



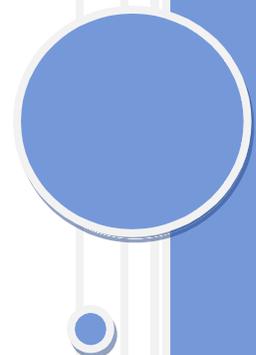
ETUDE DE LA TECHNOLOGIE WIMAX MOBILE

Ce document donne un aperçu de la technologie World Wide Interoperability for Micro Wave Access Mobile ou le WIMAX Mobile en se focalisant sur la couche physique et la couche MAC ainsi qu'une comparaison avec la Long Term Evolution (LTE).

*Telecom SudParis
3eme année ingénieur
VAP RSM*

*EL HAJJ Paul
DAHBI Nabil*

20/01/2010



Sommaire

1	Introduction.....	2
2	La famille 802.16.....	3
3	Couche physique.....	5
3.1	Description de l’OFDM	5
3.2	Description de l’OFDMA.....	7
3.3	Le Scalable OFDMA.....	9
3.4	Structure de trame TDD	10
3.5	Composants complémentaires de la couche physique	11
4	La couche MAC	13
4.1	Les sous-couches.....	13
4.1.1	La couche SSCS.....	13
4.1.2	La couche CPS	14
4.1.3	La couche PS.....	14
4.2	La qualité de service.....	14
4.3	Le MAC scheduling service.....	17
4.4	La gestion de la mobilité	18
4.4.1	Gestion de la puissance.....	18
4.4.2	Le handover	18
4.5	La sécurité	21
5	Technologie des antennes intelligentes.....	22
6	Comparaison Wimax Mobile vs LTE.....	23
7	Chiffres et conclusion	25

1 INTRODUCTION

Depuis la création du téléphone, les fournisseurs de services s'appuient sur leur capital assez élevé pour persister sur le marché et écarter toute compétition : les investissements nécessaires pour déployer un réseau téléphonique créèrent un obstacle insurmontable pour la majorité des concurrents à faible capital. Le WiMAX changera le monde des télécommunications d'aujourd'hui et ouvrira de nouveaux spectres aux fournisseurs de services qui, durant plusieurs décennies, ont souffert de la limitation de ressources : cette technologie permettra une vraie concurrence dans tous les principaux services de télécommunications tels que la voix, la vidéo, et les données.

Wimax est un acronyme pour Worldwide Interoperability for Microwave Access. Il a été créé pour permettre la convergence et l'interopérabilité entre deux standards de réseaux sans fils auparavant indépendants : Le HiperMAN, proposé en Europe par L'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) et le standard de transmission radio 802.16, validé en 2001 par l'organisme international de normalisation IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

En effet, Le réseau WiMAX désigne dans le langage courant un ensemble de standards et techniques du monde des réseaux métropolitains sans fil WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). Le standard IEEE 802.16, ou WiMAX permet le raccordement sans fil d'entreprises ou de particuliers sur de longues distances à haut débit. WiMAX apporte une réponse appropriée pour certaines zones rurales ou difficilement accessibles, qui sont aujourd'hui privées d'accès à l'Internet à haut débit pour des raisons de coût. Cette technologie vise donc à introduire une solution complémentaire au DSL (Digital Subscriber Line) et aux réseaux câblés d'une part, et à interconnecter des hotspots WiFi d'autre part. WiMAX est principalement fondé sur une topologie en étoile bien que la topologie maillée soit possible. La communication peut être réalisée en ligne de vue (LOS : Line Of Sight) ou non (NLOS). La dernière mouture du standard qui nous intéresse dans ce dossier est le standard IEEE 802.16e qui couvre les terminaux mobiles et définit des mécanismes évolués de gestion.

2 LA FAMILLE 802.16

WiMAX réunit donc plusieurs standards, tous à des états d'avancement différents, qui sont autant d'axes de travail du groupe IEEE 802.16.

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.	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 Mbits/s en mobile grande vitesse. Convergence des technologies WiMAX, Wi-Fi et 4G	2009 (IEEE 802.16-2009)	actifs

Les principales normes publiées au début de l'année 2005 sont indiquées en gras : a, d et e.

Historiquement conçu pour la partie 10-66 GHz en 2001, la norme 802.16 a concerné par la suite, les bandes 2-11 GHz pour donner naissance en 2003, à la norme 802.16a. En Europe, la gamme des 3,5 GHz a été retenue pour le déploiement du 802.16a ; aux États-Unis, les bandes choisies sont proches de celles exploitées par le Wi-Fi avec 2,4 et 5 GHz. Cette portion du spectre est celle qui concentre le plus d'applications et de développements au sein du WiMAX Forum.

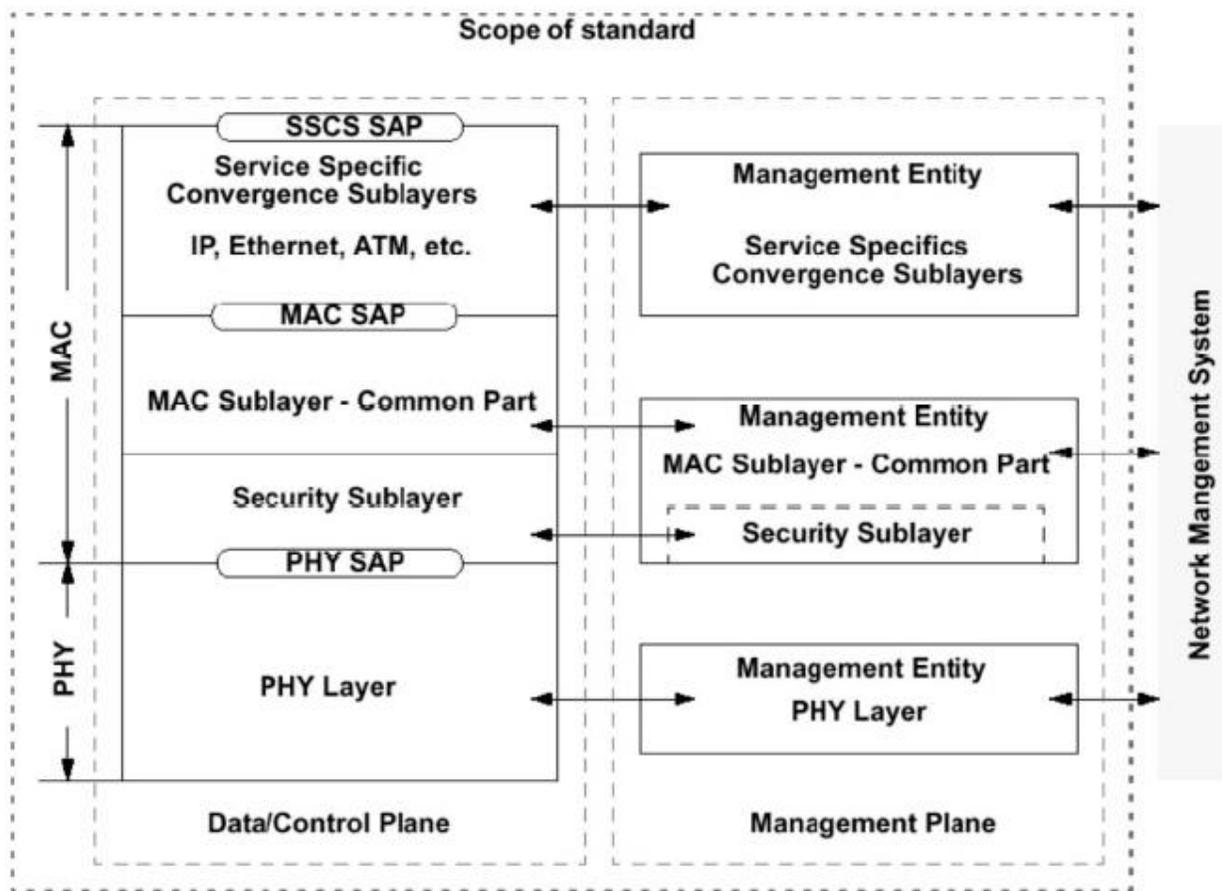
Le 802.16a a été amendé depuis, par le 802.16-2004 ce qui d'un point de vue technique devrait entraîner l'abandon de la terminologie "a". Conduite par le groupe de travail IEEE 802.16d, cette version amendée est parfois également appelée 802.16d.

En plus du 802.16-2004 qui représente le WiMAX du début d'année 2005, figure également le 802.16.2, un standard qui définit l'interopérabilité entre toutes les solutions 802.16 et les solutions (comme le Wi-Fi) qui sont présentes sur les mêmes bandes de fréquence.

Deux standards complémentaires ont également été publiés :

- « e » est considéré comme le plus avancé et le plus intéressant d'un point de vue commercial car il apporte la mobilité (permettant à la fois le passage d'un relais à l'autre ainsi qu'un fonctionnement embarqué en véhicule, lors de déplacements)
- « f », secondaire, lequel doit spécifier une MIB pour la gestion des couches MAC et physiques.

Voici un aperçu des différentes couches du modèle OSI constituant la norme 802.16. Celles-ci vont être détaillées dans les parties qui suivent



3 COUCHE PHYSIQUE

3.1 Description de l'OFDM

L'OFDM divise une bande de fréquence en plusieurs sous-canaux espacés par des zones libres de tailles fixes. Par la suite, un algorithme, la Transformée de Fourier Rapide Inverse (Inverse Fast Fourier Transform, IFFT), véhicule le signal par le biais des différents sous-canaux. C'est également cet algorithme qui s'occupe de la recombinaison du message chez le récepteur. Le but est alors d'exploiter au maximum la plage de fréquence allouée tout en minimisant l'impact du bruit grâce aux espaces libres séparant chaque canal. Cette modulation apparaît alors comme une solution pour les canaux qui présentent des échos importants (canaux multi trajets).

Un canal multi trajet présente, en effet, une réponse fréquentielle qui n'est pas plate (cas idéal) mais comportant des creux et des bosses, dus aux échos et réflexions entre l'émetteur et le récepteur. Un grand débit impose une grande bande passante et si cette bande passante couvre une partie du spectre comportant des creux (dus aux trajets multiples), il y a perte totale de l'information pour la fréquence correspondante. Le canal est alors dit « sélectif » en fréquence. Pour remédier à ce désagrément, l'idée est de répartir l'information sur un grand nombre de porteuses, créant ainsi des sous-canaux très étroits pour lesquels la réponse fréquentielle du canal peut-être considérée comme constante. Ainsi, pour ces sous canaux, le canal est non sélectif en fréquence, et s'il y a un creux, il n'affectera que certaines fréquences. L'idée est d'utiliser la diversité apportée pour lutter contre la sélectivité fréquentielle et temporelle du canal. En diffusant l'information sur un nombre important de porteuses, on s'affranchit alors de la sélectivité du canal.

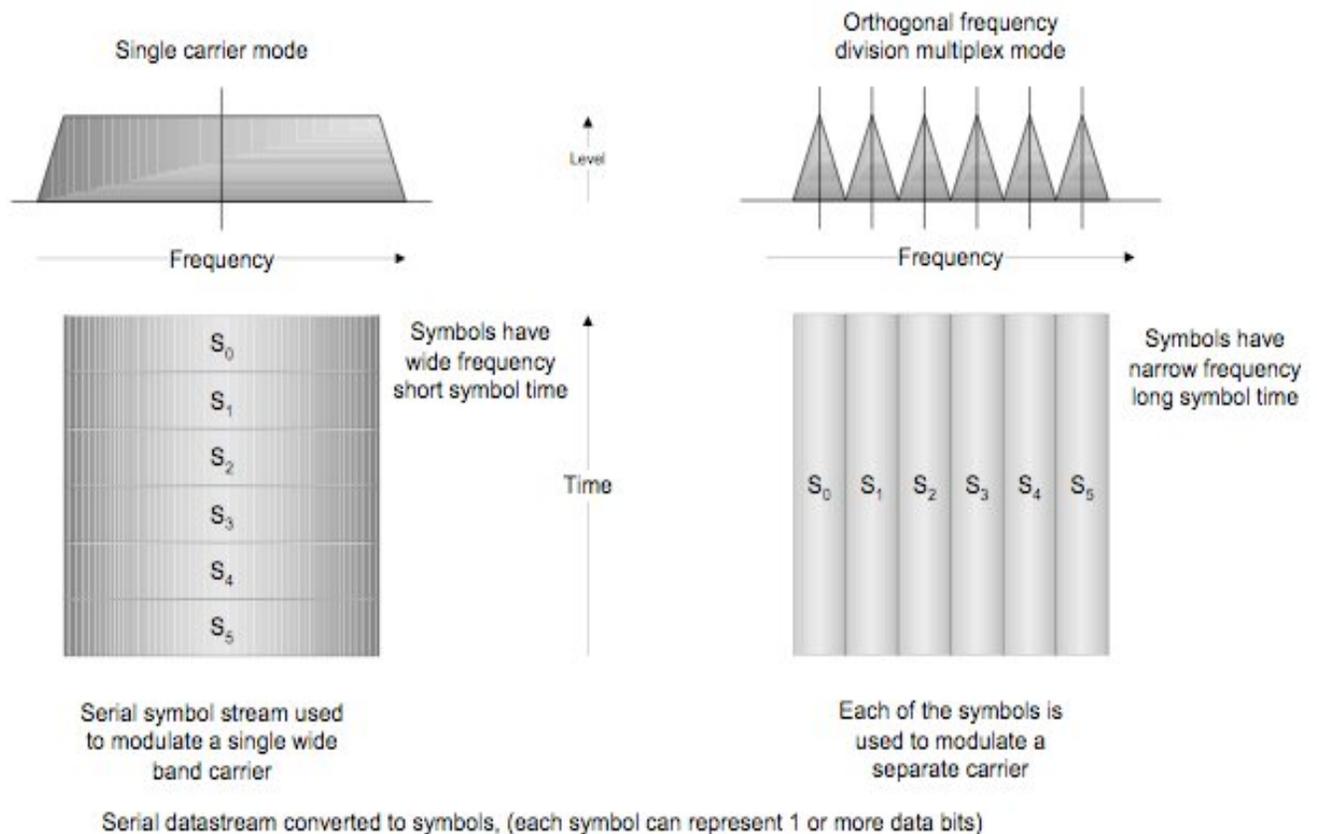
Un des grands avantages des schémas de la modulation OFDM est d'avoir partagé la complexité de l'égalisation entre l'émetteur et le récepteur, contrairement aux schémas de transmissions mono-porteuses. Ceci permet d'avoir des récepteurs simples et peu coûteux. Les avantages des différentes variantes de l'OFDM sont nombreux :

- Une utilisation efficace des ressources fréquentielles en comparaison avec les solutions classiques de multiplexage fréquentiel. Ceci est dû au fait que dans l'OFDM, les canaux se chevauchent tout en gardant une orthogonalité parfaite.
- Les techniques multi-porteuses sont robustes au bruit impulsif puisque chaque porteuse est affectée d'un bruit indépendant des autres porteuses. Contrairement aux modulations mono

porteuses où le bruit peut affecter un certain nombre de symboles transmis, la perte d'un symbole dû à un bruit important n'affecte pas les autres symboles.

- Les techniques OFDM ont une très grande flexibilité dans l'allocation de bit/débit dans des contextes multiutilisateurs.

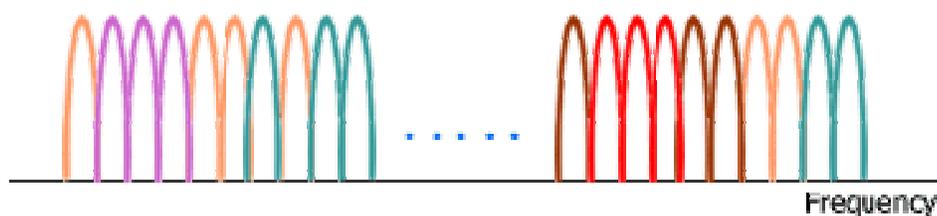
A l'inverse, un des grands inconvénients des techniques OFDM est leur manque inhérent de diversité. Les schémas OFDM ont sacrifié la diversité des schémas mono-porteuses au profit d'une égalisation simplifiée. En effet, lorsque qu'une sous-porteuse est affectée d'une atténuation, l'information émise sur cette porteuse est irrémédiablement perdue. En pratique, des schémas OFDM codés connus sous le nom de COFDM (Coded OFDM) sont utilisés pour remédier à ces inconvénients. Une autre manière de se réconcilier avec le schéma mono porteuse est l'OFDMA, concept adaptatif de l'OFDM pouvant allouer une ou plusieurs porteuses à un utilisateur particulier ajoutant ainsi la possibilité de voir cela comme une méthode d'accès au médium.



3.2 Description de l'OFDMA

Dans la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), chaque sous porteuse est exclusivement assignée à un seul utilisateur, éliminant de ce fait les Interférences Intra Cellulaires (ICI). Cela a pour conséquence directe un décodage facile de l'OFDMA par l'utilisateur. Une telle simplicité est particulièrement intéressante pour les opérations descendantes, lorsque la puissance de traitement est limitée par les terminaux utilisateurs par exemple. On imagine aisément que la performance d'un canal secondaire alloué à un utilisateur sera différente de celle d'un autre utilisateur, puisque les qualités du canal y sont différentes, en fonction des conditions de propagation individuelles. Ceci veut dire qu'un canal qui a de mauvaises performances avec un utilisateur peut se révéler favorable à un autre. La technique OFDMA exploite cette caractéristique, du fait qu'elle permet d'allouer des canaux secondaires différents selon les utilisateurs dans une fenêtre temporelle à configuration variable pour la transmission d'un certain nombre de symboles OFDM.

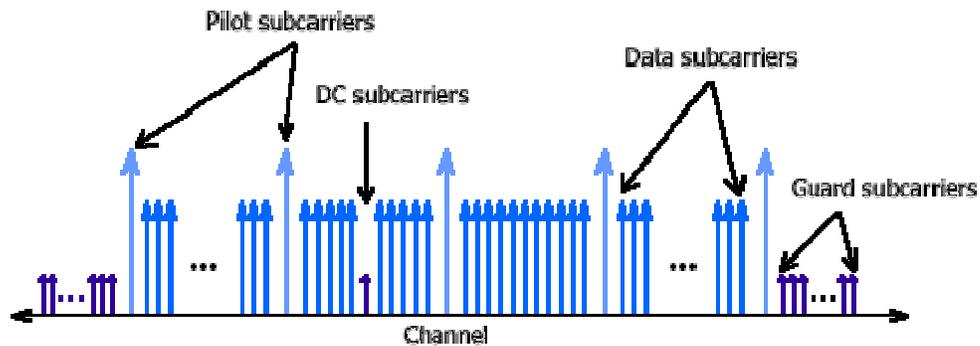
En OFDMA, les sous porteuses sont regroupées en groupes appelés sous canaux mais de façon à ce que celle formant un même sous canal ne soient pas adjacentes. En sens descendant, un sous canal peut être alloué à différents utilisateurs. En sens montant, un utilisateur peut lui être alloué un ou plusieurs sous canaux.



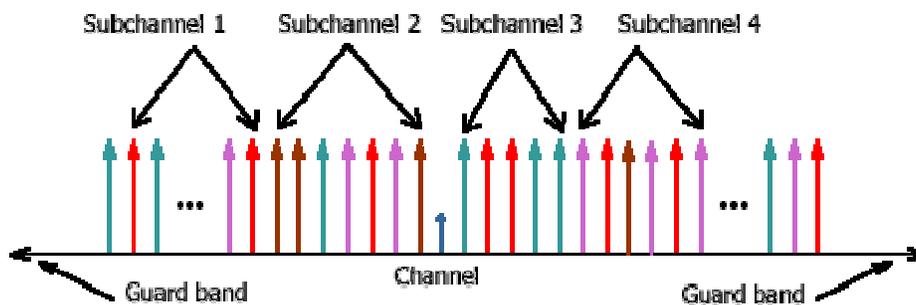
Les sous porteuses de même couleur représentent un sous canal

Les symboles OFDMA sont similaires à ceux de l'OFDM. Chaque symbole consiste en :

- Des sous porteuses de données (OFDM) ou des sous canaux (OFDMA) pour transporter des données.
- Des sous porteuses pilotes servant comme référence de fréquences
- Des sous porteuses DC désignant la fréquence centrale
- Des sous porteuses de Garde pour assurer un espace entre les signaux pour éviter les interférences



La structure d'un symbole OFDM en WIMAX



La structure d'un symbole OFDMA en WIMAX – Les sous porteuses de même couleur représentent le même sous canal

Le Wimax supporte la sous canalisation en UL et DL. L'unité de ressource minimale fréquence-temps de sous canalisation est d'un slot ce qui est équivalent à 48 sous porteuses.

On distingue le mode sélectif en fréquence et appelé AMC (Adaptive Modulation and Coding) des modes dits de diversités qui utilisent uniformément la bande. Dans les modes de diversités, le mode PUSC (Partial Usage of SubChannels) permet, à l'opposé du FUSC (Full Usage of SubChannels), d'utiliser un facteur de réutilisation fréquentiel différent de 1. Pour faciliter les mesures physiques, des structures de sous porteuses adjacentes sont définies (tels que le tile en PUSC voie montante et le bin en AMC).

En général, les modes de diversités présentent une bonne performance dans le cas des applications mobiles alors que le mode sélectif est plus adapté pour un environnement à faible mobilité ou fixe.

3.3 Le Scalable OFDMA

Le modèle IEEE 802.16e est basé sur le concept du Scalable OFDMA (S-OFDMA). Ce dernier supporte un large choix de bande passante (de 1.25 Mhz à 20 Mhz) pour amplement satisfaire la nécessité d'allocation de spectres ainsi que les exigences du modèle d'utilisation. L'évolutivité est réalisée par l'adaptation de la taille de la FFT tout en fixant l'espacement de fréquences des sous porteuses à 10.94Khz. Comme la bande passante et la durée des symboles sont fixées, l'impact sur les couches supérieures sera minimal lors de l'adaptation de la bande passante.

Les paramètres du S-OFDMA sont listés dans le tableau ci-dessous. Le Wimax Forum Technical Working Group développent actuellement les systèmes de bande passantes de deux profils pour le 5 et 10 Mhz.

Parameters	Values			
System Channel Bandwidth (MHz)	1.25	5	10	20
Sampling Frequency (F_p in MHz)	1.4	5.6	11.2	22.4
FFT Size (N_{FFT})	128	512	1024	2048
Number of Sub-Channels	2	8	16	32
Sub-Carrier Frequency Spacing	10.94 kHz			
Useful Symbol Time ($T_b = 1/f$)	91.4 microseconds			
Guard Time ($T_g = T_b/8$)	11.4 microseconds			
OFDMA Symbol Duration ($T_s = T_b + T_g$)	102.9 microseconds			
Number of OFDMA Symbols (5 ms Frame)	48			

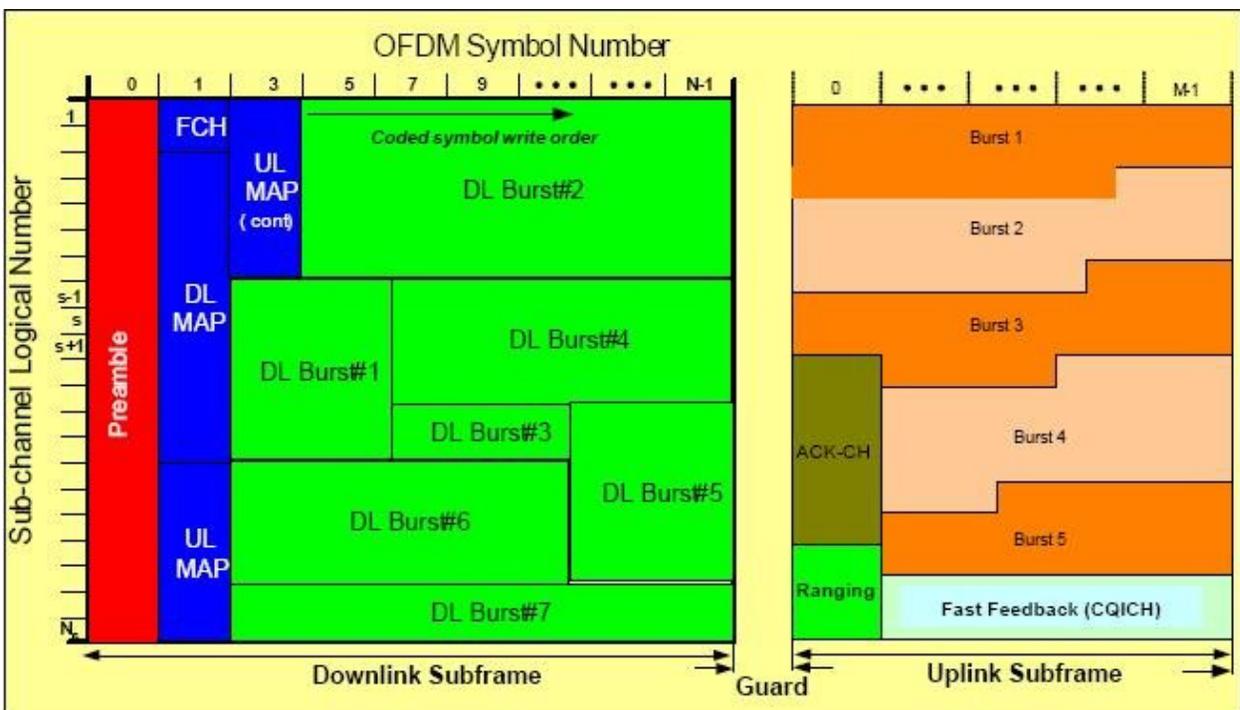
3.4 Structure de trame TDD

La norme 802.16e supporte le TDD, le Full et Half duplex FDD ; toutefois la version initiale de la certification du Wimax Mobile inclus seulement le TDD.

Afin de faire face aux problèmes d'interférence, le TDD requiert un système de synchronisation mais reste toujours le mode préféré pour les raisons suivantes :

- Permet l'adaptation du débit en sens montant et descendant pour supporter d'une manière optimale un trafic asymétrique dans les deux sens, alors que FDD présente des débits fixes en général.
- Assure la réciprocité du canal pour une meilleure adaptation du lien, MIMO et autres technologies d'antennes avancées.
- Requiert seulement un seul canal pour les deux sens
- La conception des émetteurs/récepteurs est beaucoup plus facile et moins couteuse

La figure ci-dessous présente la structure de la trame OFDM pour le cas du TDD. Chaque trame est divisée en sous trames DL et UL séparées par des écarts Transmit/Receive (TTG) et Receive/Transmit (RTG) afin d'empêcher toute collision entre la transmission en sens montant et celle du sens descendant.



Structure Trame OFDMA

Dans une trame, les informations de contrôle suivantes sont utilisées pour assurer un bon fonctionnement du système :

- Preamble : C'est le premier symbole OFDM de la trame, utilisé pour la synchronisation.
- Frame Control Header (FCH) : Fourni des informations sur la configuration de la trame tel que la longueur des messages MAP, les coding schemes et les sous canaux utilisables.
- DL-MAP et UL-MAP : Fournissent l'allocation des sous canaux et d'autres informations de contrôle supplémentaires pour les sous trames DL et UL.
- UL Ranging : Sous canal alloué aux terminaux mobiles afin d'exécuter réglages en temps, puissance et fréquence ainsi que des requêtes de bandes passantes.
- UL CQICH : Canal alloué pour le MS pour donner des informations sur l'état du canal.
- UL ACK : Alloué pour le MS pour renvoyer des informations concernant l'acquittement du DL HARQ.

3.5 Composants complémentaires de la couche physique

Adaptive modulation and coding (AMC), Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) et Fast Channel Feedback (CQICH) ont été introduits dans la version mobile du Wimax pour améliorer la performance et la couverture.

Le support de la QPSK, 16QAM et 64QAM est indispensable dans le sens descendant alors que dans le sens ascendant, la 64QAM est optionnelle.

Les codes Convolutional Code (CC) et Convolutional Turbo Code (CTC) avec un taux de codage variable sont aussi dans la norme. Le tableau suivant résume les différents codages et modulations qui peuvent être utilisés en Wimax Mobile. Notons que les codes et modulations optionnels en sens ascendant sont notés en italique.

		DL	UL
Modulation		QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, <i>64QAM</i>
Code Rate	CC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, <i>5/6</i>
	CTC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, <i>5/6</i>
	Repetition	x2, x4, x6	x2, x4, x6

Codes et Modulations supportés en Wimax Mobile

Les combinaisons de différentes modulations et taux de codage fournissent une bonne résolution de flux de données comme indiqué dans la figure ci-dessous qui montre les flux de données pour des canaux de 5 et 10 MHz avec des sous-canaux PUSC. La durée de la trame est de 5 ms. Chaque trame contient 48 symboles OFDM avec 44 symboles disponibles pour la transmission de données. Les valeurs mises en relief indiquent les flux de données pour la 64QAM optionnelle en UL.

Parameter		Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
System Bandwidth		5 MHz		10 MHz	
FFT Size		512		1024	
Null Sub-Carriers		92	104	184	184
Pilot Sub-Carriers		60	136	120	280
Data Sub-Carriers		360	272	720	560
Sub-Channels		15	17	30	35
Symbol Period, T_s		102.9 microseconds			
Frame Duration		5 milliseconds			
OFDM Symbols/Frame		48			
Data OFDM Symbols		44			
Mod.	Code Rate	5 MHz Channel		10 MHz Channel	
		Downlink Rate, Mbps	Uplink Rate, Mbps	Downlink Rate, Mbps	Uplink Rate, Mbps
QPSK	1/2 CTC, 6x	0.53	0.38	1.06	0.78
	1/2 CTC, 4x	0.79	0.57	1.58	1.18
	1/2 CTC, 2x	1.58	1.14	3.17	2.35
	1/2 CTC, 1x	3.17	2.28	6.34	4.70
	3/4 CTC	4.75	3.43	9.50	7.06
16QAM	1/2 CTC	6.34	4.57	12.67	9.41
	3/4 CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
64QAM	1/2 CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
	2/3 CTC	12.67	9.14	25.34	18.82
	3/4 CTC	14.26	10.28	28.51	21.17
	5/6 CTC	15.84	11.42	31.68	23.52

Flux de données avec sous canal PUSC

Le Scheduler de la station de base détermine le bon débit pour chaque allocation de burst en se basant sur la taille du buffer, l'état du canal de propagation du coté récepteur etc ... Un Channel Quality Indicator (CQI) est utilisé du coté terminal pour fournir des informations relatives sur l'état d'un canal au scheduler de la station de base. Des informations peuvent être données par le CQICH incluant : CINR physique, CINR efficace, sélection du mode MIMO. Avec l'implémentation du TDD, la procédure d'adaptation du lien peut bénéficier de la réciprocité du canal pour fournir de meilleures mesures du canal d'état.

Le Hybrid Auto Repeat Request (HARQ) est supporté par le Wimax Mobile. L'utilisation de technique H-ARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) permet de réduire les pertes de paquets. H-ARQ est une technique permettant de combiner la technique FEC fondée sur l'utilisation de turbo-codes avec une stratégie de retransmission permettant l'échange d'informations entre l'émetteur et le récepteur. Dans le Wimax Mobile, le HARQ utilise N canaux "Stop and Wait" permettant de fournir une réponse rapide dans le cas d'erreur sur les paquets et aide à améliorer la couverture de la cellule.

Combiné au CQICH et à l'AMC, ces trois permettent d'assurer un lien robuste dans le cas d'environnement mobile pour des vitesses dépassants les 120 Km/h.

4 LA COUCHE MAC

L'IEEE 802.16e a été conçue pour des applications sans fil à large bande de type point-multipoint. Elle prend en charge le transport des cellules ATM mais aussi celui des paquets IP, et joue un rôle important dans la gestion de la qualité de service (QoS).

La couche MAC s'appuie sur 3 sous-couches : une couche de convergence spécifique (Service Specific Convergence Sublayer : SSCS), une couche commune (MAC Common Part Sublayer : CPS), et une couche sécurité (Privacy Sublayer : PS).

4.1 Les sous-couches

4.1.1 La 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 SCSS 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 paquets : il est utilisé pour le mappage de tout protocole à base de paquet, tel qu'Ethernet, PPP, et les protocoles internet tels qu'IPv4 et IPv6

4.1.2 La couche CPS

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. De plus, elle gère également la partie qualité de service (QoS).

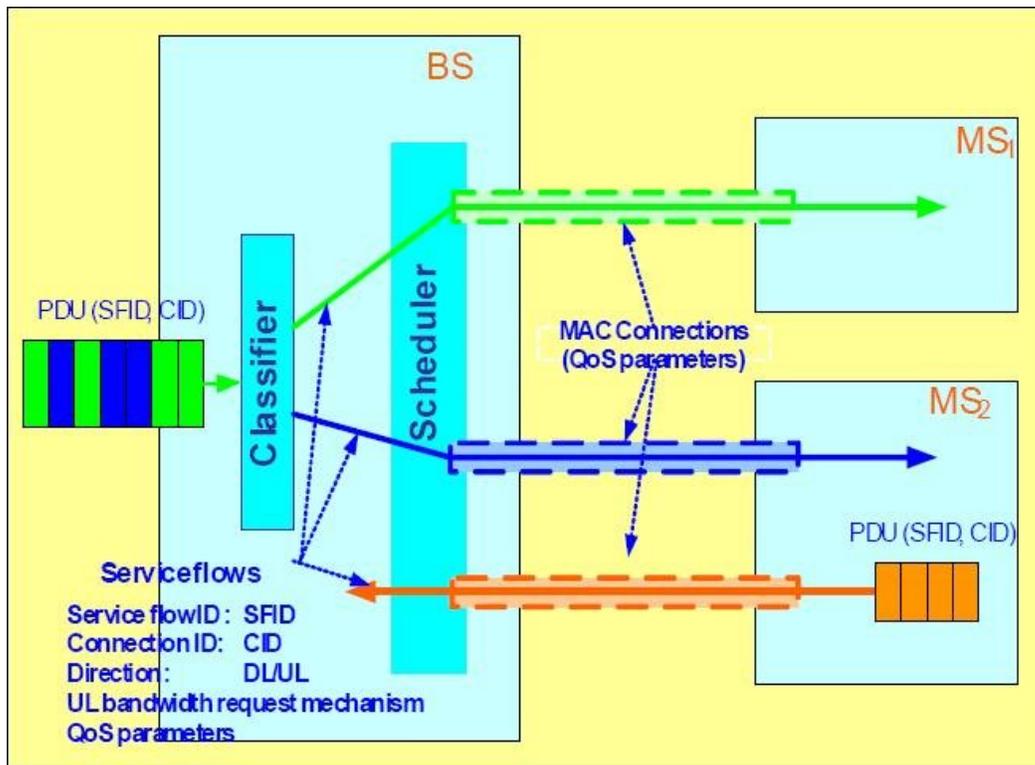
4.1.3 La couche PS

La PS est le lien qui réunit la couche MAC à la couche 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 PS est utilisée pour l'authentification et l'échange de clefs de sécurité.

4.2 La qualité de service

Wimax doit répondre à des exigences de QoS pour un large éventail de services et d'applications de données surtout avec la liaison ou connexion rapide, les capacités asymétriques en UL et DL, les mécanismes flexibles d'allocation de ressources ...

Dans la couche MAC, la QoS est fournie par l'intermédiaire des flots de service comme illustré dans la figure suivante :



QoS dans le Wimax Mobile

Avant de fournir un certain type de service de données, la station de base et le terminal de l'utilisateur établissent d'abord un lien logique unidirectionnel entre les peer MAC nommé connexion. Ensuite, l'outbound MAC associe des paquets traversant l'interface MAC dans un flot de service afin d'être délivré à travers la connexion. Les paramètres de QoS associés avec le flot de service définissent l'ordonnancement de la transmission à l'interface radio. La couche MAC est orientée connexion. En fait, on a une QoS par connexion établie. Chaque connexion est affectée aux flots de services et la bande passante est négociée par l'intermédiaire de la signalisation.

Les paramètres du flux de service peuvent être gérés dynamiquement par des messages MAC à adapter à la demande dynamique du service. Le mécanisme de QoS s'applique en UL et en DL pour fournir une QoS améliorée dans les deux directions.

On distingue plusieurs classes de service différant selon le type de données supportées et donc en fonction des exigences de l'application. Le tableau suivant présente les classes de service en spécifiant leurs paramètres respectifs :

QoS Category	Applications	QoS Specifications
UGS Unsolicited Grant Service	VoIP	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • Jitter Tolerance
rtPS Real-Time Polling Service	Streaming Audio or Video	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • Traffic Priority
ErtPS Extended Real-Time Polling Service	Voice with Activity Detection (VoIP)	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • Jitter Tolerance • Traffic Priority
nrtPS Non-Real-Time Polling Service	File Transfer Protocol (FTP)	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Traffic Priority
BE Best-Effort Service	Data Transfer, Web Browsing, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum Sustained Rate • Traffic Priority

Classes de QoS et applications

4.3 Le MAC scheduling service

Ce service a été conçu pour assurer une transmission efficace de services de données dans des réseaux broadband incluant la voix, les données et la vidéo à travers différents canaux. Le service scheduling présente les propriétés suivantes:

- **Fast Data Scheduler** : Le scheduler doit allouer d'une manière optimale les ressources disponibles suivant le trafic et la variation des conditions du canal avec le temps. Ce dernier est implémenté dans chaque station de base afin d'assurer un temps d'adaptation rapide. Les paquets sont associés à un flux ayant des paramètres de QoS bien définis dans la couche MAC pour que le scheduler puisse déterminer correctement l'ordre de transmission des paquets sur l'interface radio. Le canal CQICH fournit des informations sur le canal rapide afin de permettre au scheduler de bien choisir le codage et la modulation pour chaque allocation de ressources. L'AMC et le HARQ permettent d'assurer un lien robuste tout au long de la transmission.
- **Scheduling UL/DL** : Ce service est fourni dans les deux sens. Afin d'avoir une bonne allocation de ressources et une QoS voulue en UL, des informations exactes sur l'état du canal et sur les exigences en QoS doivent être transmises au scheduler en UL. Plusieurs mécanismes de demande d'allocation de bande passante sont mis en service dans le sens UL tel que le ranging channel, piggyback et polling. De plus, l'interférence intra-cell est annulée grâce à l'orthogonalité des sous canaux UL.
- **Dynamic Resource Allocation** : La couche MAC supporte une allocation fréquentielle-temporelle des ressources en UL et DL (basée sur les trames). L'allocation est transmise à travers des messages MAP au début de chaque trame ce qui permet une adaptation plus facile selon les conditions du canal.
- **QoS Oriented** : Le scheduler se base sur le concept de connexions pour transporter les données. Chaque connexion est associée à un seul service présentant des paramètres de QoS propres à lui définissant son comportement.

4.4 La gestion de la mobilité

Le handover et la vie de la batterie sont deux problèmes très importants dans le monde du mobile. Le Wimax mobile supporte le Sleep Mode et le Idle Mode pour assurer un bon fonctionnement du terminal mobile. De plus, cette version du Wimax supporte le handover d'une façon transparente vis-à-vis de l'utilisateur et cela en basculant d'une station de base à une autre sans avoir de coupure au niveau de la communication.

4.4.1 Gestion de la puissance

Le Wimax mobile présente deux modes : Sleep mode et Idle mode.

Le mode Sleep est un état durant lequel le terminal mobile pré-négocie des périodes d'absence de l'interface radio de sa station de base. Durant ces périodes, le mobile n'est pas disponible. Ce mode vise à minimiser la consommation de la batterie du mobile ainsi que l'utilisation des ressources de la station de base. Notons que dans ce mode, le mobile collecte des informations des cellules adjacentes afin d'effectuer un handover en cas de réception d'un meilleur signal d'une station de base voisine.

Le mode Idle est un état durant lequel le mobile est disponible d'une façon périodique et peut recevoir des messages de diffusion provenant de multiple station de base sans effectuer d'enregistrement. Ce mode présente l'avantage de désactiver le processus de handover qui consomme en puissance de la part du mobile et encombre de plus l'interface radio de la station de base tout en conservant la possibilité de pager le mobile et lui fournir des alertes au cas de provenance de trafic en DL.

4.4.2 Le handover

Afin de prendre en compte la mobilité des usagers, le standard met en place une procédure de handover utilisable dans les cas suivants :

- Quand la station mobile MS (Mobile Station) peut être prise en compte avec une meilleure qualité de signal par une autre station de base (mouvement du terminal, affaiblissement du signal ou interférence).

- Quand le terminal mobile peut être pris en compte avec une meilleure QoS par une autre station de base (équilibre de charge, contrôle d'admission, ou attentes en terme de QoS).

➤ Handover « break before make »

C'est la procédure classique de hard handover : le terminal se déconnecte de sa station de base de service avant de se connecter à la station de base cible. Il y a donc une coupure dans la communication. Par conséquent, ce mode de handover ne fonctionne que si la mobilité est lente. La procédure de handover comporte plusieurs étapes :

- Re-sélection de cellule : Le terminal utilise les informations recueillies lors des scrutations, associations, annonces, pour évaluer l'intérêt d'une station de base voisine comme cible d'un handover. Une telle procédure n'implique pas la terminaison de la connexion avec la station de base de service, et n'est pas forcément suivie d'une décision de handover.
- Entrée dans le réseau : L'entrée dans le réseau comprenant la synchronisation avec les liens descendants/montants, le ranging (obtention des paramètres du lien descendant et montant), la négociation des capacités, l'authentification par échange de clés et l'enregistrement du terminal auprès de la station de base. Si l'enregistrement est réussi, on établit la connectivité IP et les connexions de transport ; la station de base cible devient la station de base de service.
- Terminaison du contexte terminal : Le terminal envoie, à la station de base de service, une indication avec l'option de relâchement des ressources. La station quant à elle arme le temporisateur "retenue des ressources". Lorsque ce temporisateur expire, la station de base de service met fin à toute connexion avec le terminal et détruit les informations le concernant. Si la station de base de service reçoit un message provenant de la station de base cible indiquant que le terminal y a été attaché, la station de base de service peut supprimer le contexte du terminal même avant l'expiration du temporisateur.
- Baisse de connectivité pendant le handover : Quand un terminal détecte une baisse de connectivité pendant l'entrée dans le réseau d'une station de base cible, il peut essayer de reprendre la communication avec sa station de base de service en envoyant un message d'annulation de handover.
- Coordination de transmission : Quand le terminal termine le handover, il faut maintenir la continuité de la transmission entre l'ancienne et la nouvelle station de base de service vers le terminal.

➤ Modes optionnels de handover : MDHO et FBSS

En plus de la procédure de hard handover, il existe deux modes optionnels de handover (FBSS (Fast BS Switching) et MDHO (Macro Diversity Handover)). La prise en charge de ces modes est paramétrée lors de la phase d'enregistrement. Le jeu de diversité est un ensemble contenant une liste des stations de base actives pour le terminal. La notion de station de base active surpasse la notion de station de base « associée » : en effet, l'enregistrement a eu lieu, et donc l'ouverture des connexions de gestion secondaires aussi.

Une entité prenant en charge le MDHO/FBSS doit gérer le jeu de diversité, dans lequel une station de base ancre est désignée. Nous notons que la coordination de transmission n'est effectuée que dans le mode FBSS, et se déroule de la même manière que dans le hard handover.

- FBSS (commutation rapide de station de base)

Le handover FBSS nécessite plusieurs conditions :

- ✓ les stations de base, qui sont synchronisées sur une référence temporelle commune, ont une structure de trame (trame = unité de temps) synchronisée et utilisent les mêmes fréquences.
- ✓ les trames envoyées par les stations de base à un moment donné doivent parvenir au terminal pendant l'intervalle de préfixe OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).
- ✓ les stations de base doivent partager et se transmettre le contexte MAC. Il contient les informations que le terminal et la station de base s'échangent lors de l'entrée dans le réseau, par exemple l'état d'authentification, afin qu'un terminal authentifié/enregistré auprès d'une station de base du jeu de diversité soit aussi automatiquement auprès des autres stations de base de l'ensemble.

Le FBSS est un genre nouveau de handover. Le terminal est servi par une seule station de base à un instant donné : la station de base ancre, qui est donc considérée comme sa station de base de service. Les données du terminal sont reçues par toutes les stations de base du jeu de diversité mais seule la station de base ancre va les interpréter. Le terminal ne communique qu'avec la station de base ancre pour le sens montant et descendant, mais les autres stations de base actives doivent être prêtes à envoyer des données au terminal dans n'importe quelle trame. En effet, d'une trame à l'autre, la station de base ancre peut changer au sein du jeu de diversité. En FBSS, on parle plutôt de commutation rapide de station de base. C'est un changement de station de base ancre qui n'induit pas de coupure, car les connexions de gestion sont déjà en place entre le terminal et les stations de base actives. Il s'agit juste pour le terminal d'ouvrir les connexions de transport vers la nouvelle station de base ancre. L'avantage est de ne pas devoir utiliser des messages de signalisation de handover quand on veut changer de station de base ancre, car la commutation de station de base ancre est effectuée sans invoquer la procédure de handover classique

- MDHO (soft handover)

Avec un soft handover, le terminal est servi par toutes les stations de bases du jeu de diversité. Ce mode se fonde sur la capacité du terminal à communiquer simultanément avec plusieurs stations de base. Au fil du temps et de ses déplacements, le terminal va modifier son jeu de diversité.

Dans le sens descendant, le terminal reçoit la même trame MAC, au même instant, en provenance de chacune des stations de base du jeu de diversité. Il effectue ensuite la combinaison de diversité : en combinant le signal des différentes stations de base, il en fabrique un seul grâce à un récepteur de type RAKE. Il y a un gain de diversité car le terminal profite de la réception de plusieurs PDUs pour limiter les erreurs en combinant les informations. Dans le sens montant, le trafic provenant du terminal est reçu par toutes les stations de base du jeu de diversité. Le MDHO requiert les mêmes conditions que le FBSS, mais en plus : les stations de base utilisent le même ensemble de CIDs (Connection ID) pour les connexions établies avec le terminal. Les stations de base doivent utiliser le même type de PDU MAC/PHY. Enfin, le terminal doit pouvoir prendre en charge plusieurs connexions simultanées.

4.5 La sécurité

Le Wimax Mobile est l'une des meilleures technologies sans fil au niveau de la sécurité. Les principales caractéristiques qu'offre cette technologie sont les suivantes :

- Key Management Protocol : Privacy and Key Management Protocol Version 2 (PKMv2) est la base de la sécurité du Wimax Mobile comme défini dans la norme 802.16e. Ce protocole gère la sécurité au niveau de la couche MAC en utilisant des messages de type PKM-REQ/RSP PKM EAP authentication, Traffic Encryption Control, Handover Key Exchange et Multicast/Broadcast.
- Device/User Authentication : Supporté grâce au protocole EAP en fournissant des supports SIM-based, USIM-based ou Digital Certificate ou UserName/Password-based.
- Traffic Encryption : L'AES-CCM est l'algorithme de chiffrement utilisée pour protéger les données des utilisateurs à travers l'interface MAC du Wimax Mobile. Les clés sont générées par l'authentification EAP.
- Control Message Protection : Les données de contrôle sont protégées suite à l'utilisation de l'AES ou du MD5.
- Fast Handover Support : L'authentification dans le fast handover est optimisé grâce au mécanisme du 3-way Handshake. De même, ce mécanisme permet de lutter contre les attaques de man-in-the-middle.

5 TECHNOLOGIE DES ANTENNES INTELLIGENTES

L'OFDMA supporte très bien la technologie des antennes intelligentes. En effet, MIMO-OFDM/OFDMA se présente comme le futur dans les systèmes de communications de nouvelles générations.

Le Wimax Mobile supporte une grande plage d'antennes intelligentes pour aboutir à un système beaucoup plus performant. Cette technologie inclue :

- Beamforming : Le système utilise multiples antennes pour transmettre les signaux et améliorer sa couverture et sa capacité tout en réduisant la probabilité d'outage.
- Space-Time Code (STC) : La diversité de transmission comme celle du code d'Alamouti est supportée afin de fournir une diversité spatiale et réduire la marge d'évanouissement.
- Spatial Multiplexing (SM) : Plusieurs flux sont transmis à travers différentes antennes. Si le récepteur présente plusieurs antennes, il sera capable de séparer les flux afin d'aboutir à un débit beaucoup plus élevé que celui atteint avec une seule antenne.

Le Wimax Mobile supporte L'Adaptive MIMO Switching (AMS) entre plusieurs modes afin de maximiser l'efficacité spectrale sans aucune réduction au niveau de la couverture. La figure ci-dessous présente les pics théoriques qu'on peut atteindre pour différents taux en DL/UL en considérant un canal de 10Mhz, une trame de 5 ms avec 44 symboles OFDM de données et une sous canalisation PUSC. Avec un système MIMO 2x2, le débit théorique en sens descendant double. Le pic maximal en DL est de 63.36 Mbps lorsque tous les symboles sont dédiés au DL alors qu'en UL, le pic maximal du débit est de 14.11 Mbps.

DL/UL Ratio			1:0	3:1	2:1	3:2	1:1	0:1
User Peak Rate (Mbps)	SIMO (1x2)	DL	31.68	23.04	20.16	18.72	15.84	0
		UL	0	4.03	5.04	6.05	7.06	14.11
	MIMO (2x2)	DL	63.36	46.08	40.32	37.44	31.68	0
		UL	0	4.03	5.04	6.05	7.06	14.11
Sector Peak Rate (Mbps)	SIMO (1x2)	DL	31.68	23.04	20.16	18.72	15.84	0
		UL	0	4.03	5.04	6.05	7.06	14.11
	MIMO (2x2)	DL	63.36	46.08	40.32	37.44	31.68	0
		UL	0	8.06	10.08	12.10	14.12	28.22

6 COMPARAISON WIMAX MOBILE VS LTE

Le tableau ci-dessous présente les éléments clés d'une comparaison entre le Wimax Mobile et la LTE. On se focalise dans cette comparaison surtout sur la couche physique.

Aspect	Mobile WiMAX (IEEE802.16e-2005)	3GPP-LTE (E-UTRAN)
Core network	WiMAX Forum™ All-IP network	UTRAN moving towards All-IP Evolved UTRA CN with IMS
Access technology: Downlink (DL) Uplink (UL)	OFDMA OFDMA	OFDMA SC-FDMA
Frequency band	2.3-2.4GHz, 2.496-2.69GHz, 3.3-3.8GHz	Existing and new frequency bands (~2GHz)
Bit-rate/Site: DL UL	75Mbps (MIMO 2TX 2RX) 25Mbps	100Mbps (MIMO 2TX 2RX) 50Mbps
Channel bandwidth	5, 8.75, 10MHz	1.25-20MHz
Cell radius	2-7Km	5Km
Cell capacity	100-200 users	>200 users @ 5MHz >400 users for larger BW
Spectral efficiency	3.75[bits/sec/Hz]	5[bits/sec/Hz]

Aspect	Mobile WiMAX (IEEE802.16e-2005)	3GPP-LTE (E-UTRAN)
Mobility: Speed Handovers	Up to 120Km/H Optimized hard handovers supported	Up to 250Km/H Inter-cell soft handovers supported
Legacy	IEEE802.16a through 16d	GSM/GPRS/EGPRS/UMTS/HSPA
MIMO: DL UL No. of code words	2Tx X 2Rx 1Tx X NRx (Collaborative SM) 1	2Tx X 2Rx 2Tx X 2Rx 2
Standardization coverage	IEEE 802.16e-2005 PHY and MAC CN standardization in WiMAX forum™	RAN (PHY+MAC) + CN
Roaming framework	New (work in process in WiMAX Forum™)	Auto through existing GSM/UMTS
Schedule forecast: Standard completed Initial Deployment Mass market	2005 2007 through 2008 2009	2007 2010 2012

Comparaison Wimax Mobile et LTE

Les paramètres présentés dans ce tableau montrent que les deux technologies présentent quasiment les mêmes caractéristiques. Par contre, au niveau du marché, il existe une différence que ce soit dans le temps d'apparition ou de la License. Malgré son manque de maturité, le Wimax Mobile se montre comme le premier à faire son apparence sur le marché alors que le LTE vient d'être plus ou moins standardisé.

Suite à cette observation, on peut conclure que les fournisseurs de services mobiles ont tendance à choisir le Wimax Mobile en considérant bien sure sa disponibilité mais n'empêche que la plupart des grands fournisseurs utilisant actuellement l'UMTS/HSPA opteront pour le LTE.

7 CHIFFRES ET CONCLUSION

LA LTE SEMBLE PRENDRE L'AVANTAGE DANS CETTE BATAILLE AVEC LE WIMAX:

- ON ESTIME UN TAUX ANNUEL MOYEN DE CROISSANCE DE 404 % ENTRE 2010 ET 2014, POUR ATTEINDRE LES 136 MILLIONS D'ABONNES FIN 2014
- 27 OPERATEURS SE SONT PUBLIQUEMENT ENGAGES A DEPLOYER LA LTE, DONT 12 COMPTENT LANCER UNE OFFRE COMMERCIALE EN CETTE ANNEE (VERIZON AUX USA)
- LA SUEDE VIENT DE SE DOTER D'UN SITE COMMERCIAL LTE INSTALLE PAR LE CONSTRUCTEUR ERICSSON ET L'OPERATEUR TELIASONERA, DONT LA MISE EN SERVICE EST PREVUE POUR L'ANNEE 2010

EN FRANCE L'ARCEP A LANCE UNE CONSULTATION PUBLIQUE EN MARS DERNIER AU SUJET DE L'ATTRIBUTION DE DEUX FREQUENCES :

- ✓ LA BANDE 2,6 GHZ ACTUELLEMENT UTILISEE PAR LE MINISTERE DE LA DEFENSE SERA LIBREE (2010 – 2012)
- ✓ LA BANDE 800 MHZ UTILISEE PAR L'AUDIOVISUEL ET L'ARMEE SERA LIBREE EN DECEMBRE 2011
- ✓ SELON LE CALENDRIER DE L'ARCEP, LES LICENCES SERONT ATTRIBUEES EN 2010 POUR UNE COMMERCIALISATION EN 2011

D'AUTRE PART, LE WIMAX EST DEJA DEPLOYE DANS QUELQUES PAYS PAR EXEMPLE :

- AUX USA : SPRINT LANCE SON OFFRE COMMERCIALE DE CONNEXION MOBILE HAUT DEBIT PAR WIMAX. BAPTISE WIMAW XOHM, IL PROMET UN DEBIT DESCENDANT DE 2 A 4 MBITS/S -> 30\$ PAR MOIS OFFRE COMPLETE
- EN EUROPE : WORLDMAX DEPLOIE A AMSTERDAM LE PREMIER RESEAU COMMERCIAL MOBILE WIMAX D'EUROPE -> ACCES ILLIMITE HAUT DEBIT A 20 EUROS PAR MOIS

EN CONCLUSION, LE CHOIX DE LA TECHNOLOGIE RESTE UN CHOIX ECONOMIQUE ET STRATEGIQUE POUR LES DIFFERENTS OPERATEURS VUE QUE LA TECHNOLOGIE EST QUASIMENT LA MEME D'UN POINT DE VUE TECHNIQUE.

