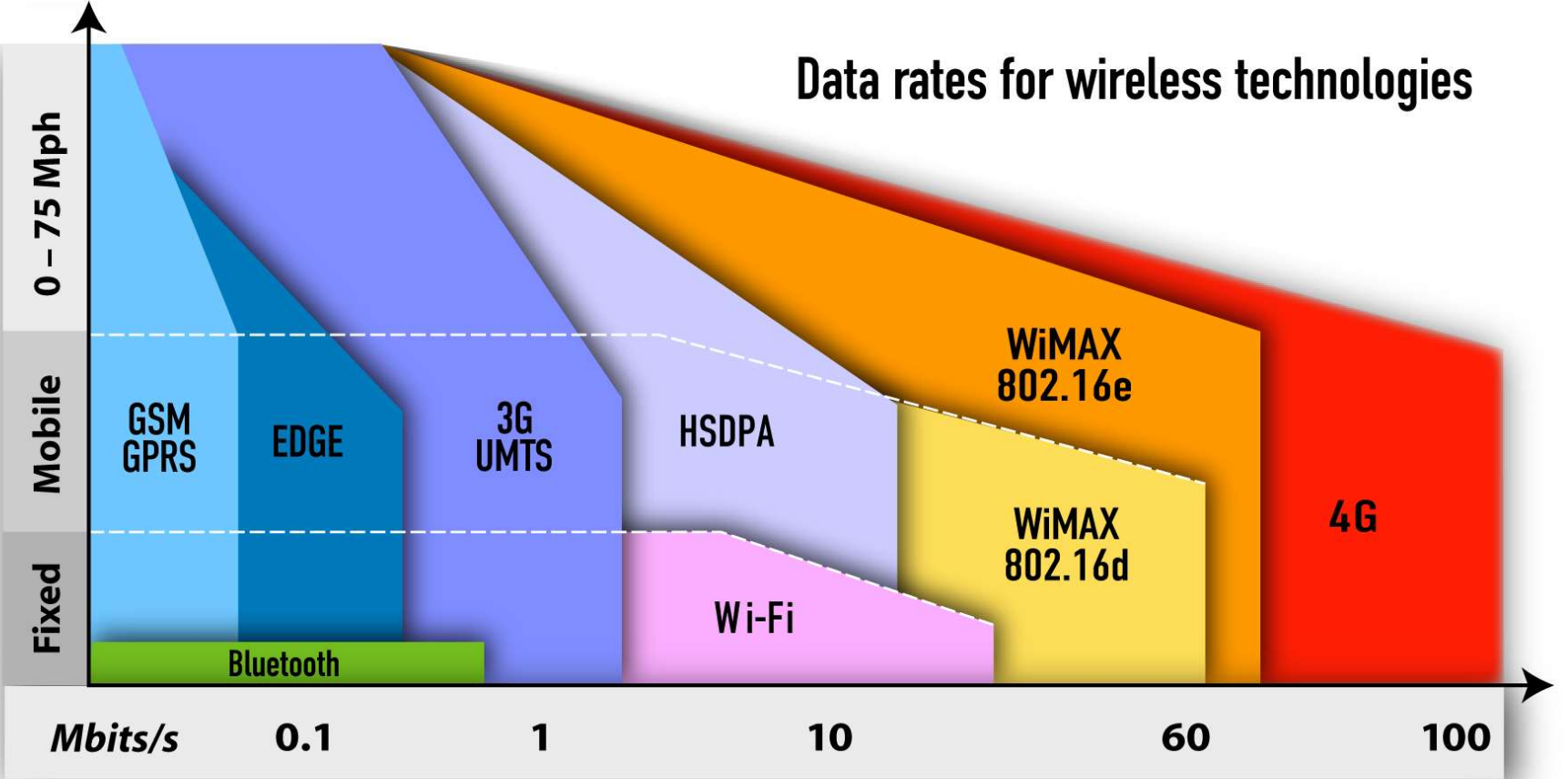
- ✓ Un standard de communication sans fil;
- ✓ Un mode de transmission et d'accès à Internet haut débit, portant sur une zone géographique étendue;
- ✓ Créé par les sociétés Intel et Alvarion en 2002;
- ✓ **WiMAX** est le label commercial délivré par le *WiMAX Forum*;
- ✓ Se présente en deux versions: fixe et mobile.



OBJECTIF:

- Fournir une Technologie hertzienne pour la transmission de données :
 - ✓ Téléphone (VoIP) ;
 - ✓ D'interconnecter des réseaux d'entreprises ;
 - ✓ Naviguer sur Internet à haut débit, sur une zone de couverture de plusieurs kilomètres ;
 - En théorie : 74 Mbit/s avec une portée de 50 kilomètres.
 - En réalité : 12 Mbit/s avec une portée de 4,5 kilomètres.

OBJECTIF:

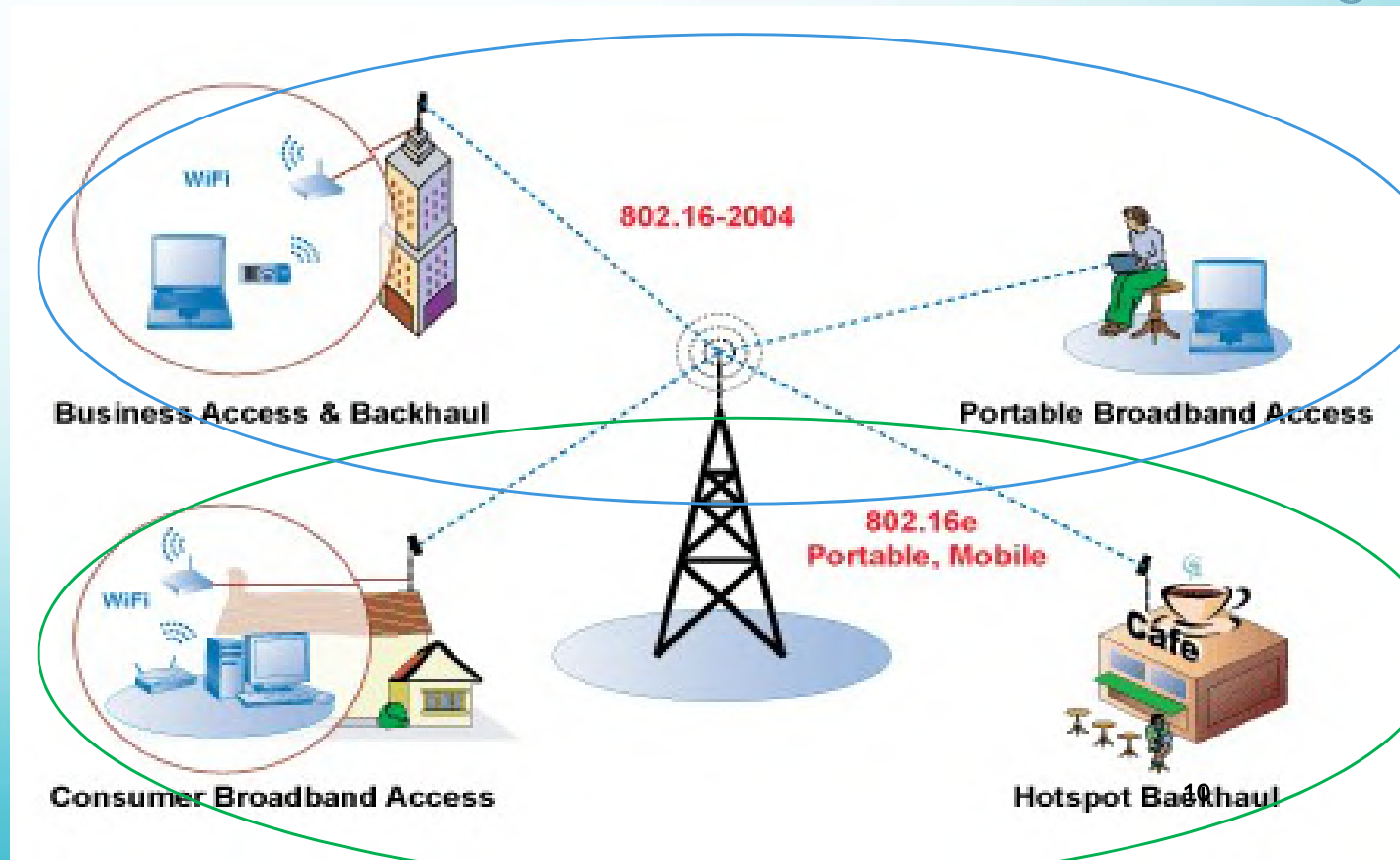


Sources: WiSOA, Siemens, ABI, Intel, Maravedis, Samsung, UMTS Forum, Nokia

VERSIONS DU WIMAX

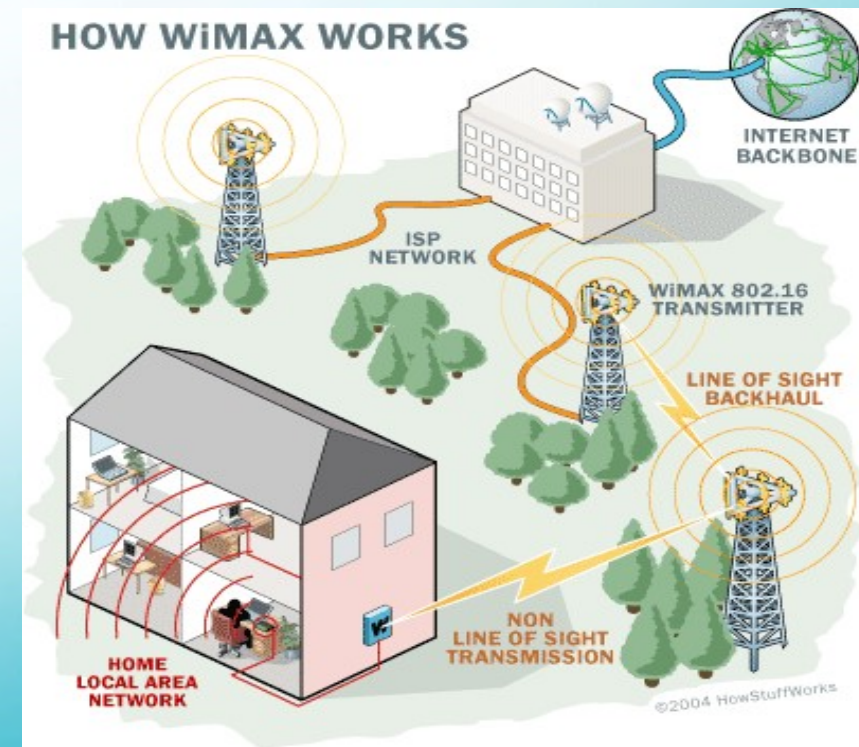
Le WiMax se présente sous deux versions:

- ❖ **Fixe**: remplacer l'ADSL dans les zones rurales.
- ❖ **Mobile**: permet d'avoir un modem ADSL dans sa poche et d'être toujours connecté.



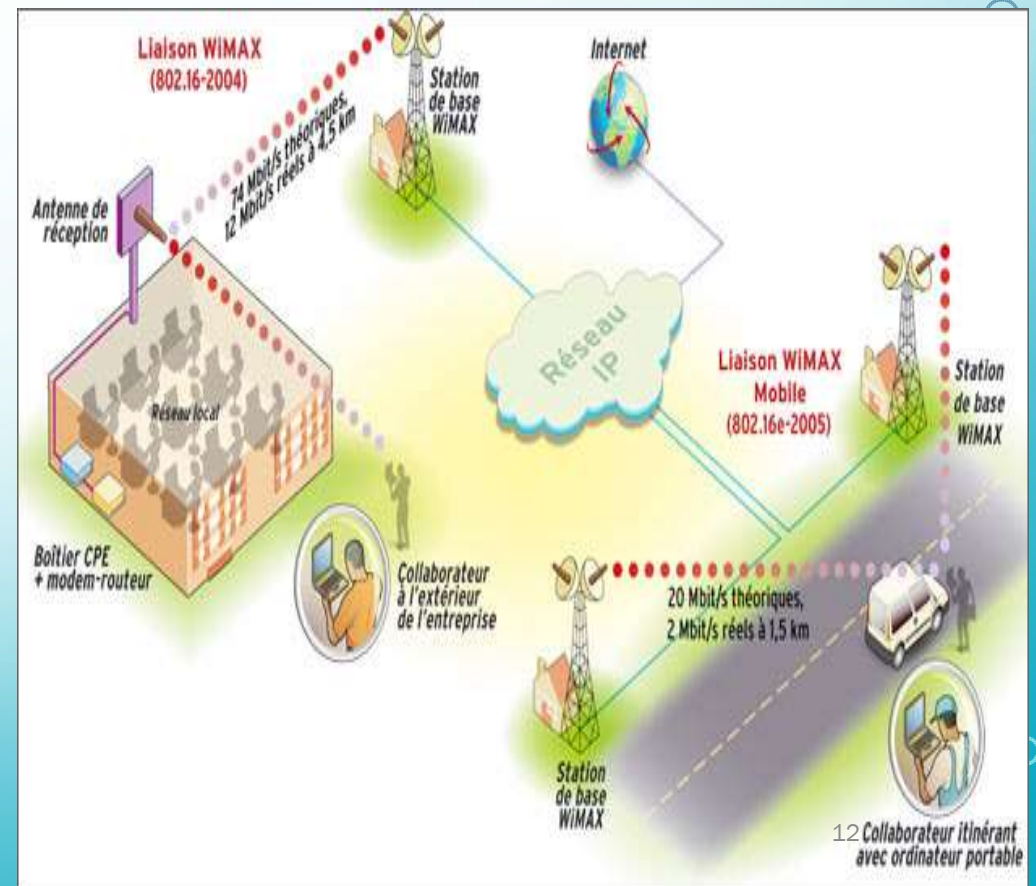
WIMAX FIXE-IEEE 802.16-2004

- ✓ Prévu pour un usage fixe ;
- ✓ Antenne semblable à l'antenne TV;
- ✓ Spectre de fréquence : entre 2.5 GHz et 3.5 GHz ;
- ✓ Débit théorique : 75 Mbps ;
- ✓ Portée : 10 Km ;



WIMAX MOBILE-802.16E-2005

- ✓ Prévoit la possibilité de connecter des noeuds mobiles à internet ;
- ✓ Permet le passage d'une antenne à une autre d'ou la mobilité ;
- ✓ Permet une connexion omniprésente par l'intermédiaire d'un appareil mobile ;
- ✓ Moins cher qu'une installation Wi-Fi ou filaire;
- ✓ Permet la téléphonie IP Mobile ;
- ✓ plage de fréquence : 2 GHz à 6 GHz ;
- ✓ un débit théorique maximal : 30 Mbps ;
- ✓ Portée : 3.5 Km .



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

- Le Wimax fonctionne avec un Principe de station de base et des Stations d'abonnés reliées par des antennes.
- Le réseau peut être subdivisé en deux sous réseaux :
 - Le backhaul :
 - Constitue le réseau formé par l'ensemble des BS interconnectées point à point entre elles,
 - nécessité d'une visibilité directe (LOS) entre deux BS.
 - Le réseau d'accès :
 - C'est une liaison point à multipoint entre une BS et plusieurs SS.
 - Une visibilité directe peut ne pas être nécessaire (NLOS).



SCHÉMA DE DÉPLOIEMENT

Permet d'assurer une couverture maximale entre l'antenne et l'utilisateur,

type de la desserte
locale radio WiMAX



Obstacle (arbres, relief, construction...)

Liaison très haut débit (fibre optique, câble coaxial...)



Réseau de collecte

Assure la liaison avec le réseau internet mondial.



une antenne WiMAX assure la liaison entre l'émetteur de la zone et l'équipement connecté

Le WiMAX peut assurer une transmission sans ligne de vue

une boucle... est un lien entre l'utilisateur et la station de base.

Transmission radio en ligne de vue

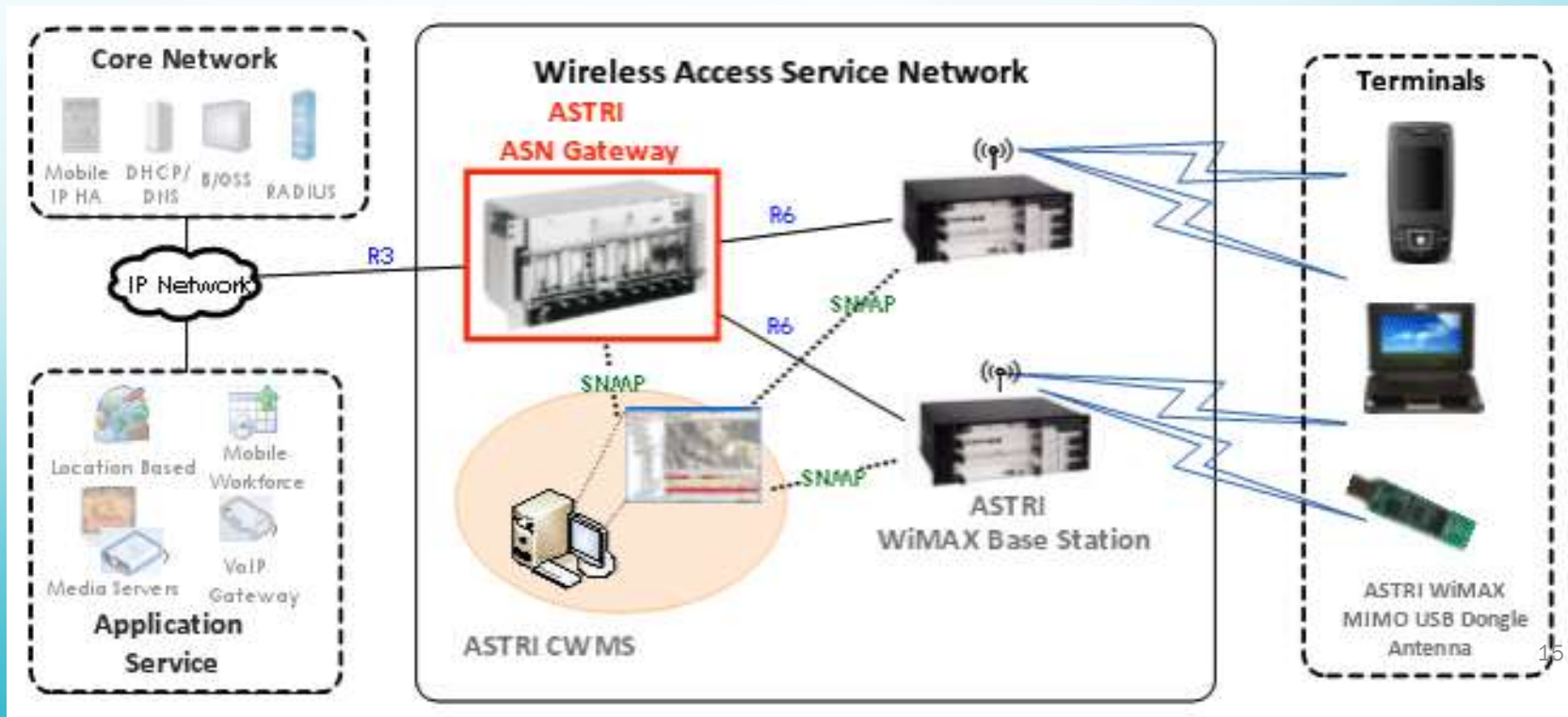
Transmission sans ligne de vue (au-delà de 500m)



ARCHITECTURE DU WIMAX

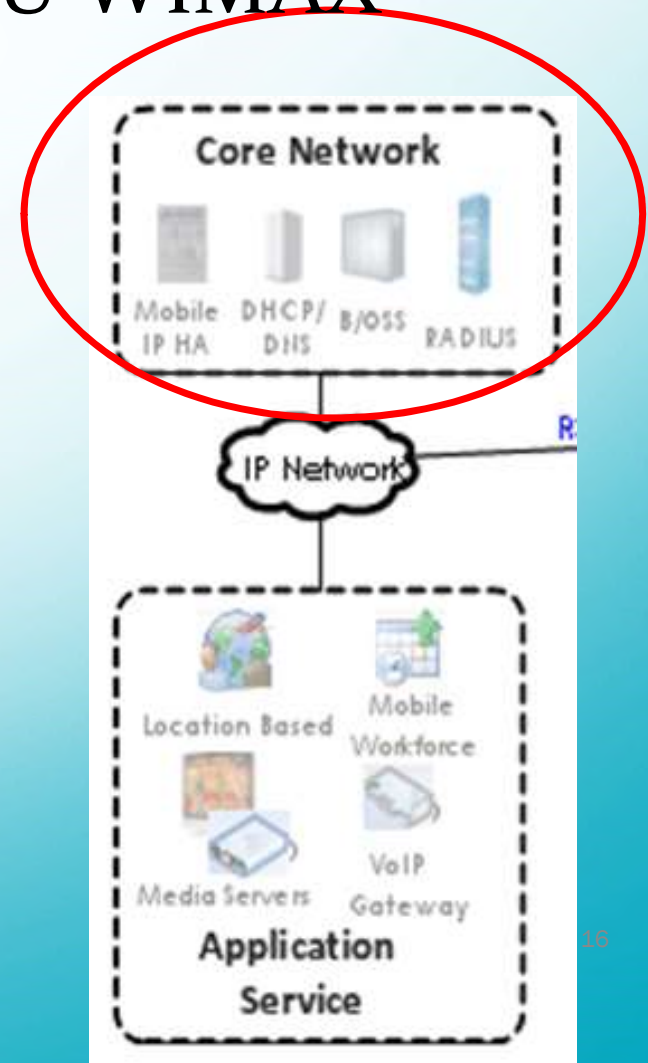
Un réseau WiMax comprend trois parties:

- ❖ la Radio;
- ❖ le cœur du réseau IP ;
- ❖ les équipements terminaux.



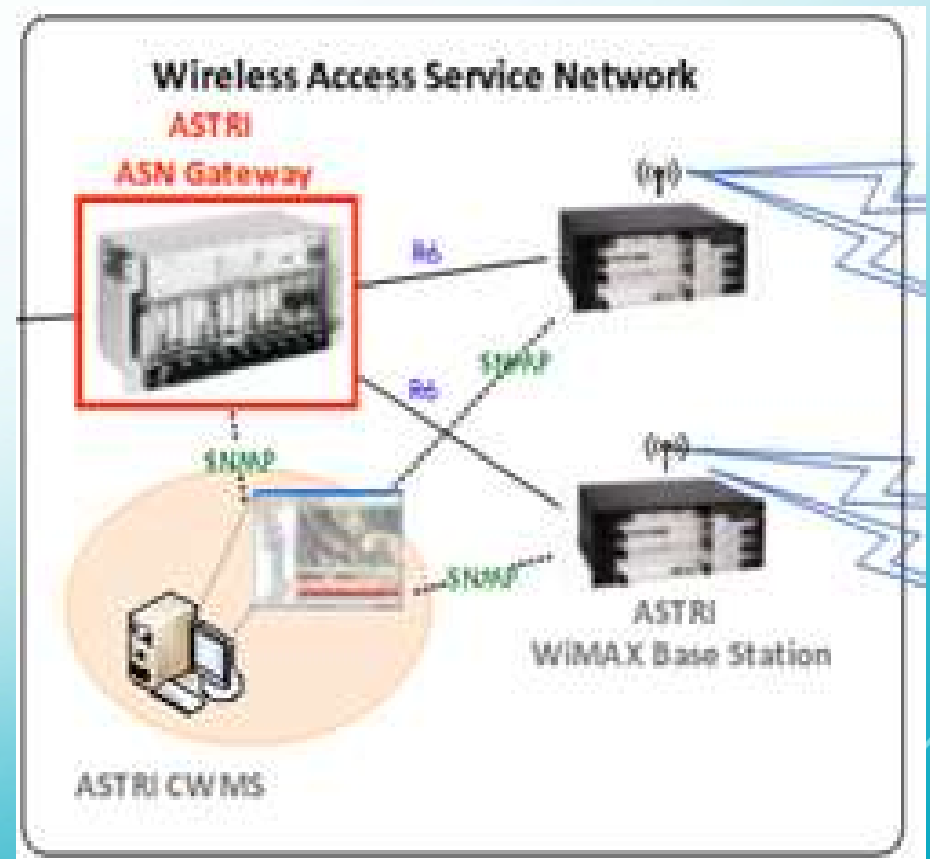
ARCHITECTURE DU WIMAX

- La partie radio comporte :
 - La Station de Base;
 - Le contrôleur d'accès WiMax;
 - Le centre des opérations et maintenance.



ARCHITECTURE DU WIMAX

- Le cœur du réseau IP comporte :
 - La passerelle d'accès au réseau;
 - Les éléments de connexion au réseau;
 - Home Agent;
 - Serveur AAA;



ARCHITECTURE DU WIMAX

- Les équipements terminaux:

- terminaux mobiles;
- terminaux out Doors;
- terminaux indoor..



FAMILLE 802.16

WiMAX réunit plusieurs standards:

Standard	Description	Publié	Statut
IEEE std 802.16-2001	définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences supérieures à 10 GHz (jusqu'à 66 GHz)	8 avril 2002	obsolètes
IEEE std 802.16c-2002	définit les options possibles pour les réseaux utilisant les fréquences entre 10 et 66 GHz.	15 janvier 2003	
IEEE std 802.16a-2003	amendement au standard 802.16 pour les fréquences entre 2 et 11 GHz.	1 ^{er} avril 2003	
IEEE std 802.16-2004 (également désigné 802.16d)	il s'agit de l'actualisation (la révision) des standards de base 802.16, 802.16a et 802.16c.	1 ^{er} octobre 2004	obsolète/actifs
IEEE 802.16e (également désigné IEEE std 802.16e-2005)	apporte les possibilités d'utilisation en situation mobile du standard, jusqu'à 122 km/h ¹ .	7 décembre 2005	actifs
IEEE 802.16f	Spécifie la MIB (Management Information Base), pour les couches MAC (Media Access Control) et PHY (Physical)	22 janvier 2006	
IEEE 802.16m	Débits en nomade ou stationnaire jusqu'à 1 Gbit/s et 100 Mbit/s en mobile grande vitesse. Convergence des technologies Wi MAX, Wi-Fi et 4G	2009 (IEEE 802.16-2009)	actifs

Applications:

Le caractère de mobilité ainsi que les coûts d'installations réduits, ouvre la voie à de nombreuses applications pour le WiMax :

- ✓ Offres commerciales grand public *triple play* : données, voix, télévision ;
- ✓ Couvertures conventionnelles de zones commerciales (« *hot zones* ») : zones d'activité économique, parcs touristiques, centres hôteliers... ;
- ✓ Déploiements temporaires : chantiers, festivals, infrastructure de secours sur une catastrophe naturelle... ;
- ✓ Gestion de réseaux de transports intelligents ;
- ✓ Zone hospitalière étendue (lieu médicalisé) ;
- ✓ Sécurité maritime et sécurité civile ;
- ✓ Systèmes d'information géographique déportés
- ✓ Métrologie (télémessure, pilotage à distance, relevés géophysiques...)



II- PARTICULARITÉS TECHNIQUES

II -1 La couche physique

II -2 La couche MAC

II -3 Le format des trames

II -4 Établissement d'une communication

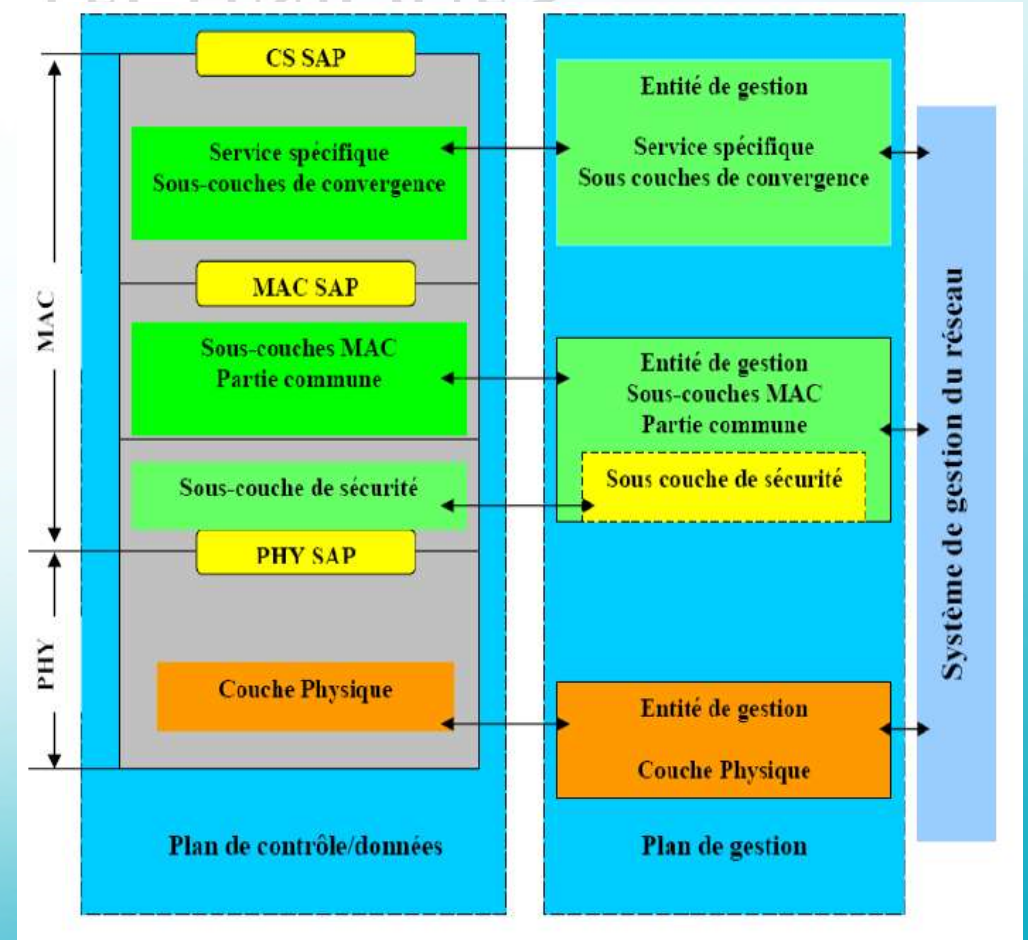
II -5 Sécurité

II -6 COMPARAISON AVEC D'AUTRES TECHNOLOGIES CONCURENTES.

PARTICULARITÉS TECHNIQUES

L'IEEE 802.16 a été développée suivant une architecture en couches. Elle est constituée de deux couches :

- La couche physique (PHY) et
- La couche MAC (Media Access Control).

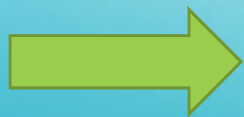


Couches protocolaires du 802.16

PARTICULARITÉS TECHNIQUES

LA COUCHE PHY

bandes de fréquences	La largeur des canaux	Connexion	description de la couche
2 à 11 GHz	variable de 1,5 a 20 MHz	NLOS	Wireless MAN-SC
			Wireless MAN-OFDM
			Wireless MAN-OFDMA
11 à 66 GHz	de 28 MHz en Europe	LOS	Wireless MAN-SC



un mécanisme de correction d'erreur FEC qui permet d'augmenter le débit et de transmettre les données avec une correction d'erreur encore plus robuste.

PARTICULARITÉS TECHNIQUES

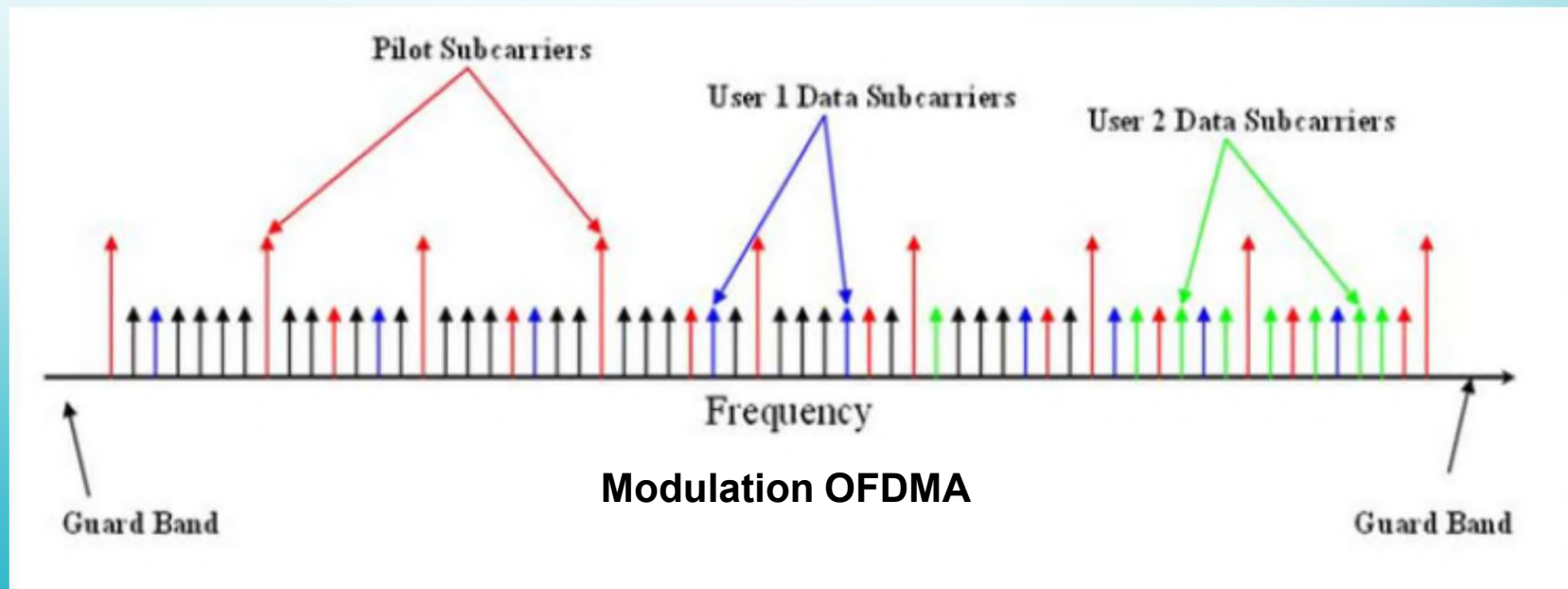
LA COUCHE PHY

- ❑ **SC (Single Carrier) (ou WirelessMAN-SCa Air Interface)** : Elle définit une transmission sur un seul canal de fréquence.
- ❑ **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) (ou WirelessMAN-OFDM Air Interface)** : cette interface utilise plusieurs bandes de fréquence qu'elle divise en plusieurs porteuses pour la transmission d'un signal. Chaque bande est utilisée à des fins différentes.
- ❑ **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) (ou WirelessMANOFDMA Air Interface)** : similaire à l'OFDM, cette interface offre un plus grand nombre de porteuses du fait du multiplexage effectué sur la fréquence.

PARTICULARITÉS TECHNIQUES

LA COUCHE PHY

La différence entre OFDM et OFDMA est qu'OFDMA organise le temps (c'est à dire, les symboles) et la fréquence (c.-à-d. les porteuses) des ressources en sous-canaux pour l'allocation de récepteurs individuels, ce qui permet l'accès multiple,

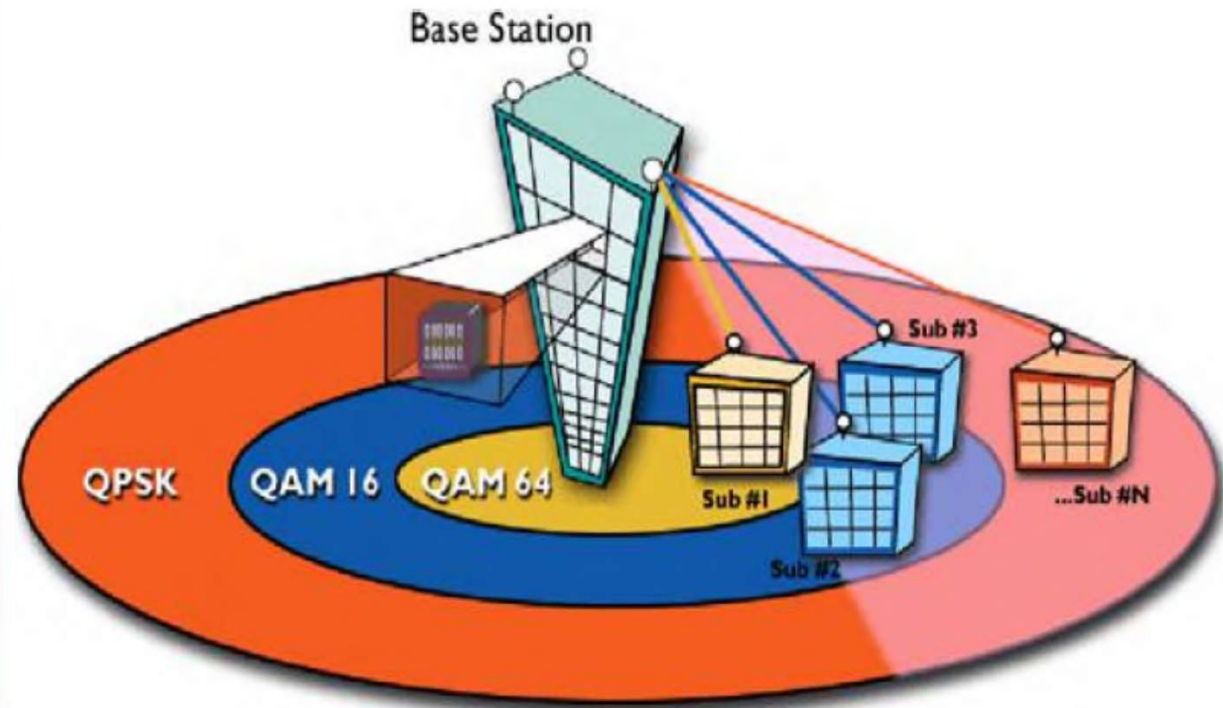


PARTICULARITÉS TECHNIQUES

LA COUCHE PHY

Modulation adaptative :

Il s'agit d'ajuster la modulation du signal par rapport au SNR (rapport signal sur bruit) du signal radio. Quand le lien radio est de très bonne qualité, le plus haut plan de modulation est utilisé. Ce qui augmentera la capacité du système. Sinon, on dégrade la qualité de la modulation pour garder la même qualité de connexion et la stabilité de lien,



Couche physique adaptative

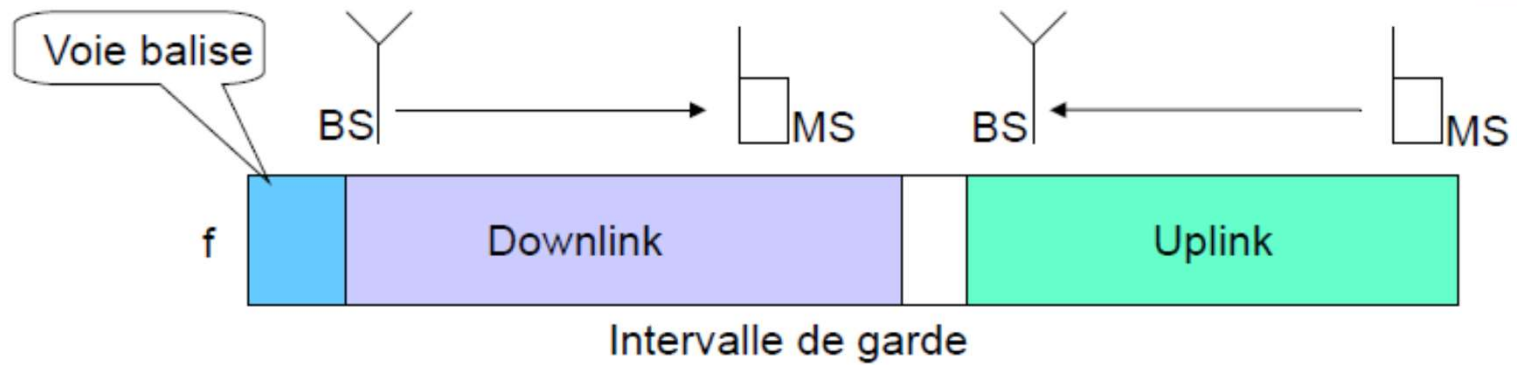
LA COUCHE LIAISON: LA COUCHE PHY

Le Duplexage :

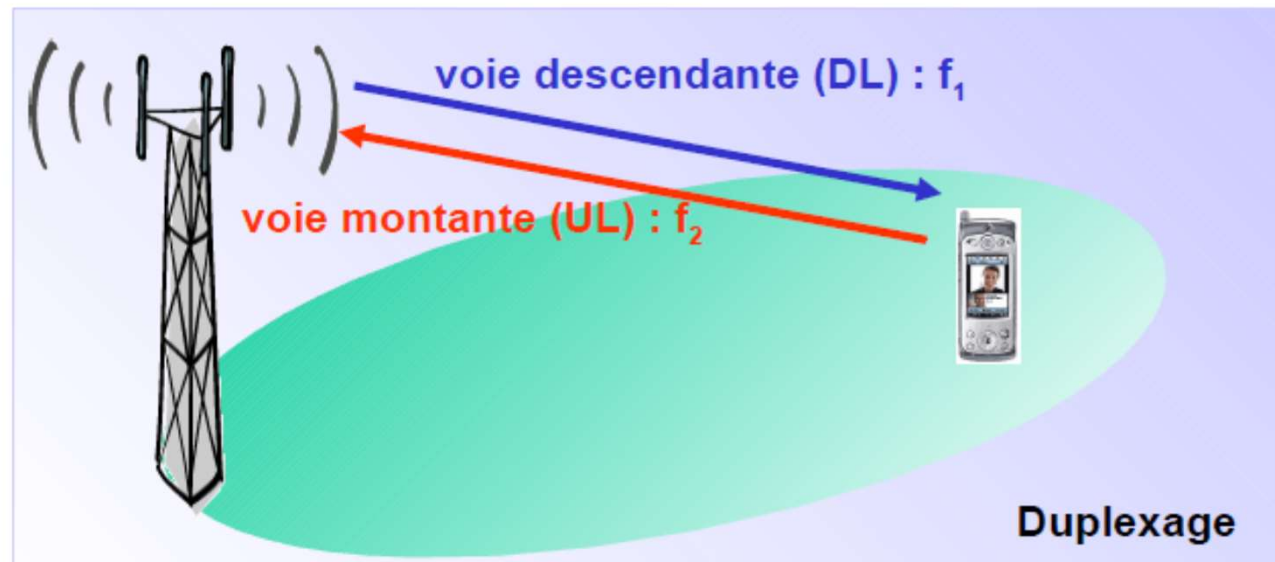
Dans le cas d'un duplexage temporel TDD (« Time Division Duplexing »), la BS doit diviser la période de transmission en périodes DL et UL (« Up Link »). Dans le cas d'un duplexage fréquentiel FDD (« Frequency Division Duplexing »), deux fréquences différentes sont allouées par la BS pour le DL et UL.

LA COUCHE LIAISON: LA COUCHE PHY

Time
Division
Duplex
(TDD)



Frequency
Division
Duplex
(FDD)



LA COUCHE LIAISON: LA COUCHE PHY

Modulation et codage :

- Les modulations utilisées sont : BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM (seulement en DL dans la release 1.0).
- Les types de codages sont : convolutionnal coding et turbo coding.
- Les taux de codage sont : $1/2$, $3/4$ et $2/3$.
- Les débits théoriques au niveau de la couche physique varient entre 3 et 27 Mbps (802.16e) pour une bande passante de 10MHz.
- Les rayons de cellule sont de 1-3 Km en NLOS et peuvent atteindre 30 Km en LOS.

LA COUCHE LIAISON: LA COUCHE PHY

Modulation et codage : Exemple

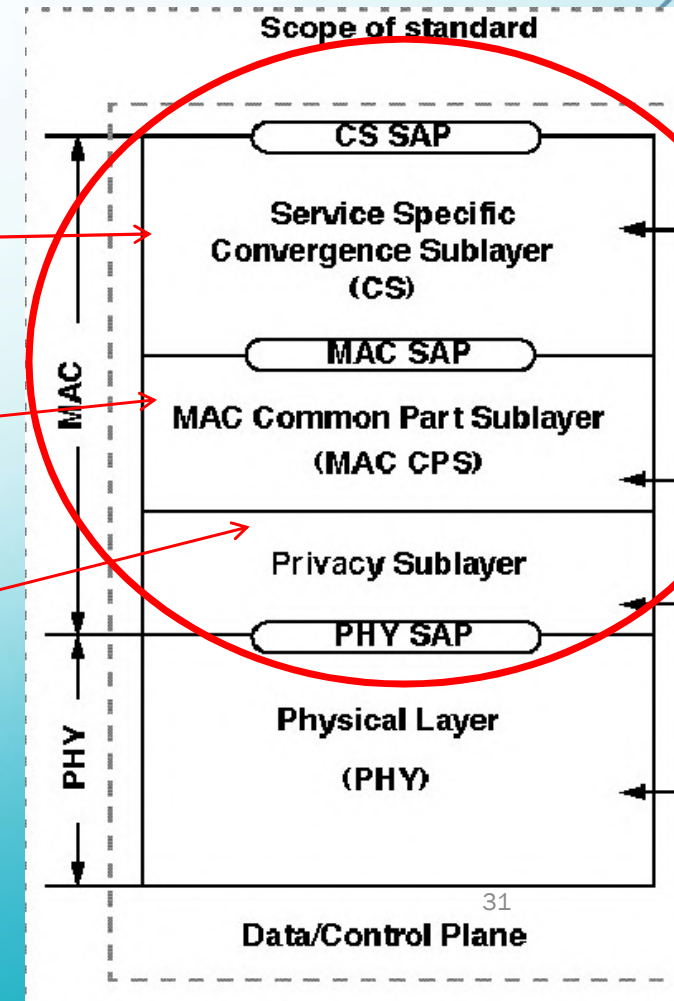
Bande	5 Mhz	10 Mhz	20 Mhz
Modulation	64 QAM	64 QAM	64 QAM
Bits/symbole	6	6	6
Taille FFT	512	1024	2048
Sous-porteuses données	384	768	1536
Symboles/trame	47	47	47
Taux de codage	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$
Durée de la trame	5 ms	5 ms	5 ms
Débit PHY	16,6 Mbps	32,5 Mbps	65 Mbps

LA COUCHE LIAISON: LES SOUS-COUCHE MAC

couche de convergence : Permet de convertir les données de taille variable en bloc de taille fixe

la sous-couche commune: assure la communication entre une station de base et différentes stations réceptrice

la sous-couche de sécurité: établit un lien entre l'adresse MAC et la clé public de la station de base.



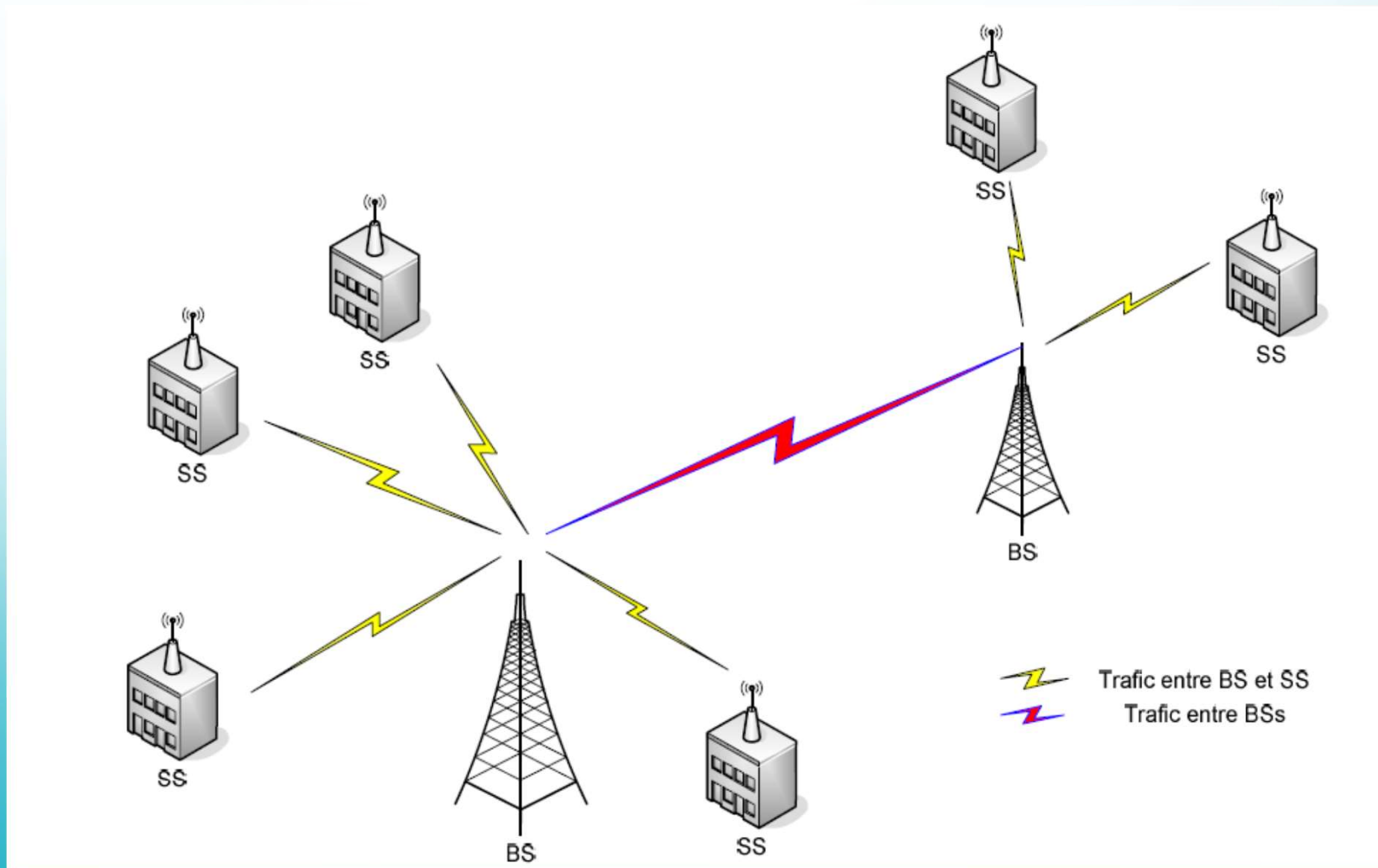
LA COUCHE LIAISON: LES SOUS-COUCHE MAC

La norme IEEE.802.16 définit deux modes de topologie possible: Le mode PMP (Point to Multi-Point), et le mode MESH.

➤ Le Mode PMP :

Il s'agit du mode de communication de base pour le 802.16. Il s'agit d'une transmission d'un point central vers plusieurs points dans le réseau. Dans cette configuration, le lien descendant DL (« Down Link »), depuis la BS (« Base Station ») vers l'utilisateur SS («Subscriber Station ») fonctionne en mode PMP : la BS est l'élément qui contrôle les transmissions dans sa zone de couverture sans coordination avec les autres stations (BS ou SS).

Architecture PMP

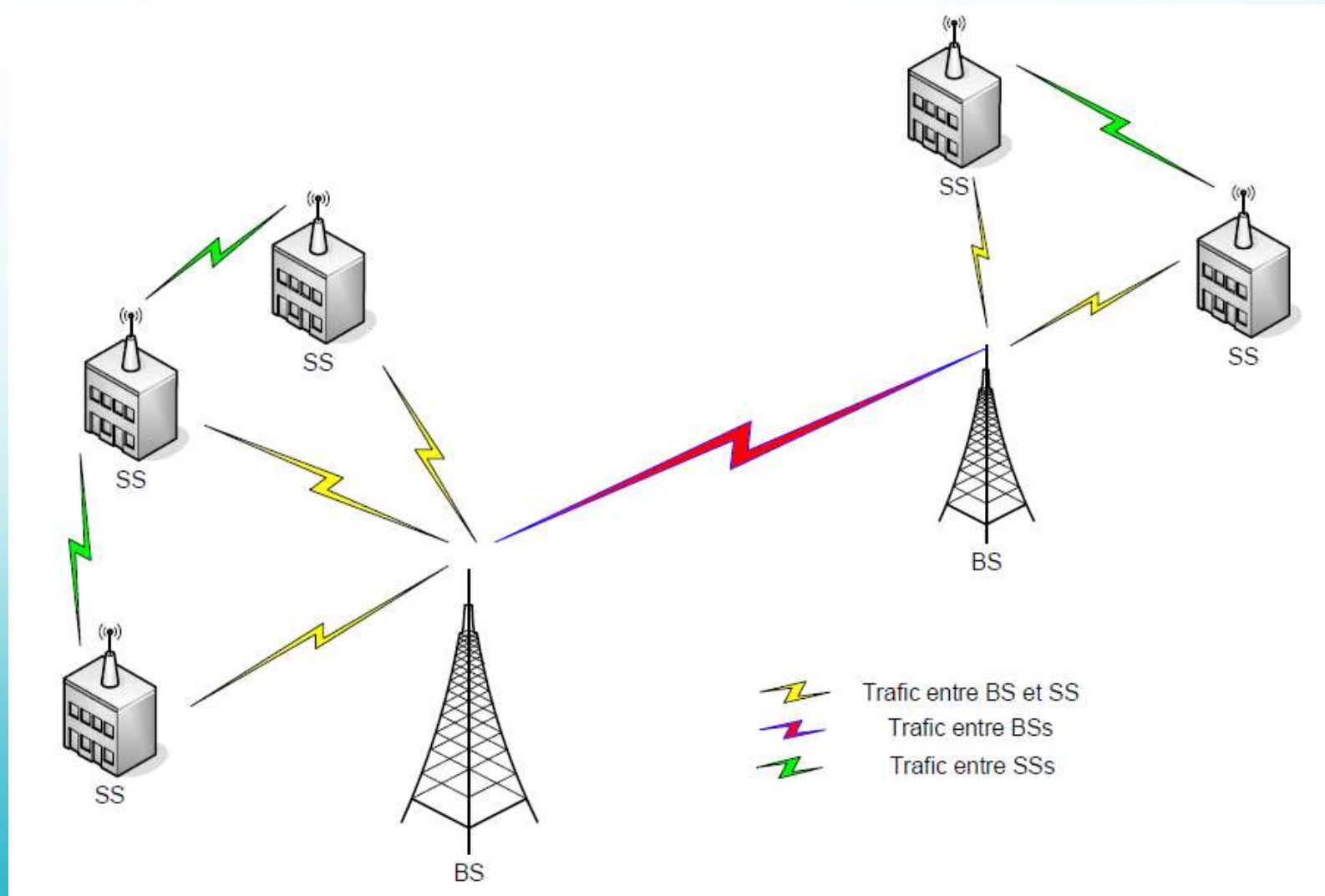


LA COUCHE LIAISON: LES SOUS-COUCHE MAC

➤ Le Mode MESH :

Dans le cas du mode Mesh, les SS peuvent communiquer directement entre elles sans passer par la BS. Pour assurer le bon fonctionnement de deux types de communications (PMP, MESH), un mécanisme d'ordonnancement est nécessaire. L'ordonnancement peut être distribué ou centralisé au niveau de la BS, on parle dans ce dernier cas de topologie Mesh BS, ou bien être une combinaison des deux.

Architecture MESH



LA COUCHE LIAISON: LES SOUS-COUCHE MAC

➤ **La sous-couche SSCS :**

La SSCS fournit toute transformation de données ou le mappage de réseaux externes reçu par la CPS. Pour le raccordement de réseaux externes, la SSCS fournit 2 sous couches de convergence (CS : convergence sublayer) :

- Pour les réseaux ATM : il s'agit d'une interface qui associe les différents services ATM avec la couche MAC CPS.
- Pour les réseaux à base de paquet : il est utilisé pour le mappage de tout protocole à base de paquet, tels que Ethernet, et les protocoles Internet tels que IPv4, IPv6...

En plus de ces fonctions basiques, les sous couches de convergence peuvent aussi mettre en oeuvre des fonctions plus sophistiqués.

LA COUCHE LIAISON: LES SOUS-COUCHE MAC

➤ **La sous-couche CPS :**

Cette sous couche forme le noyau de la couche MAC, étant donné qu'elle contient les fonctions clés relatives au contrôle du lien radio. La CPS fournit les règles et les mécanismes d'accès, l'allocation de la bande passante, et la maintenance de la connexion. Elle reçoit les données des sous couches de convergence. En outre, c'est la sous couche CPS qui gère les mécanismes de qualité de service (QoS).

LA COUCHE LIAISON: LES SOUS-COUCHE MAC

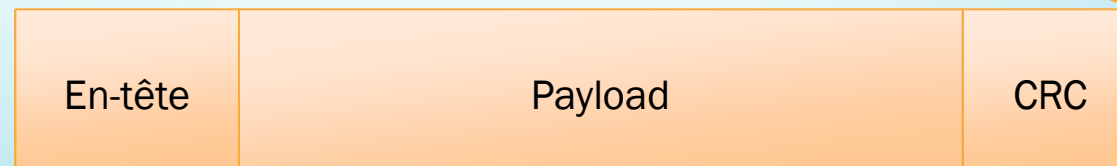
➤ **La sous-couche PS :**

La PS est le lien qui réunit la couche MAC à la couche physique (PHY). Elle fournit la sécurité à travers le réseau sans fil à large bande en cryptant la connexion entre la station de base et l'abonné au service. De plus, la couche PS est utilisée pour l'authentification et l'échange de clés de sécurité.

La Trame de WIMAX

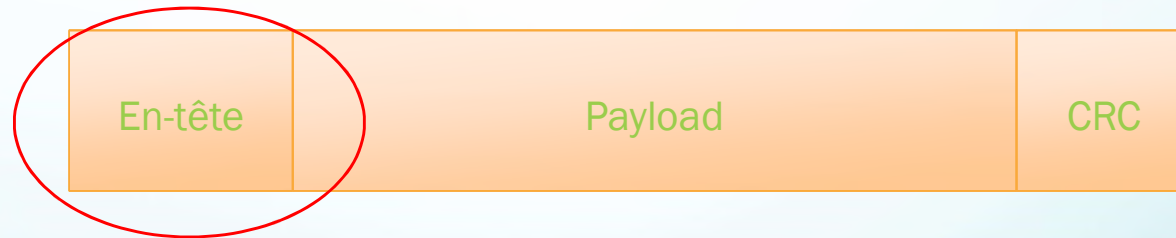
Donne les informations principales sur le transfert des informations

il permet au récepteur de la trame de vérifier l'intégrité de la trame



la partie où les données sont transportées

La Trame de WIMAX



HT 0	EC 1	TYPE 6	RSV 1	CI 1	EKS 2	RSV 1	LEN 11	CID 16	HCS 8
---------	---------	-----------	----------	---------	----------	----------	-----------	-----------	----------

Trame Générique

HT 1	EC 1	TYPE 6	BR 16	CID 16	HCS 8
---------	---------	-----------	----------	-----------	----------

Trame demande de bande passante

La Trame de WIMAX

Demande de bande passante:

Type : indique le contenu du champ d'information.

CID (Connection Identifier) : indique l'identificateur de la connexion

HT 1	EC 1	TYPE 6	BR 19	CID 16	HCS 8
---------	---------	-----------	----------	-----------	----------

HT: header type égal a 1 car l'en-tete est une demande de bande passante.

EC: Encryption Control indique si la trame est chiffrée

BR (Bandwidth Request) indique la demande d'une bande passante pour la voie montante en nombre d'octets

HCS (Header Check Sequence) sert de detection d'erreur pour l'en-tete.

La Trame de WIMAX

Génériques

RSV: Reserved
définie une
réservation

HT	EC	TYPE	RSV	CI	EKS	RSV	LEN	CID	HCS
0	1	6	1	1	2	1	11	16	8

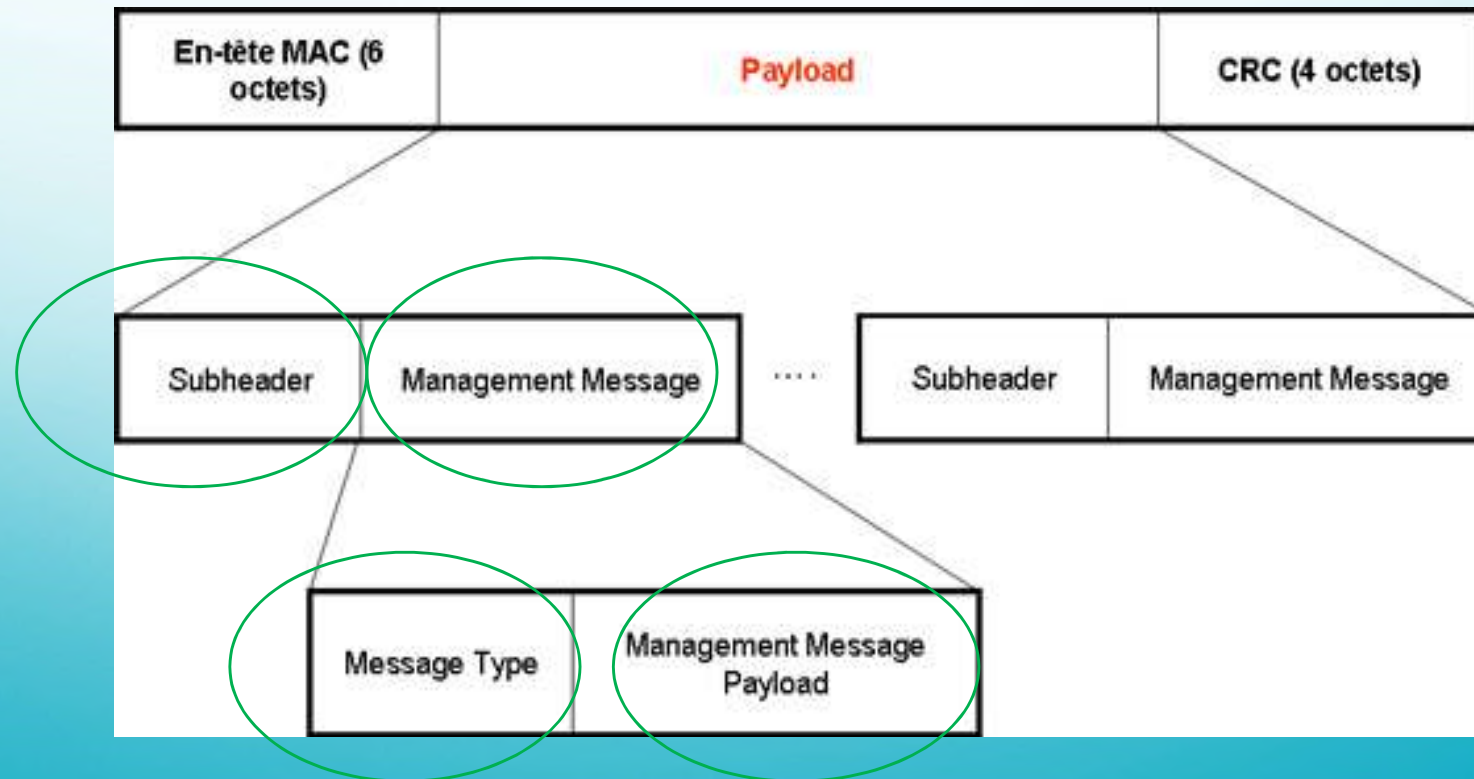
CI : indicateur
d'existence d'un CRC

indique si une clé de
chiffrement du trafic est
utilisée,, et s'il y a un
vecteur d'initialisation

LEN (Length) :
indique la longueur
en octets de la
trame en y incluant
l'en tête et
le CRC s'il y en a,

La Trame de WIMAX

Payload : la partie où les données sont transportées.



La Trame de WIMAX

MAC Management Message:

1. La connexion basique (« Basic Management Connection »): ce type de management est utilisé pour l'envoi de messages courts ou critiques.
2. La première connexion de management (« Primary Management Connection»): Le WiMax utilise ce type de management pour les messages longs tolérant sur les délais de réception.
3. La deuxième connexion de management («Secondary Management Connection») : utilisée pour les transferts de messages standards comprenant les paquets des protocoles DHCP, TFTP, SNMP, etc.

ETABLISSEMENT D'UNE CONNEXION

la station cliente (SS) envoie une demande de connexion.

Si le client à les droits nécessaires, la BS autorise l'accès au réseau et envoie un acquittement crypté avec la clé publique du client.

Authentification de la BS devant le client.

Le client vérifie l'identité de la BS puis s'enregistre sur le réseau, il reçoit par la suite un acquittement crypté,

la connexion est maintenant établie et sécurisée.

LA SÉCURITÉ



- Le WiMax est l'une des meilleures technologies sans fil au niveau de la sécurité par l'utilisation de plusieurs mécanismes :
 - **Key Management Protocol** : Gère la sécurité au niveau de la couche MAC
 - **Device/User Authentication**: Authentification de l'équipement /Utilisateur,
 - **Traffic Encryption** : chiffrement pour protéger les données des utilisateurs à travers l'interface MAC,
 - **Control Message Protection**: protège les données de contrôle ,
 - **Fast Handover Support** : permet de lutter contre les attaques de man-in-the-middle.

LA QUALITÉ DE SERVICE

Le WiMax utilise des classes de services afin de permettre une QoS différente entre chaque communication.

Nous retrouvons notamment quatre classes de services :

- **Unsolicited Grant Services:** Cette classe de service est utilisée pour transmettre des flux temps réels. La transmission doit s'effectuer avec des trames de taille fixe à intervalle régulier.
- **Real-time Polling Services :** permet la transmission de flux temps réels de taille variable à intervalle régulier. Son utilisation convient très bien pour la transmission de vidéo MPEG.
- **Non-Real-time Polling Services :** permet la transmission de flux qui tolèrent des délais. De plus ces flux contiennent des trames de tailles variables. Seul le taux de transfert minimum est garanti. Ce type de qualité de service convient très bien aux transferts de fichiers : FTP.
- **Best effort :** Ce service ne donne aucune garantie sur l'acheminement des flux de données. Il convient tout de même à certaines utilisations, par exemple la navigation sur internet.

WIMAX ET WI-FI

	Wi-Fi	WIMAX
Services offerts	Wireless LAN	(<i>Broad band Wireless Access</i>) BWA
zone de couverture	20m à 50	50Km(LOS) et 1 à 7Km(NLOS).
bande passante :	2.4 GHz ISN soit 25 Mhz par canal.	2 GHz à 11 GHz. 11 GHz à 66 GHz,
Modulation	QPSK	BPSK,QPSK,16-64-256 QAM.
Protocole d'accès	CSMA/CA.	Request/Grant.
Mobilité	en cours de développement	WiMax mobile 802.16 ^e
duplex	Half	Full
un mécanisme de correction d'erreurs	-	FEC



c'est donc une technologie complémentaire à prix réduit pouvant remplacer le Wi-Fi

WIMAX MOBILE ET LTE

LTE

- ✓ une modulation SC-FDMA(diminue la puissance et la consommation des terminaux).
- ✓ atteint un débit théorique de 150 Mbps
- ✓ Nombres d'utilisateurs:100 à 200.
- ✓ Le handover est plus simple.

WiMax mobile

- ✓ une modulation OFDMA.
- ✓ un débit de 30 à 46 Mbps
- ✓ Nombres d'utilisateurs: plus que 200.
- ✓ Le handover difficile(méthode d'identification des abonnés différents).



le LTE domine le marché des réseaux mobile 4G auprès des opérateurs aussi bien que des fabricants.

Conclusion