



DOSSIER
NOUVELLES TECHNOLOGIES
RESEAUX



La Norme 802.16

**wimax**

Ludovic De RIGAUD
Nicolas DOCQ
Maxime HABABOU

2003/2004 – IR5

TABLE DES MATIERES

I. Introduction	3
II. Présentation générale	4
1. Principe et équipements pour la BLR	4
2. Les Fréquences disponibles	6
3. L'ART et l'attribution des licences	6
III. Etude technique de la norme	10
1. La norme 802.16	10
a) La couche physique	11
2. La norme 802.16a/b	22
a) Groupe 802.16a	22
b) Groupe 802.16b	23
IV. Perspectives pour 802.16	24
1. 802.16 : un concept large bande	24
a) La technologie du large bande	24
b) La mise en place du large bande	25
c) Evolution de la large bande	26
d) pénétration de la technologie hertzienne au sein du large bande	26
2. Comparaison BLR / autres offres hauts débits	27
a) Comparatif technologique du débit	27
b) Tableau récapitulatif des offres haut débit	29
3. Comparaison 802.16 / 802.11	30
4. Prévisions de développement	33
a) De nombreux projets	33
b) La puce Wimax d'Intel	33
V. Conclusion	35
VI. Webographie	36
VII. Glossaire	37

I. INTRODUCTION

L'objectif de ce dossier est de présenter la norme IEEE 802.16. Elle représente une des deux normes applicables à la BLR (Boucle Locale Radio) haut débit avec la norme 802.11.

Dans un premier temps, nous présenterons le principe de fonctionnement et l'émergence de la Boucle Locale Radio en France.

Nous étudierons ensuite les aspects techniques de la norme 802.16 et ses dérivées.

Enfin, nous réaliserons une étude comparative de cette norme avec les autres offres actuelles, afin d'en dégager les avantages et les inconvénients et d'anticiper les évolutions possibles de cette norme.

II. PRESENTATION GENERALE

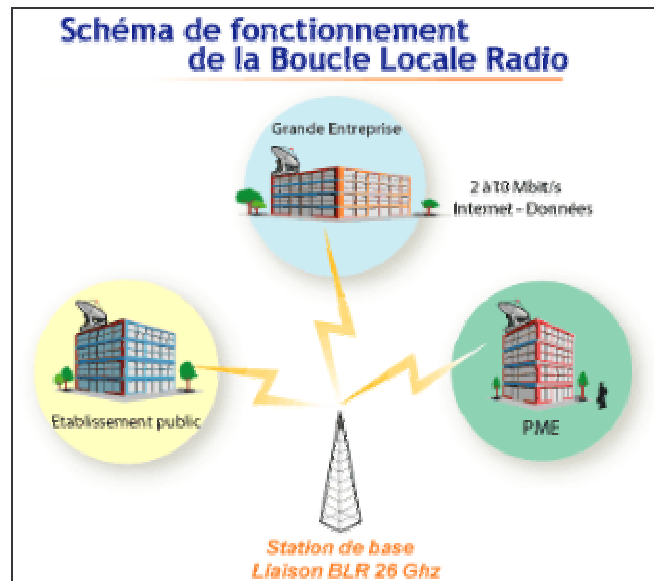
1. Principe et équipements pour la BLR

Historiquement, les zones isolées ou trop éloignées géographiquement des métropoles ne pouvaient être couvertes par l'Internet à haut débit, pour des raisons de coûts liés au déploiement des câbles. De fait, l'installation d'une antenne, émetteur/récepteur d'ondes radio, pouvait pallier ce manque. Dans le cadre de la libéralisation du marché des télécommunications (effective au 1er janvier 2001), le dégroupage de la boucle locale filaire a pris un certain retard notamment du fait de la mauvaise volonté de France Telecom. Certains opérateurs, comme Belgacom, FirstMark et Fortel, ont pris le parti d'investir dans le déploiement d'antennes sur les toits d'immeubles et de ne pas attendre que France Télécom libère des emplacements dans ses centres au plus près de l'abonné pour permettre aux opérateurs alternatifs de s'y brancher et d'exploiter le réseau filaire existant.

Ainsi est née la boucle locale radio, moins onéreuse (pas besoin de creuser des tranchées comme pour le câble) et indépendante de l'opérateur historique national auquel il n'est pas besoin de verser une licence d'exploitation.

La **boucle locale** désigne les infrastructures de transmission d'un réseau de télécommunications ouvert au public reliant directement les clients aux équipements de commutation auxquels ils sont rattachés. Elle représente un segment important du réseau d'un opérateur, à travers lequel celui-ci peut accéder directement à ses clients et maîtriser les services offerts.

Les technologies radio dans la boucle locale constituent aujourd'hui une solution de substitution aux moyens filaires pour le raccordement direct de clients et la fourniture de services de télécommunications fixes.

Composition d'une architecture BLR :

Le premier élément de l'architecture BLR est la station de base. Les stations de base correspondent aux antennes placées sur les toits d'immeubles et à tous les équipements qui y sont reliés, chargés d'émettre et de recevoir les paquets de données sous forme d'ondes radio. La station de base est reliée au centre de l'opérateur, et prend en charge les transmissions avec les abonnés.

Au niveau de la station de base (en fait quatre stations aux quatre coins de l'immeuble qui couvrent chacune un faisceau d'ondes sur un angle de 90 degrés), l'antenne est le maillon final qui émet et reçoit les ondes radio. Avant celle-ci est située une passerelle qui transforme le protocole réseau fixe employé pour la transmission (par exemple ATM sous forme de paquets de données) en un équivalent propriétaire sous forme d'ondes radio. Bien évidemment, il faut aussi que l'opérateur puisse générer en amont ce flux ATM à partir de la fibre à très haut débit, et il lui faut pour cela un commutateur adéquat.

Chez le client, une petite antenne doit être placée sur le toit de l'immeuble ou au minimum sur un balcon exposé dans la bonne direction. Celle-ci est reliée par un câble à un boîtier périphérique de l'ordinateur, qui joue le rôle de modem (MODulateur/DEMODulateur de fréquences).

De son côté l'opérateur doit disposer d'antennes éparpillées sur le territoire, sachant qu'elles doivent être au maximum à 15 kilomètres du client final. Cette technologie autorise au final un débit allant jusqu'à 132 Mbits/seconde.

Parmi les équipementiers concernés, on retrouve souvent Alcatel, mais également Thales Idatys, l'ancienne division telecoms de Dassault AT dont le nom est désormais Thales e-Transactions SA.

2. Les Fréquences disponibles

La validation des fréquences utilisées et la distribution de celles-ci aux différents opérateurs appartient à l'ART (Autorité de régulation des télécommunications).

La régulation consiste en l'application, par l'autorité compétente, de l'ensemble des dispositions juridiques, économiques et techniques qui permettent aux activités de télécommunications de s'exercer effectivement.

En France, la loi a confié cette mission au ministre chargé des télécommunications et à une institution indépendante : l'Autorité de régulation des télécommunications, mise en place le 5 janvier 1997.

Le nombre d'opérateurs pouvant exploiter la boucle locale radio est forcément limité. Tout comme les emplacements pour brancher les fils sur les commutateurs de France Télécom sont en nombre limité, les fréquences qui peuvent être attribuées le sont également. Si deux opérateurs tentaient d'émettre sur la même fréquence, les flux risqueraient d'être superposés et des incohérences empêcheraient un envoi ou une réception correcte des données ou de la voix. Or, le 23 Avril 1998, après que la phase d'expérimentation de la BLR ait été terminée, l'ART n'a retenu que deux bandes de fréquences jugées exploitables : autour de 3,5 GHz et de 27,5 à 29,5 GHz. Le problème étant que cette dernière plage apparaît en conflit avec des transmissions satellitaires, l'armée a bien voulu concéder une partie qu'elle n'exploitait pas des fréquences autour de 26 MHz. Le 23 Avril 1999, l'ART propose d'ouvrir la bande de fréquence du 26 GHz à la boucle locale radio.

Les fréquences identifiées pour les réseaux de boucle locale radio se trouvent donc dans les bandes de fréquences 3,5 GHz et 26 GHz pour la métropole et 3,5 GHz pour les DOM.

3. L'ART et l'attribution des licences

L'Autorité de Régulation des Télécommunications a considéré la Boucle locale radio comme une technologie susceptible à la fois de développer la concurrence sur le marché local et de contribuer à l'aménagement du territoire. La démarche suivie par l'ART a été progressive :

- Lancement d'une consultation publique en 1997 avec une multitude de questions sur la technologie de la BLR aux différents opérateurs (les enjeux, le marché, la technologie, les conditions d'octroi des licences), avec rédaction d'un rapport de synthèse ;
- Mise en œuvre de 27 expérimentations, afin de déterminer notamment les fréquences exploitables pour la BLR ;

- Appel à candidatures lancé le 30 novembre 1999 : cet appel à candidature visait à retenir 2 opérateurs métropolitains (niveau national) dans les bandes 3,5 et 26 GHZ, 2 opérateurs dans chacune des 22 régions métropolitaines (bande 26 GHZ) et 2 opérateurs dans chacun des quatre Départements d'outre-mer (bande 3,5 GHZ).

Le 16 février 2000, 28 sociétés déposent 218 dossiers de candidatures pour 54 licences en jeu. Outre les critères classiques dans ce genre de procédure (capacité technique, capacité financière du candidat), l'ART a mis l'accent sur des critères spécifiques pour attribuer les licences :

- Capacité à stimuler la concurrence dans la boucle locale ;
- Ampleur et rapidité du déploiement ;
- Cohérence du projet ;
- Optimisation de l'usage du spectre ;
- Contribution à l'emploi en France et en Europe ;
- Contribution à la protection de l'environnement.

L'attribution des fréquences (suite au choix des candidats retenus et à la signature des arrêtés d'autorisation par le Ministre) a été publiée le 28 juillet 2000.

Huit opérateurs ont été initialement retenus. Six d'entre eux ont maintenu leur offre et sont chargés de développer cette technologie et les services associés.

Les opérateurs présents sur le marché de la boucle locale radio sont donc au nombre de six :

- Deux opérateurs métropolitains et d'ampleur nationale :
 - ✓ 9 Telecom Entreprise (groupe LD Com) ;
 - ✓ Altitude Telecom.
- Un opérateur métropolitain et régional :
 - ✓ Broadnet France (filiale d'Altitude Telecom).
- Trois opérateurs dans les DOM :
 - ✓ Cegetel La Réunion ;
 - ✓ Médiaserv ;
 - ✓ XTS Network.

Le nombre d'opérateurs présents étant aujourd'hui encore assez faible, beaucoup de bandes de fréquences ne sont pas encore attribuées. D'ailleurs, le 12 mars 2003, afin de statuer sur les conditions d'utilisation et les modalités d'attribution des fréquences radioélectriques, une consultation publique a été lancée. Cette consultation a permis d'établir que le degré de rareté dans la bande 3,5 GHz ne justifie pas la ré-attribution par appel à candidatures des fréquences disponibles. L'Autorité est donc désormais en mesure de répondre au fur et à mesure aux demandes de fréquences de cette bande.

Pour récapituler, voici sous forme de tableau les fréquences BLR attribuées par l'ART et disponibles en France :

➤ **En métropole**

Bande allouée Régions	3,5 GHz		26 GHz			
	Bande 1	Bande 2	Bande 3	Bande 4	Bande 5	Bande 6
	15 MHz duplex	15 MHz duplex	112 MHz duplex	112 MHz duplex	112 MHz duplex	112 MHz duplex
Alsace	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Aquitaine	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Auvergne	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Basse-Normandie	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Altitude Télécom	Disponible	Disponible
Bourgogne	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Bretagne	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Centre	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Champagne-Ardenne	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Corse	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Franche-Comté	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Haute-Normandie	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Altitude Télécom	Disponible	Disponible
Ile-de-France	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Broadnet France	Disponible	Disponible
Languedoc-Roussillon	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Limousin	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible

Lorraine	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Midi- Pyrénées	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Nord-Pas- de-Calais	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Pays de la Loire	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Picardie	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Poitou- Charentes	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Provence Alpes Côte d'Azur	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible
Rhône-Alpes	Disponible	Altitude Télécom	9 Telecom Entreprise	Disponible	Disponible	Disponible

En métropole, la quantité de fréquences allouée à un opérateur dans la bande 3,5 GHz est de 15 MHz duplex.

Elle est de 112 MHz duplex dans la bande 26 GHz.

➤ Dans les DOM

Bande allouée	3,5 GHz	
	Bande 1	Bande 2
Régions	42 MHz duplex	42 MHz duplex
Guadeloupe	XTS Network Caraïbes	Médiaserv
Guyane	XTS Network Caraïbes	Disponible
Martinique	XTS Network Caraïbes	Médiaserv
Réunion	XTS Network Océan Indien	Cegetel La Réunion

Dans les départements d'outre-mer, la quantité de fréquence allouée à un opérateur dans la bande 3,5 GHz est de 42 MHz duplex.

III. ETUDE TECHNIQUE DE LA NORME

La norme 802.16 comporte plusieurs groupes d'étude :

- Le groupe 802.16 pour les fréquences > 10 GHz. Couche MAC commune (16,16a,16b) ;
- Le groupe 802.16a pour les fréquences < 11 GHz ;
- Le groupe 802.16b pour les fréquences < 11 GHz, sans licences (UNII, 5-6 Ghz, USA) ;
- Le groupe 802.16.2 qui émet des recommandations pour la coexistence des systèmes 802.16.

1. La norme 802.16

Voici un aperçu des différentes couches du modèle OSI constituant la norme 802.16. Celles-ci vont être détaillées par la suite.

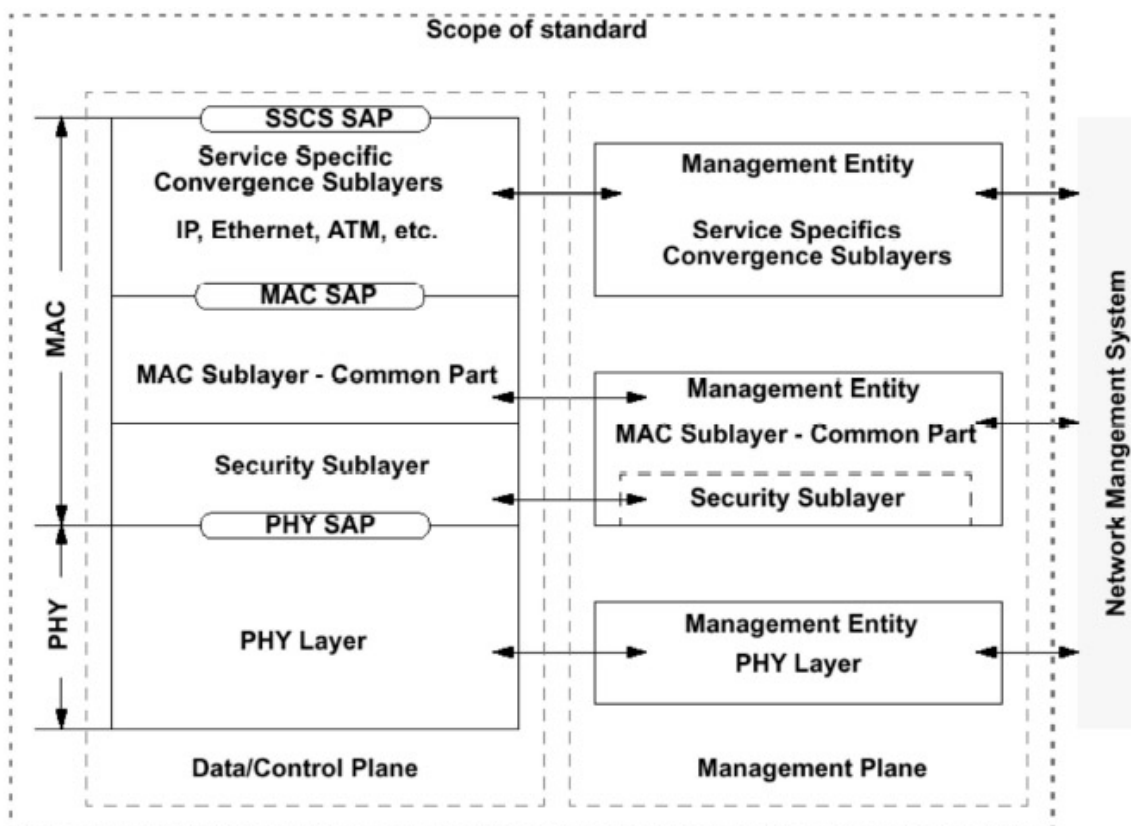


Illustration 1 - Les couches physique et MAC

a) La couche physique

Le 802.16 utilise la bande des 10 à 66 GHz. Dans la conception des spécifications physiques de la bande des 10-66 GHz, une propagation par vue directe était considérée comme une nécessité pratique. Avec cette condition respectée, la modulation par simple porteuse a été facilement choisie ; l'interface radio étant désignée "WirelessMAN-SC". De nombreux défis de design subsistent malgré tout. En raison de l'architecture point-multipoint, le BS transmet un signal TDM (Time Division Multiplex - multiplexage par division temporelle), avec une attribution d'un intervalle de temps (slot time) pour chacun. L'accès à la voie montante est réalisé par TDMA (Time-Division-Multiple-Access).

A la suite des discussions autour de l'extension de la norme concernant le duplex, la conception d'un burst a été choisie pour permettre en même temps :

- Le TDD (Time-Division-Duplexing), dans lequel les liens montants et descendants partagent un canal mais ne transmettent pas simultanément ;
- Le FDD (Frequency-Division-Duplexing), dans lequel les liens montants et descendants fonctionnent sur différents canaux, parfois simultanément.

La conception de ce burst a permis de supporter de la même façon le TDD et le FDD. Le support du half-duplex a été ajouté pour les abonnés qui utilisent le FDD, ce qui permet d'avoir des équipements moins coûteux lorsqu'il ne transmettent pas et ne reçoivent pas en même temps, ce qui s'est fait au dépend d'une légère complexité. Le FDD et le TDD supportent tous deux une adaptation du profil de burst dans lequel les options de codage et de modulation peuvent être assignées dynamiquement aux rafales de burst. Cette adaptation dynamique est fonction des conditions d'émission-réception radio.

✓ Détails de la couche physique

La spécification technique définie pour la bande 10-66 GHz utilise des burst par modulation d'une simple porteuse. Les burst sont modulaires, les paramètres de transmissions – incluant les schémas de modulation et de codage – pouvant être ajustés individuellement pour chaque station d'abonné (SS – Subscriber Station) avec pour base du trame par trame. Des canaux de largeur de bande de 20MHz, 25MHz (allocation de bande typiquement US) ou 28MHz (allocation de bande typiquement européenne) sont définies (en suivant une racine carrée de Nyquist suivie d'une impulsion formée d'un cosinus avec un facteur de rolloff de 0.25). Une fonction aléatoire est appliquée pour l'étalement temporel et pour assurer les transitions de bits afin de pouvoir récupérer l'horloge.

Le mécanisme de correction d'erreur FEC (Forward Error Correction) utilisé est Reed-Solomon GF(256), avec des tailles de blocs variables et une capacité de correction d'erreur. Le FEC est couplé à une convolution de code pour transmettre de manière robuste les données critiques, tel que les trames de contrôle et d'accès initial. Les options FEC sont couplées à la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), QAM-16 états et QAM-64 états afin de former des profils de burst de robustesse

modulable et efficace. Si le dernier bloc FEC n'est pas rempli, ce bloc peut être raccourci. Raccourcir à la fois le lien montant et le lien descendant est contrôlé par le BS et est implicitement communiqué dans la carte du lien montant (UL-MAP) et descendant (DL-MAP).

Le système utilise une trame de 0,5, 1, ou 2 ms. Cette trame est divisée en plusieurs slot physique afin d'allouer la largeur de bande et l'identification des transitions physiques. A mesure que le débit augmente, le temps d'émission diminue. Un slot physique est défini pour être un symbole du codage QAM-4. Dans la version modifiée de la couche Physique du TDD, la sous-trame de lien montant est envoyée après la sous-trame de lien descendant sur la même fréquence porteuse. Dans la version modifiée FDD, les sous-frames des liens montants et descendants sont envoyés dans le même intervalle de temps mais sont transportées sur des fréquences séparées. La sous-trame de lien descendant est exposée dans la figure suivante :

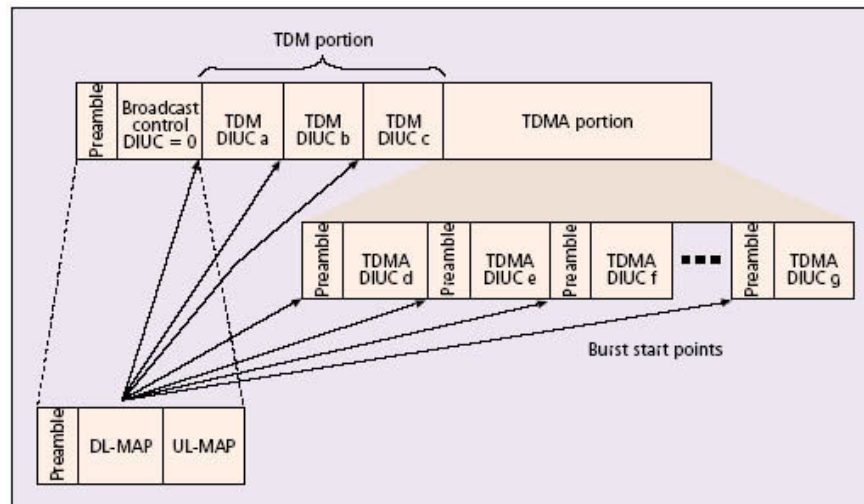


Illustration 2 - Structure de la sous-trame de lien descendant

La sous-trame de lien descendant commence par une trame avec un champ de contrôle de section « DL-MAP », qui est le plan de la trame descendante actuelle, tandis que le champ « UL-MAP » est laissé vide pour un même usage ultérieur. Le plan de la trame de lien descendant spécifie quand des transitions sur la couche physique surviennent (la modulation et le FEC changent). La sous-trame de lien descendant contient généralement une portion de code TDM immédiatement après la trame de contrôle de section. Les données venant du lien descendant sont transmises à chaque SS qui utilisent une négociation du profil de burst.

Les données sont transmises par ordre de robustesse décroissante pour permettre au SS de recevoir leurs données, avant que ne se présente un profil de burst qui causera la perte de synchronisation entre la SS et le lien descendant.

Dans les systèmes FDD, la portion de code TDM doit être suivie par un segment TDMA qui inclut un préambule supplémentaire au début de chaque nouveau profil de burst. Cette fonctionnalité permet un meilleur support du half-duplex par les SS. Si l'émission se fait en half-duplex avec les SS, la synchronisation entre la SS et le lien

descendant risque d'être perdu. Le préambule TDMA permet de réacquérir la synchronisation.

En raison des demandes de bande passante dynamique - de nombreux services pouvant être actifs - le mélange et la durée des profils de burst ainsi que la présence ou l'absence de la portion TDMA varient dynamiquement d'une trame à l'autre. Puisque le SS destinataire peut être implicitement indiqué dans l'en-tête MAC plutôt que dans la « DL-MAP », les SS écoutent toutes les portions de la sous-trame de lien descendant qu'ils sont capables de recevoir. Pour les SS fonctionnant en full-duplex, cela signifie recevoir tous les profils de burst d'une robustesse égale ou supérieure à celle qu'ils avaient négociés avec le BS.

Une sous-trame de lien montant typique de la couche Physique, dans la bande des 10-66 Ghz est montrée ci-dessous :

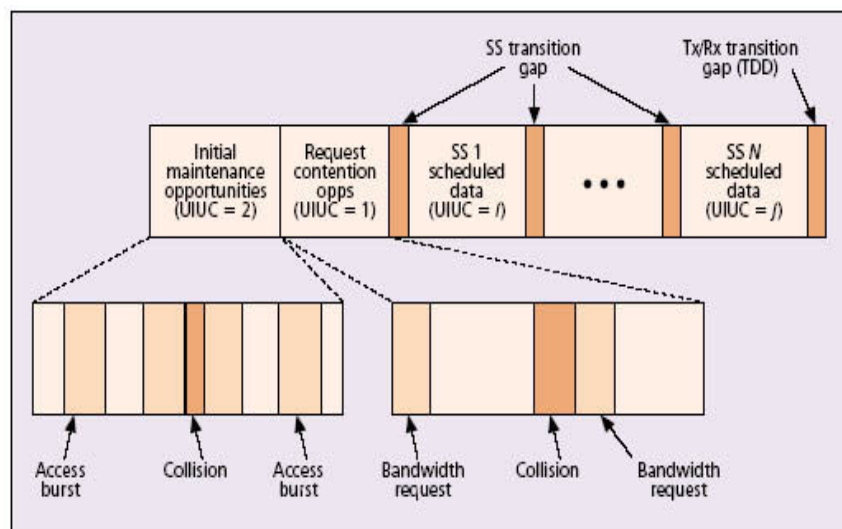


Illustration 3 - Structure de sous-trame de lien montant

Contrairement au lien descendant, la carte « UL-MAP » garantit une bande passante à chaque SS. Les SS transmettent leurs données via l'allocation qui leur a été assignée, en utilisant le profil de burst spécifié par le UIUC (Uplink Interval Usage Code) spécifié dans l'entrée de la « UL-MAP ». Cette entrée indique la bande passante garantie pour cette SS.

La sous-trame de lien montant contient aussi un message de contention pour l'accès initial au système et pour les requêtes de bande passante transmises en multicast et broadcast. Pour l'accès au système, les opportunités d'accès sont choisies de manière à accorder un temps supplémentaire pour les SS qui n'ont pas résolu assez tôt le « transmit time advance » (en fait, qui n'ont pas envoyé en avance leurs trames) afin de pallier au décalage temporel de la transmission avec le BS.

Entre les couches physique et MAC existent une sous-couche de convergence de transmission : TC (Transmission Convergence). Cette couche permet de transformer

des PDU MAC (Protocol Data Unit) de longueur variable en un bloc FEC de taille fixe (avec potentiellement un court bloc à la fin) pour chaque burst. La couche TC a un PDU conçu pour convenir aux blocs FEC ayant déjà été remplis. Il démarre avec un pointeur indiquant où est le prochain en-tête MAC PDU n'ayant pas de bloc FEC. Le schéma ci-dessous explique le fonctionnement de ce mécanisme :

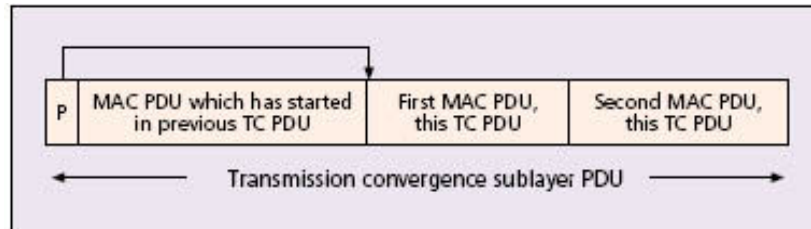


Illustration 4 - Format d'un PDU de TC

Le format des PDU de convergence de transmission (TC) permet de re-synchroniser avec le prochain PDU dans le cas où une erreur irrécupérable surviendrait sur le bloc FEC (correction d'erreur) précédent. Sans la couche de TC, lorsqu'une BS ou une SS recevrait un burst, le contenu entier pourrait être perdu si une erreur irrécupérable survenait sur un bit.

✓ Détails de la couche MAC

La couche MAC est séparée en trois sous-couches :

- La couche MAC inclut un service spécifique de convergence (Service-Specific Convergence) des couches supérieures du modèle OSI avec les sous-couches MAC (Cf. Illustration 1) ;
- En dessous se trouve une sous-couche formant le noyau de la couche MAC, nommée « couche commune », qui contient les fonctions clés de la couche MAC ;
- Enfin, il existe une sous-couche nommée sous-couche de protection (privacy sublayer).

Service-Specific Convergence Sublayers

Le standard IEEE 802.16 définit deux services spécifiques de convergence de sous-couche pour faire la correspondance des services à partir et depuis les connexions MAC. Les deux services de convergence sont :

- La sous-couche de convergence ATM qui est définie pour les services ATM ;
- La sous-couche de convergence de paquets qui est définie pour faire la correspondance des services par paquets tels que IPv4, IPv6, Ethernet ou les VLAN (Virtual LAN).

La première tâche de cette sous-couche est de transmettre les SDU (Service Data Unit) à la bonne connexion MAC, de préserver ou d'activer la QoS (Quality of Service), et d'activer l'allocation de bande passante. L'opération de correspondance prend des formes différentes suivant le type de service. En plus de ces fonctions basiques, cette sous-couche de convergence peut aussi mettre en œuvre des fonctions plus

sophistiquées tel que l'amélioration de la charge utile via la suppression des en-têtes puis leurs reconstructions, pour améliorer l'efficacité du lien hertzien.

Common Part Sublayer

Introduction et architecture générale

En général, l'architecture MAC du 802.16 est conçue pour supporter une architecture point-multipoint avec un BS central gérant simultanément de multiples secteurs indépendants. Sur le lien descendant, les données vers les SS sont multiplexée en TDMA.

La couche MAC 802.16 est orientée connexion. Tous les services, ce qui inclus les services non connectés, sont associés à une connexion. Ce mécanisme de connexion nous permet de fournir un mécanisme de demande de bande passante, d'associer la QoS et les paramètres de trafic, de transporter et router les données à la sous-couche de convergence appropriée, et enfin, d'effectuer toute autre action définie dans le contrat entre l'opérateur et le client. Les connexions sont référencées par un identifiant de connexion sur 16 bits (CID), et peuvent demandés continuellement la même bande passante garantie, ou bien vouloir de la bande passante à la demande (adaptation de la bande passante au trafic). Les deux méthodes sont possibles.

Chaque SS à une adresse MAC standard sur 48 bits, mais cette adresse MAC est surtout utilisée comme un identifiant d'équipement, puisque l'adresse principalement utilisée durant les opérations sont les CID(identifiant de connexion). A l'entrée sur le réseau, il est assigné au SS trois connexions de management dans chaque sens de communication.

Ces trois connexions reflètent les trois niveaux de QoS utilisés par les différents niveaux de management.

- La première des trois connexion est la connexion basique, qui est utilisée pour le transfert de court message de contrôle, tels que :
 - ✓ Message à la couche MAC de criticité du temps ;
 - ✓ Message de contrôle du lien radio (RLC – Radio Link Control).
- La première connexion de management est utilisée pour transférer pendant un temps plus long, des messages plus tolérant sur les délais tel que ceux utilisé pour l'authentification ou configurer la connexion.
- La seconde connexion de management est utilisée pour le transfert de messages de management basés sur des standards, tels que :
 - ✓ DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) ;
 - ✓ TFTP (Trivial File Transfer Protocol) ;
 - ✓ SNMP (Simple Network Management Protocol).

En plus de ces connexions de management, des connexions sont allouées sur le SS pour les services souscrits au contrat. Les connexions de transport sont unidirectionnelles, pour faciliter la QoS et les paramètres du trafic, aussi bien en lien montant qu'en lien descendant. Typiquement, les connexions sont assignées aux services par paires.

La couche MAC réserve des connexions additionnelles pour d'autres tâches. Ainsi, une connexion est réservée pour l'accès à la contention (mécanisme d'évitement d'engorgement). Une autre connexion est réservée pour la transmission en diffusion (broadcast) sur le lien descendant (donc du BS vers le SS) aussi bien que pour signaler le besoin de bande passante des SS via l'émission de broadcast de contention d'un futur engorgement, si le besoin n'est pas satisfait. D'autres connexions enfin sont réservées au multicast. Il doit être demandé aux SS de s'abonner à un groupe multicast, en utilisant les connexions multicast dédiées.

Format des PDU

Le MAC PDU est l'unité chargée d'échanger des données entre les couches MAC du BS et de ses SS. Un PDU consiste en un en-tête MAC de taille fixe, avec une charge utile de taille variable, et un CRC optionnel. (Cyclic Redundancy Code). Deux formats d'en-tête existent, distinguer par le champ « HT » :

- L'en-tête générique, définit ci-après :

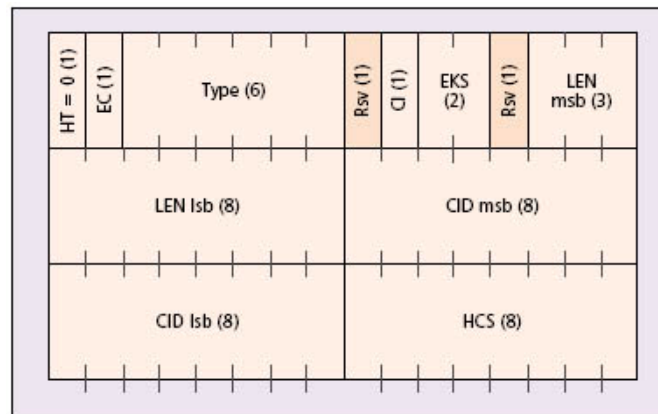


Illustration 5 - Format d'un en-tête PDU générique

- L'en-tête de demande de bande passante.

Excepté pour la demande de bande passante par un PDU - qui ne contient alors pas de charge utile – les PDU contiennent aussi bien les messages de management MAC que les données de convergence des sous-couches. Nous allons voir les en-têtes des données de convergence des sous-couches.

Trois types de sous-en-tête doivent être présent :

- Le sous-en-tête de management des droits est utilisé par un SS pour transporter la demande de bande passante voulue auprès de son BS ;
- Le sous-en-tête de fragmentation contient des informations qui indique la présence et l'organisation de chacun des fragments des SDU (les SDU étant alors la donnée utile) ;
- Le sous-en-tête de regroupement est utilisé pour signaler qu'il contient un regroupement de nombreux SDU dans un unique PDU.

Les sous-en-têtes de management et de fragmentation doivent être insérés dans un MAC PDU qui doit être juste après l'en-tête générique si le champ « Type » l'exige. Le

sous-en-tête de regroupement doit être inséré avant chaque MAC SDU si le champ « Type » l'indique.

Transmission des PDU

La couche MAC du 802.16 supporte de nombreux protocoles de plus haut niveau, tel que ATM ou IP. Les sous-trames de convergence correspondants aux SDU entrants sont formatées en accord avec les trames PDU - une fragmentation ou une encapsulation étant - possible, avant d'être envoyé vers une ou plusieurs connexions, en accord avec le protocole MAC. Après avoir traversé le lien hertzien, les SDU originaux sont reconstruits à partir des PDU reçus, ce qui fait que les modifications de formats réalisés par le protocole de la couche MAC sont transparentes pour l'entité réceptrice.

Le 802.16 prend donc les avantages d'incorporer à la fois des processus d'agrégation de données et de fragmentation. De plus, le processus d'allocation de bande passante permet de maximiser l'efficacité des deux processus précédent. La fragmentation est le processus par lequel les SDU sont divisés en un ou plusieurs fragments SDU. L'agrégation est le processus par lequel de nombreux SDU sont regroupés dans une unique trame PDU. Les deux processus peuvent être initiés ou par une BS pour une connexion de lien descendant ou par une SS pour une connexion de lien montant.

Le 802.16 permet d'utiliser simultanément la fragmentation et l'agrégation pour une utilisation optimale de la bande passante.

Le support physique et la structure de trame

La couche MAC 802.16 supporte à la fois le TDD et le FDD. En FDD, une liaison descendante continue ou par burst est supportée. Un lien descendant utilisant un flux continu permet l'usage de certaines techniques d'amélioration de la robustesse, tel que l'entrelacement de trames. Un lien descendant fonctionnant par burst (aussi bien en FDD qu'en TDD) permet l'utilisation de meilleures techniques d'amélioration de la robustesse et des capacités, tel que le profil de burst adaptatif correspondant au niveau de l'abonné ou l'utilisation d'antenne plus évoluée.

La couche MAC construit la sous-trame de lien descendant en commençant avec une trame de contrôle de section contenant les messages « DL-MAP » et « UL-MAP ». Ceux-ci indiquent les transitions de la couche physique du lien descendant aussi bien que les allocations de bande passante. Ils indiquent aussi les profils de burst du lien montant.

Le message « DL-MAP » s'applique toujours à la trame en cours et est au moins de la longueur de deux blocs FEC. La première transition physique est défini dans le premier bloc FEC, ceci afin de permettre un traitement adéquat du temps. A la fois dans les systèmes TDD et FDD, le message « UL-MAP » fourni l'allocation temporelle qui permettra d'envoyer des données à la prochaine trame descendante. Il peut aussi commencer à utiliser son allocation temporelle, tout en tenant compte du temps de traitement et du délai d'aller-retour. Le temps minimum entre la réception et l'application du message « UL-MAP » dans un système FDD est vu figure suivante :

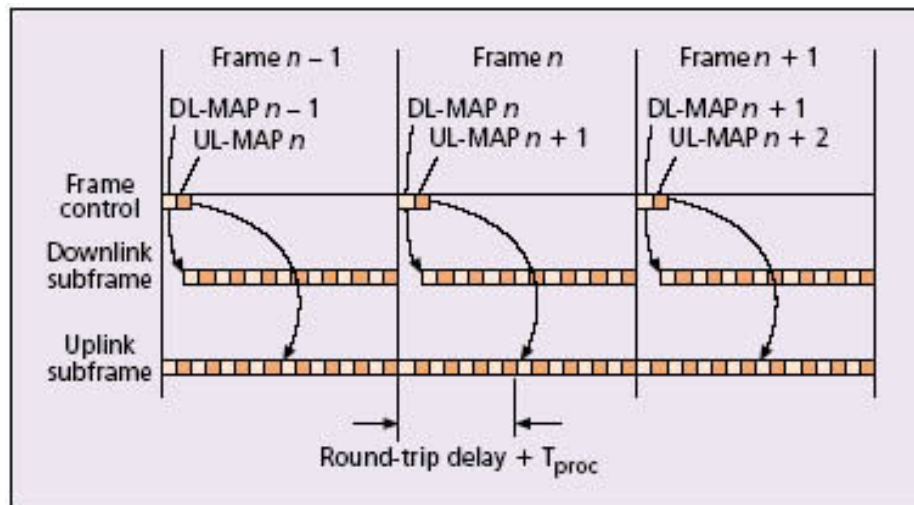


Illustration 6 – Minimum FDD map relevance

Contrôle du lien radio

La technologie de la couche physique 802.16 demande également un contrôle avancé du lien radio (RLC), particulièrement pour détecter les changements de la couche physique d'un profil de burst à un autre. Le RLC doit vérifier ce changement éventuel, en plus des tâches habituellement dévolues, telles que contrôle d'énergie et portée des ondes.

Le RLC entre en oeuvre lorsque la BS commence à émettre périodiquement en broadcast le profil du burst choisi pour le lien montant et le lien descendant. Le profil de burst qui sera utilisé sur un canal est déterminé en fonction de nombreux facteurs :

- La pluie dans la région ;
- Les capacités de l'équipement.

Chacun des profil de burst pour le lien descendant est marqué avec un DIUC (Downlink Interval Usage Code – code utilisé pour l'intervalle entre les burst du lien descendant). Ceux du lien montant sont marqués avec un UIUC (Uplink Interval Usage Code – code utilisé pour l'intervalle entre les burst du lien montant). Voir l'illustration 3 pour voir l'utilisation du UIUC dans la trame.

Initialisation et négociation des possibilités de la SS

Jusqu'au moment où elle aura appris quels paramètres utiliser pour les premières transmissions, la SS va regarder les paramètres d'initialisation potentiels en scannant les messages « UL-MAP » présents dans chaque trame. La SS utilise un algorithme de repliement exponentiel tronqué pour déterminer quel intervalle de temps initial utiliser afin d'envoyer une requête. La SS va envoyer un burst de connexion en utilisant un minimum d'énergie. Puis elle va augmenter graduellement la puissance de transmission jusqu'à recevoir enfin un message d'initialisation.

Lorsque la BS reçoit ce message d'initialisation, elle renvoie un message réponse d'initialisation à la SS, en lui indiquant l'avance temporelle à utiliser ainsi que la puissance d'émission nécessaire. Pour déterminer ces valeurs, la BS se base sur le temps d'arrivée (calcul du delta t entre émission et réception) et la puissance mesurée du signal reçu. Cette réponse fournie aussi à la SS les CID (les identifiants de connexions) de management basique et primaire. Une fois que l'avance temporelle pour la transmission du SS a été correctement calculée, la procédure d'initialisation d'ajustement de la puissance d'émission peut être réalisé plus finement, en utilisant les canaux de transmissions annexe.

A partir de ce point, toutes les transmissions sont effectuées en utilisant le profil de burst le plus robuste et le plus efficace. Pour éviter de perdre de la capacité par la suite, la SS rapporte à sa BS ses capacités physiques, incluant la modulation et le schéma de codage supporté, si le système fonctionne en FDD, et si elle fonctionne en half ou full duplex. La BS, dans sa réponse, peut refuser l'utilisation de n'importe laquelle des possibilités rapportées par la SS.

Authentication et Enregistrement de la SS

Chaque SS contient un certificat digital X.509 installé par le fabricant à la sortie d'usine, et un certificat du fabricant. Ces certificats - qui établissent un lien entre l'adresse MAC sur 48 bits de la SS et la clé publique RSA – sont envoyés à la BS par la SS dans les requêtes d'autorisation (Authorization Request) et d'authentification. Le réseau est ainsi capable de vérifier l'identité des SS en regardant les certificats. La BS peut donc déterminer le niveau d'autorisation de la SS. Si la SS est autorisée à se joindre au réseau, la BS va alors répondre à cette requête avec une demande d'autorisation (Authorization Reply) contenant un clé d'autorisation cryptée (AK – Authorization Key). Cette AK est réalisée à partir de la clé publique de la SS et sera utilisée pour sécuriser d'autres transactions.

Une fois l'autorisation effectuée avec succès, la SS va s'enregistrer auprès du réseau. Cela va alors établir une seconde connexion de management avec la SS afin de déterminer les opérations MAC faisable ainsi que l'installation de connexions. La version du protocole IP utilisé sur cette seconde connexion de management est aussi déterminé pendant l'enregistrement.

Connectivité IP

Après s'être enregistré, la SS récupère une adresse IP via DHCP et établie l'heure courante et la date via le protocole Internet de temps (Internet Time Protocol). Le serveur DHCP fournit aussi à la SS l'adresse d'un serveur TFTP auprès duquel la station peut récupérer un fichier de configuration. Ce fichier fourni une interface standard pour accéder aux informations de configuration spécifique au constructeur.

Configuration des connexions

Le 802.16 utilise le concept des flux de service pour définir le transport unidirectionnel des paquets, que ce soit en trafic montant ou descendant. Les flux de service sont caractérisés par un jeu de paramètre QoS tels que le temps de latence et de

décalage. Afin d'utiliser de la manière la plus efficace la bande passante et la mémoire, 802.16 a adopté un modèle d'activation en deux phases. Une ressource est tout d'abord assignée à un flux de service autorisé particulier, mais ne sera finalement envoyée que lorsque le flux de service aura été activé. Chaque service admis ou activé sera affecté à une connexion MAC avec un CID unique.

En général, les flux de services en 802.16 sont prédéfinis. La configuration des flux de service est réalisée par la BS pendant l'initialisation de la SS. Cependant, les flux de service peuvent être établis dynamiquement par la BS ou la SS. La SS n'initie un flux de service que dans le cas où un signal de connexion dynamique lui est transmis dynamiquement, comme par exemple une connexion virtuelle provenant d'un réseau ATM (SVC – Switched Virtual Connection).

L'établissement d'un flux de service est réalisé par un mécanisme d'acquittement en trois parties :

- Requête pour l'établissement d'un nouveau flux de service ;
- Réponse pour l'établissement du nouveau flux de service ;
- Acquiescement de la réponse.

En plus de l'établissement dynamique des services, le 802.16 supporte aussi la renégociation dynamique des flux de service. Comme pour les flux d'établissement de service dynamique, les renégociations se font par le biais d'un mécanisme d'acquittement en trois parties.

✓ **La sous-couche de protection des données (privacy sublayer)**

Le protocole de protection des données 802.16 est basé sur le protocole « Privacy Key Management » (PKM) provenant des spécifications du DOCSIS BPI+. Le protocole PKM a été enrichi pour convenir à la couche MAC 802.16 et pour prendre en compte les méthodes de cryptage les plus récentes et les plus puissantes, tel que l'AES (Advanced Encryption Standard).

Security Associations

PKM est construit autour du concept d'associations de sécurité (SA – Security Associations). Le SA est un ensemble de méthode de cryptage et ses clés matérielles associées (Cf *Authentication et Enregistrement de la SS*), permettant de contenir les informations concernant les algorithmes de cryptage à utiliser, quelle clé utiliser...

Fonctionnement :

Chaque SS établit au moins une SA pendant l'initialisation. Chaque connexion – à l'exception de la connexion de management basique et primaire – est affectée à une SA, aussi bien au moment de la connexion que dynamiquement pendant une opération.

Méthode de cryptographie

Actuellement le protocole PKM utilise des certificats digitaux associés à un cryptage RSA par clé publique pour les échanges de clés lors de l'authentification et

autorisation des SS. Pour crypter le trafic, on utilise le DES (Data Encryption Standard) qui utilise une clé de 56 bits.

Les messages du protocole PKM sont eux-mêmes authentifiés par le protocole HMAC (Hashed Message Authentication Code) avec en plus SHA-1.

Pour conclure, les messages des fonctions MAC vitales – comme l'initialisation de connexions – sont authentifiée par le protocole PKM.

✓ **Conclusion**

Le 802.16 a été développé pour offrir un accès large bande sans fil dans de nombreux cas de figure. Le standard certifie une inter-opérabilité des équipements, mais en laissant une certaine marge aux différents constructeurs. Ainsi, les standards sont écrits, mais l'implantation de certains algorithmes est laissée à la discrétion des constructeurs. Ainsi, les performances peuvent différer d'un équipement à l'autre. Par exemple, le profil de burst adaptable permet un contrôle très fin du trafic, et permet de gagner ou non en performance. Les constructeurs intelligents sauront optimiser cet algorithme afin d'améliorer leur matériel.

2. La norme 802.16a/b

Une décision importante a été prise au cours d'une réunion de normalisation : le mode A (transmission en mode continu) a été supprimé, seul subsiste le mode B de transmission par bursts. Elle a été prise afin de simplifier le standard et de le rendre plus cohérent. En effet, pour 802.16, la définition de l'interopérabilité est large, l'implémentation d'un seul mode parmi ceux qui sont standardisés est suffisante. Deux équipements respectant le standard n'implémentent donc pas nécessairement le même mode, ce qui pose des problèmes d'interopérabilité, mais simplifie les développements.

a) Groupe 802.16a

La projet IEE 802.16a utilise la bande des 2 à 11 Ghz. La conception de la couche physique des 2 à 11 Ghz a été guidée par le besoin d'une utilisation avec des obstacles potentiels sur le chemin des ondes radios (en anglais : NLOS – Non Line Of Sight). En prévision d'une application résidentielle du 802.16a, il a été envisagé que les toits de maisons seraient trop bas pour avoir une vue dégagée vers l'antenne de la BS, notamment à cause d'arbres. Donc, il a fallu prévoir la possibilité d'une propagation par de multiples chemins. En outre, le montage d'antenne extérieur est coûteux en raison des coûts du matériel et de l'installation.

Les spécifications du draft 3 pour le 802.16a pour l'interface radio sont :

- WirelessMAN-OFDM : utilise le multiplexage orthogonal par division de fréquence avec 256 points. L'accès se fait à l'aide de TDMA. Cette interface radio est candidate pour les bandes sans licences nécessaires.
- WirelessMAN-OFDMA : utilise les fréquences orthogonales avec multiples divisions fréquentielles avec 2048 points. Dans ce système, les accès multiples sont fournis en adressant un sous-ensemble des porteuses multiples des récepteurs individuels.

En raison des contraintes de propagations, l'utilisation de système d'antennes avancées sera supporté.

Deux formes d'ondes sont retenues: OFDM et mono-porteuse. La forme d'onde OFDM comporte elle-même 2 modes, OFDM (256 porteuses) TDMA, et OFDMA (2048 porteuses).

Les points communs entre ces formes d'onde sont :

- Un traitement par bloc avec utilisation de la FFT pour égalisation dans le domaine fréquentiel ;
- Insertion d'intervalles de garde : $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{8}$ du temps symbole ;
- Préambules ;
- Modulation adaptative 4/16/64 QAM ;

- Codage concaténé CV(7,1/2) RS, mais les options choisies diffèrent un peu pour l'instant ;
- Turbo codes en bloc: codes produits, avec pour codes constituants des codes de Hamming et codes de Hamming étendus ;
- Codage correcteur classique RS+Conv, ou optionnellement TPC ;
- Codage espace temps Alamouti optionnel ;
- Antennes adaptatives, formation de faisceaux adaptative, en option.

Les spécificités d'OFDM/OFDMA sont :

- Nombre de porteuses variable, taille de l'intervalle de garde (préfixe cyclique) variable ;
- Pour les FFT de taille 64 à 512: OFDM inspiré de IEEE802.11a ;
- Pour les FFT de taille 512 à 2048: OFDMA inspiré de DVB-T et DVB-RCT.

Les spécificités de la mono-porteuse (Single Carrier) sont :

- Egalisation dans le domaine fréquentiel (FDE), par FFT. Schéma en bloc avec intervalle de garde modulé par une séquence unique (plus ou moins répétée) ;
- Possibilité de filtre de retour pour l'égalisation (DFE).

b) Groupe 802.16b

La motivation du marché de l'industrie est plus faible que pour le 802.16a, mais le marché visé est exclusivement nord-américain.

Ce groupe a pris comme base IEEE802.11a/Hiperlan2 pour la couche physique, qui est une forme d'onde OFDM. L'OFDMA est en option. Les turbo codes convolutifs et les turbo codes produits sont en option, avec une certaine rivalité entre leurs promoteurs respectifs. Le document de base pour le travail a été accepté. Il servira de base à la rédaction du document commun avec 802.16a.

IV. PERSPECTIVES POUR 802.16

Grâce à l'explosion de l'ADSL, le haut-débit est devenu une réalité pour un nombre croissant d'internautes français. Pourtant si ce dispositif semble régner en maître sur les connexions la BLR avec les normes 802.11 et 802.16 pourrait très vite s'octroyer une place de choix au sein de l'internet large bande.

1. 802.16 : un concept large bande

a) La technologie du large bande

On associe souvent le large bande à un débit ou à un ensemble de services donnés, mais, en réalité, l'expression "large bande" correspond à un concept évolutif. Les débits d'accès à l'Internet augmentent régulièrement. On ne peut donc parler vraiment que de l'état "actuel" du large bande, et procéder à des extrapolations théoriques sur la base de l'évolution prévue ou observée, que l'avenir pourra confirmer ou infirmer.

On désigne généralement par "large bande" des connexions Internet récentes sensiblement plus rapides que les techniques de commutation actuelles, mais le terme ne correspond pas à un débit ou à un service précis. La Recommandation I.113 du Secteur de la normalisation de l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) définit le large bande comme une capacité de transmission supérieure au débit primaire du RNIS, 1,5 ou 2,0 Mbit/s.

La norme 802.16 autorisant des débits pouvant aller jusqu'à 75 Mbits/s est donc bien une connexion large bande.

Le principal intérêt du large bande réside dans la multiplication des possibilités qu'il offre aussi bien pour les applications que pour les services. La disponibilité du large bande dépend essentiellement des réseaux en place, qui eux-mêmes sont de type variable, en fonction des infrastructures héritées.

Les pays développés et les zones urbaines disposent déjà de systèmes filaires à paires torsadées ou à câbles coaxiaux. Dans les pays en développement et les zones rurales, d'autres technologies plus récentes, reposant sur les systèmes hertziens, tels que le WiMax, seront parfois plus pratiques et plus économiques.

Les connexions filaires représentent la grande majorité (plus de 98%) des connexions actuellement disponibles, mais les technologies hertziennes (WiFi) progressent rapidement grâce notamment à un prix attractif et une mise en œuvre relativement simple.

En ce qui concerne les connexions fixes, les lignes d'abonné numériques (DSL) et les câblomodems sont les plus populaires. Jusqu'en 2000, la majorité des utilisateurs du large bande utilisaient des câblomodems, qui sont encore la forme d'accès la plus populaire en Amérique du Nord. Mais, dans le monde, les lignes ADSL représentent désormais plus de la moitié des connexions (et sont particulièrement populaires en Asie et en Europe de l'Ouest).

Lorsque les connexions filaires fixes ne sont pas largement disponibles ou ne sont guère pratiques à utiliser, on observe la popularité croissante d'un certain nombre de technologies hertziennes, telles que le Wi-Fi.

b) La mise en place du large bande

Le large bande apparaît de plus en plus comme un véritable agent catalyseur du succès économique dans l'économie de l'information. De plus en plus, le succès aux communautés qui ne seraient pas les premières desservies si l'on s'en remettait simplement au jeu des forces du marché.

Un grand nombre d'entreprises différentes sont présentes sur le marché du large bande, mais, dans la majorité des Etats Membres de l'UIT, le fournisseur en position dominante est en fait l'opérateur de systèmes fixes établi, même s'il n'est pas le premier agent chronologiquement.

En France, seuls deux entreprises sont présente sur le marché du large bande hertzien : Altitel Télécom et 9 Telecom Entreprise.

A la fin 2002, 82 sur 200 pays du monde offraient déjà des services large bande commercialisés. Depuis 2000, le nombre des utilisateurs du large bande dans le monde s'est accru de 500%, le total dépasse aujourd'hui 60 millions (figure 1). Comme on peut s'y attendre, les taux de pénétration sont étroitement corrélés avec le produit national brut (PNB) par habitant, encore que la Corée fasse manifestement exception à cette tendance.

Alors que le large bande arrive sur le marché dans une période de convergence et d'évolution technique, les modèles d'offre peuvent varier considérablement. Certains utilisateurs finals établissent eux-mêmes leurs connexions par fibres optiques avec leurs fournisseurs de services Internet. En général, ces initiatives ont pour objet d'éviter les coûts élevés associés aux services évolués à grand débit proposés par les fournisseurs de large bande établis. La norme 802.16 avec des prix compétitifs se positionne ainsi en concurrent des offres large bande déjà existantes.

c) Evolution de la large bande

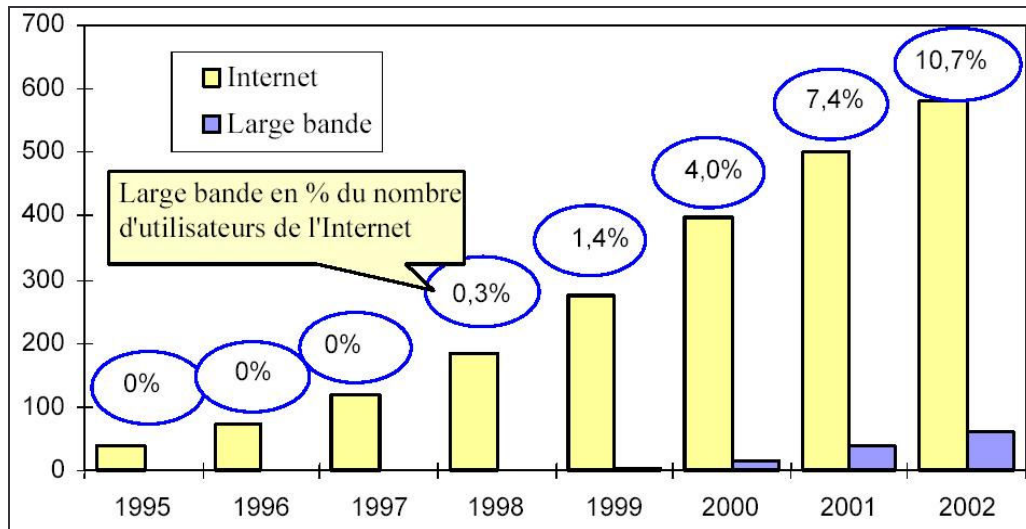


figure 1

d) pénétration de la technologie hertzienne au sein du large bande

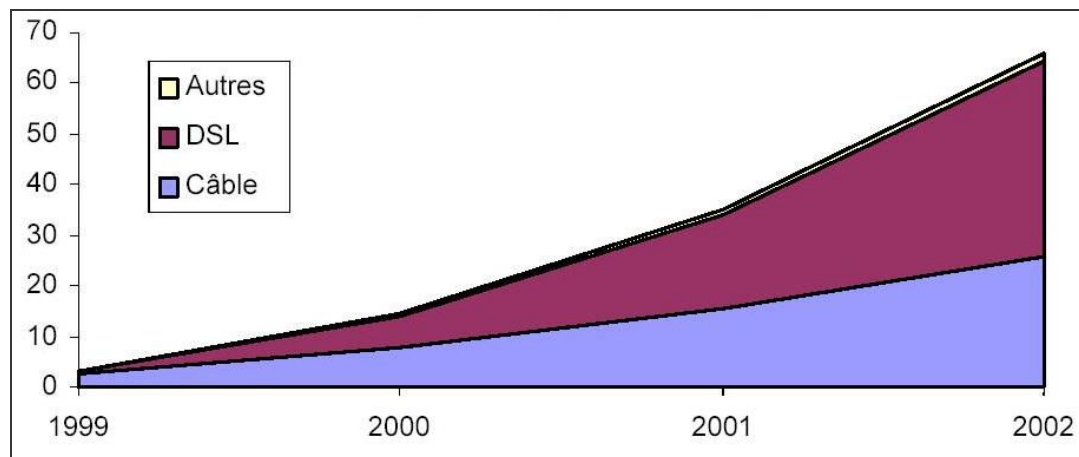


figure 2

Le large bande est l'avenir de l'Internet. Or d'après ce schéma nous voyons que les technologies hertziennes (autres) prennent de plus en plus d'importance au sein du large bande, ce qui semble prometteur.

Mais la norme 802.16 n'est pas la seule sur le marché. La principale norme aujourd'hui utilisée est la norme 802.11 aussi appelée WiFi.

En France, l'Ethernet sans fil entame la conquête de la boucle locale. L'opérateur rouennais Altitude Telecom annonce cent cinquante entreprises raccordées par cette technologie.

Les limites de débit et de distance sont repoussées. Déjà, le 802.11b, en l'état, est utilisable en télécoms. Par exemple, l'intégrateur ADW network (Lyon) vient d'interconnecter, en ville, les bâtiments de la mairie du Puy-en-Velay (43) avec des ponts Proxim à 11 Mbit/s sur 300 m.

802.16 fournit des liens de 5 km avec ligne de vue, dans la bande des 10 à 66 GHz. La largeur des canaux retenue pour l'Europe (28 MHz) autorise un débit de 132 Mbit/s.

Comparons alors la BLR avec les autres offres du marché.

2. Comparaison BLR / autres offres hauts débits

a) Comparatif technologique du débit

	BLR	ADSL	Câble
Débits ascendants	De 128 Kbits/s à 130 Mbits/s	De 16 Kbits/s à 640 Kbits/s	De 128 /s
Débits descendants	De 128 Kbits/s à 130 Mbits/s	De 1,5 Kbits/s à 9 Mbits/s	De 512 Kbits/s

figure 3

Débit ascendants : du provider vers l'abonné.

Débits descendants : de l'abonné vers le prestataire.

D'après la figure 3 nous voyons bien que la BLR offre un débit plus intéressant que le câble ou l'ADSL que se soit dans le sens ascendant ou dans le sens descendant.. Il paraît donc plus avantageux de choisir la BLR.

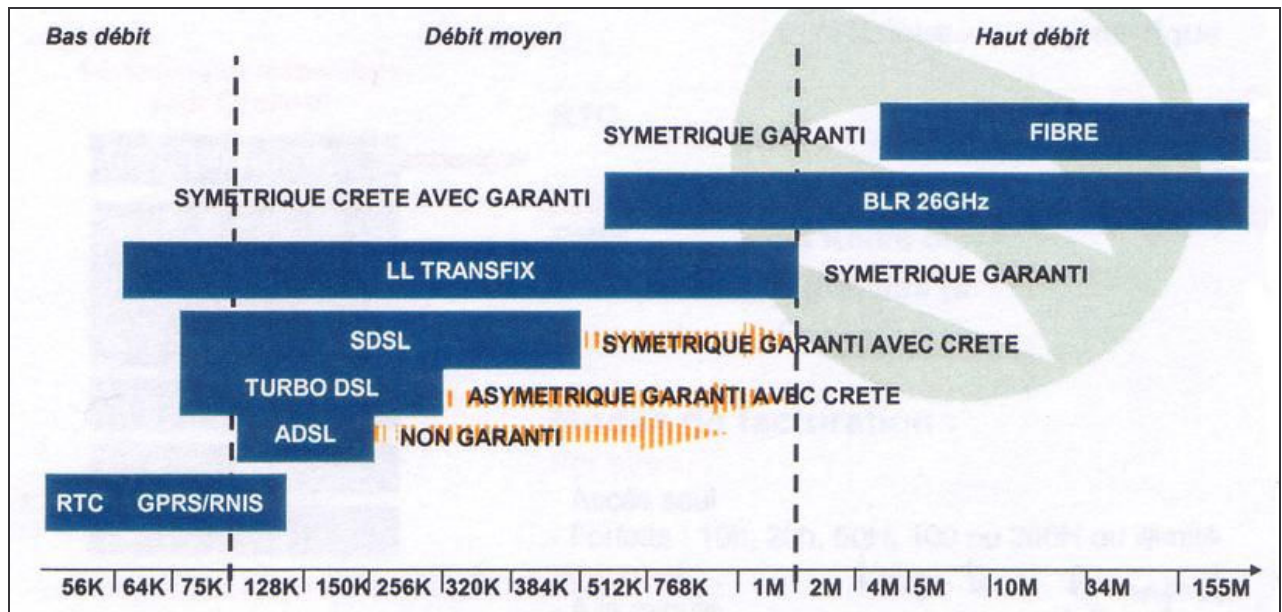


figure 4

Sur cette image nous observons que seul la fibre optique propose des débits aussi élevés que ceux de la BLR mais les technologies proposées ne sont pas les mêmes et installer un réseau de fibre optique nécessite des investissements plus importants que pour la BLR.

Ainsi si le réseau de fibre optique n'existe pas il semble plus intéressant d'opter pour la BLR.

b) Tableau récapitulatif des offres haut débit

Filaires	Débit M/bits	Portée	Notes
ADSL(G.dmt)	8	moyenne	Largeur de bande garantie avec répartiteur
ADSL(G.lit)	1,5	moyenne	Grandes distances, débit réduit
HTSL	4,6	moyenne	Symétrique, rapide
ADSL2	8	moyenne	Pas de répartiteur, ADSL améliorée
ADSL2plus	16	moyenne	Largeur de bande améliorée de l'ADSL2
VDSL	52	courte	Grand débit, faibles distances
Câble	30	longue	Rapide, partage de la capacité entre utilisateurs
Fibres	10 000	longue	Très grand débit, optique
Systèmes hertziens			
802.11b (Wi-Fi)	11	100 m	La plus populaire et la plus répandue
802.11a	54	50 m	Plus récente, plus rapide, fréquence plus élevée
802.11g	54	100 m	Rapide, rétrocompatible avec Wi-Fi
802.11e	54	ND	Permet de disposer d'une qualité de service non assurée par les systèmes A, B et G
802.16 (WiMax)	70	50 km	Qualité de service, très longue distance, réseau métropolitain
Réseau local hertzien	10	35 m	Utilisation spécialisée pour les passerelles radioélectriques
HomeRF (radiofréquence domicile)	1	50 m	Remplacée par HomeRF2
HomeRF2 (radiofréquence domicile)	10	100 m	Qualité de service, meilleur cryptage, peu répandue
HiperLAN2	54	150 m	Norme européenne, qualité de service, voix/vidéo
HiperMAN	ND	50 km	Européenne, compatible avec 802.16a
Bluetooth	1	10 m	Réseau personnel (différent des réseaux locaux hertziens)
Réseau local infrarouge	4	20 m	utilisation limitée à une pièce

figure 5

Ce tableau nous montre que seul la norme 802.11 offre des débits similaires à ceux de la norme 802.16.

Etudions donc les caractéristiques de ces deux normes pour pouvoir les comparer.

3. Comparaison 802.16 / 802.11

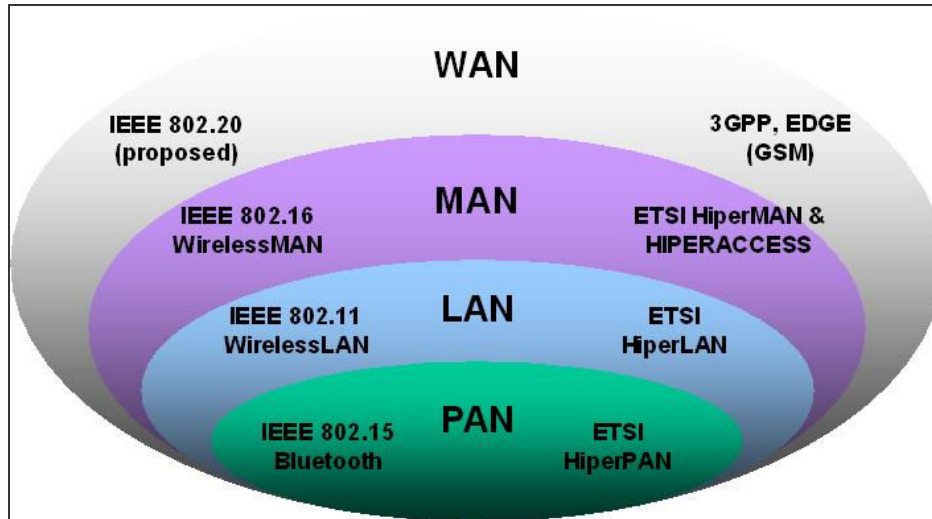


figure 6

- PAN :Personal Area Network concerne les réseaux sans fils d'une faible portée : de l'ordre de quelques dizaines mètres
- LAN :Local Area Network est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres.
- MAN :Metropolitan Area Network concerne les réseaux d'une portée de l'ordre de quelques kilomètres.
- WAN : Wireless Wide Area Network concerne les réseaux d'une portée de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres.

Cette image montre que les normes 802.11 et 802.16 n'ont pas été prévues pour les mêmes usages.

Nous allons donc nous pencher sur leurs différences.

802.11	802.16a
Sécurité : WPA + WEP	Triple-DES (128-bit) and RSA (1024-bit)
Optimisé pour l'intérieur environ 100 mètres.	Optimisé pour l'extérieur plus de 50 kilomètres..
ne garantit pas la transmission de la parole et de la vidéo.	écrit pour supporter la voie et la vidéo
QoS proposée si la priorité est activée.	QoS tout le temps.

	802.11 WFI	802.16a/HiperMAN (janvier 2003)	802.16e (mi-2004)
Portée	Hot spot avec une portée maximale de 100 m. Fonctionnement optimal à l'intérieur et sur les courtes distances.	Portée maximale de 50 km (généralement entre 7 à 10 km). Utilisation à l'extérieur avec une meilleure pénétration au travers des obstacles sur des distances plus importantes.	Portée de 2 à 5 km
Extensibilité	Utilisé pour des applications LAN avec un nombre d'utilisateurs allant de 1 à quelques dizaines. Un seul utilisateur par CPE Fréquence du canal fixe de 20 MHz	Conçu pour un nombre d'utilisateurs allant de 1 à plusieurs centaines. Plusieurs utilisateurs par CPE. Fréquence du canal flexible de 1,5 Mhz à 20 MHz.	Idem que 802.16 a, mais avec des sous-canaux.
Mobilité	Hot spot	Fixe, portable	Utilisateur nomade
Vitesse	2,7 bps/Hz, culminant à 54 Mbps avec une largeur de bande de 20 MHz.	5 bps/Hz, culminant à 100 Mbps avec une largeur de bande de 20 MHz.	Jusqu'à 5 Mbps avec une largeur de bande de 15 MHz
Qualité de service (QS)	Pas de soutien. WFI, l'Ethernet sans fil, évite la collision des messages via le protocole CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).	QS intégrée dans MAC. La communication utilise la même fréquence, mais est répartie dans le temps. (Time Division Multiple Access, TDMA) QS par l'allocation d'une largeur de bande sur demande.	

figure 7

Les deux tableaux précédents nous montrent bien que les normes 802.16 et 802.11 n'ont pas été prévues pour les mêmes usages bien que par extension la norme 802.11 essaye d'avoir des débits plus importants sur de plus longues distances.

Comparons les fréquences de ces deux normes :

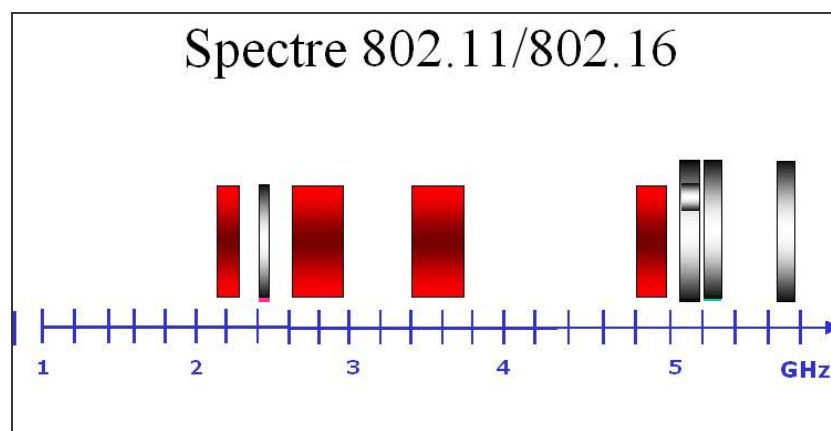


figure 8

WiMax ■
WiFi ■

Nous voyons que les fréquences ne se superposent pas.

D'après ces informations ces deux normes se complètent et cela peut se modéliser de la manière suivante :

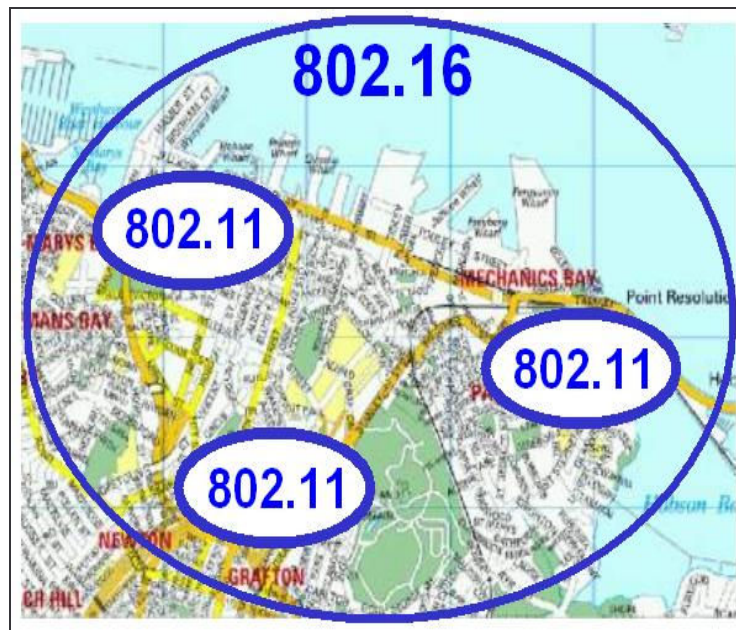


figure 9

Cette image démontre qu'il n'y a pas à priori de concurrence directe entre les normes 802.11 et 802.16 mais qu'elles sont complémentaires.

Nous allons donc essayer d'étudier les prévisions de développement de la norme 802.16.

4. Prévisions de développement

a) De nombreux projets

L'amendement 802.16a, publié en janvier 2003, étend le standard à la bande des 2 à 11 GHz. Si le débit est moins important, les distances sont supérieures, et on s'affranchit de la ligne de vue. Ce qui convient en zone résidentielle et pour les PME. En France Altitude Telecom a retenu ce type de solution avec l'offre préstandard de Wi-LAN.

Les acteurs du 802.16a multiplient les annonces. Intel y travaille avec Alvarion et Aperto. Redline Communications a présenté son commutateur AN-100 ; et Wavesat Wireless, son Asic. Airspan Networks lance ses équipements AS4030 et AS3030. L'AS4030 délivre, au choix, un débit de 45 Mbit/s, quatre lignes E1, ou une combinaison de services IP et E1 en point à multipoint à 3,5 et 5,8 GHz. Il fonctionne, avec ou sans ligne de vue, en OFDM [1] sur 50 km. L'AS3030 est la version point à point de l'AS4030.

Parallèlement, un autre ajout, le 802.16e, qui acceptera les terminaux mobiles, devrait être validé à l'été 2004. Mais, même s'il va permettre des déplacements à 100 km/h, cette norme prendra surtout en charge la mobilité réduite ou le maintien des sessions entre les bornes. Nortel Networks a défini un prototype à 20 Mbit/s qui utilise une interface aérienne OFDM et la technologie Mimo (Multiple input multiple output). Celle-ci multiplie les performances de systèmes OFDM, qu'il s'agisse de réseaux locaux ou étendus, en employant plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur.

b) La puce Wimax d'Intel

Intel va lancer au deuxième semestre 2004 une puce appelée WiMax qui sera destinée au réseau sans fil, elle sera basée sur le standard 802.16a. Cette puce va permettre d'atteindre des débits de 70 Mbits/s sur une distance de 50 Km. Le WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), association d'acteurs des télécommunications et de l'informatique, mettant en avant les standards 802.16 et le 802.20 pourrait connaître un succès important selon le cabinet d'étude ABI. D'après le rapport nommé "WiMAX / 802.16 and 802.20 New Standards Revitalizing Broadband Wireless Access", les équipements compatibles avec ces standards représenteraient un marché en 2008 de 1,5 milliards de dollars. La majorité de ces équipements n'apparaîtront sur le marché qu'en 2006. Ces deux standards de réseaux sans fils sont les évolutions des standards 802.11 baptisé WiFi. Ils bénéficient des bons auspices de Nokia et d'Intel qui souhaitent mettre en avant ce standard.

Les deux figures suivantes proviennent de l'ITU et établissent les prévisions de développement de la norme 802.16.

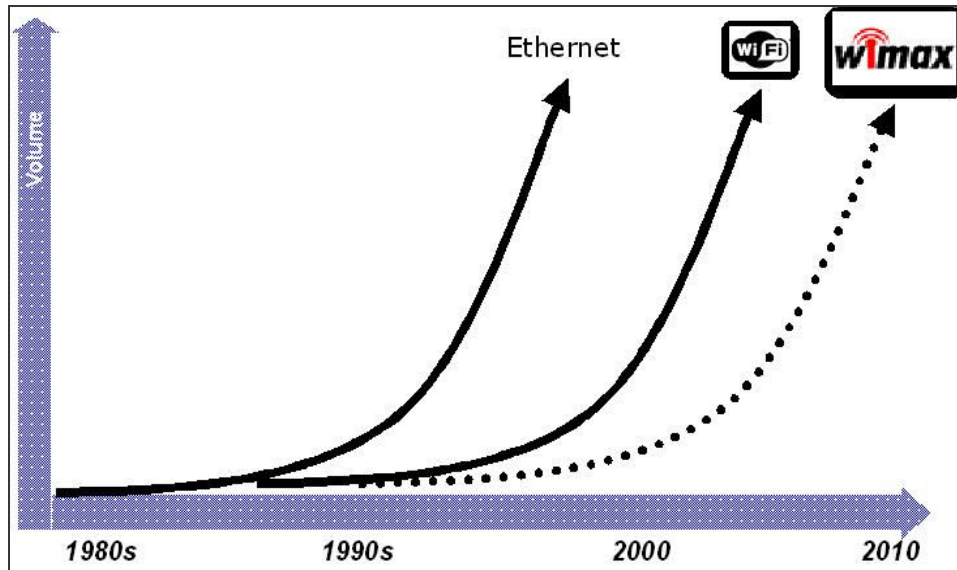


figure 10

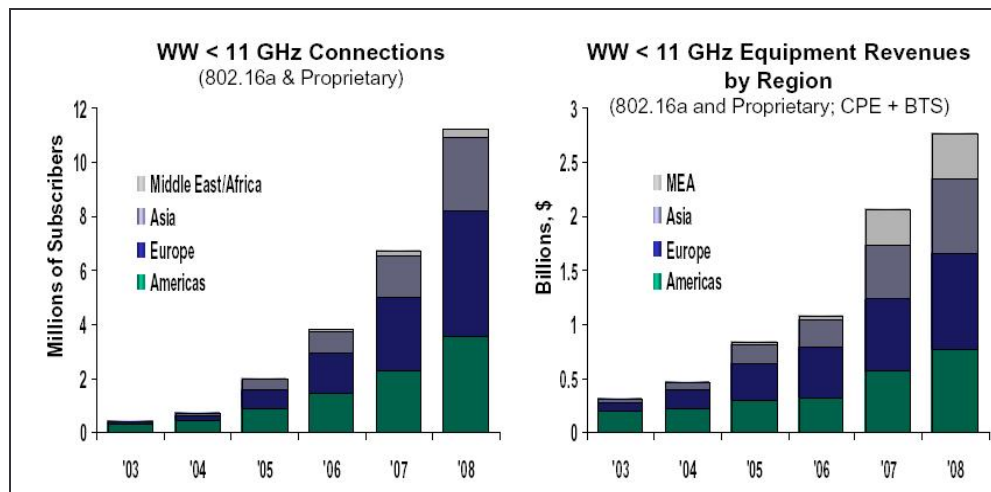


figure 11

Le réseau sans fil fait de plus en plus parler de lui, avec les débits annoncés on pourrait penser que dans un avenir proche seule l'alimentation électrique nécessitera une liaison physique.

Ainsi la norme 802.16 semble avoir de beaux jours devant elle.

V. CONCLUSION

La norme 802.16 s'appuie sur la boucle locale radio. L'ART s'efforce de développer cette technologie qui permet de concurrencer les offres déjà existantes, notamment dans les zones peu desservies, ou celle pour lesquelles lutter contre France Telecom -pour le dégroupage – est difficile.

Le 802.16 a vu son attrait relancé par le développement de la norme 802.16a dû à la création du forum WiMAX, dont Intel est un des moteurs principaux.

En comparant les différentes offres par rapport au 802.16 et au 802.16a, nous avons constaté la forte compétitivité de cette norme.

Avec la finalisation de la norme 802.16e, qui permettra la mobilité pédestre des terminaux, l'avenir du Wireless MAN 802.16 paraît prometteur.

VI. WEBOGRAPHIE

Site officiel de l'IEEE permettant l'accès aux documents de normalisation :
<http://standards.ieee.org/getieee802/>

Compte rendu de réunion de normalisation 802.16 :
http://www.sacet.com/articles/CR_ORLANDO.pdf

Groupe de travail suivi 802.16a :
http://www.sacet.com/articles/CR_Hilton_Head.pdf

Forum WiMAX :
<http://www.wimaxforum.org/home>

La Boucle Locale Radio en 7 questions :
http://solutions.journaldunet.com/0111/011102_faqblr.shtml

Les utilisations de la BLR :
http://www.telecom.gouv.fr/telecom/reg_blr3.htm

La BLR en France :
http://www.art-telecom.fr/dossiers/blr/som_blr.htm

Critiques sur la BLR :
http://www.monde-solidaire.org/article.php3?id_article=39

Consultation publique sur la BLR :
<http://www.art-telecom.fr/publications/blr/blrsom.htm>

Quelques chiffres intéressants :
http://www.zdnet.fr/techupdate/reseaux_telecoms/0,39020969,2094247,00.htm

VII. GLOSSAIRE

Burst : envoi rapide d'un flot de trame fini.

BS : Base Station, est la station de base, à savoir l'emplacement de l'opérateur.

CID : Connection Identifier est l'identifiant d'une connexion sur la couche MAC, sur 16 bits.

DHCP : Dynamic Host Configuration Protocol.

FDD : Frequency-Division-Duplexing.

QoS : Quality of Service.

PDU : Protocol Data Unit de la couche MAC.

RLC : Radio Data Control – mécanisme de contrôle du lien radio

SS : Subscriber Station, est la station cliente.

TDD : Time-Division-Duplexing.

TDM : Time Division Multiplex.

TDMA : Time-Division-Multiple-Access.

UIT : Union Internationale des Télécommunications.