

La boucle locale radio

Auteurs: *Ahmed AGARBI*
 Jaafar Es-salhi

Superviseur: *Mr. KADIONIK*

Copyright © ENSEIRB 2002

Auteurs : | A. Agarbi, J. Es-Salhi

0. Table of contents

0. TABLE OF CONTENTS	2
1. PRESENTATION	4
2. DIFFERENTS SYSTEMES DU BLR	7
2.1 LES TECHNOLOGIES <i>POINT-MULTIPOINTS</i> (PMP) BANDE ETROITE	7
2.1.1 <i>La norme DECT</i>	7
2.1.2 <i>Le PHS (Personal Handyphone System)</i>	7
2.1.3 <i>Le CT2 (Cordless Telephony)</i>	8
2.2 LES TECHNOLOGIES <i>POINT-MULTIPOINTS</i> LARGE BANDE (SYMETRIQUES, A N X 64 KB/S OU ASYMETRIQUES, A 2 MB/S EN VOIE DESCENDANTE).....	8
2.3 LE LMDS (N X 64 KBPS, 2 MB/S).....	9
2.4 LE GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE).....	9
2.5 LE DCS 1800 (DIGITAL COMMUNICATIONS SYSTEM)	10
3. LES FAISCEAUX HERTZIENS	11
3.1 ORGANISATION GENERALE	11
3.2 ARCHITECTURE POINT A MULTIPOINT	12
4. LES METHODES D'ACCES	16
4.1 FDMA	16
4.2 TDMA	16
4.3 CDMA	16
4.4 SPECTRE DE FREQUENCE	17
5. MODULATION	18
5.1 SCHEMA BLOC DE LA CHAINE DE TRANSMISSION	18
5.2 CARACTERISTIQUES DE LA TRANSMISSION.....	19
6. PROTOCOLE	21
6.1 LES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE PHYSIQUE	21
6.2 LES PROTOCOLES MAC	21
6.3 MAC " CIRCUIT " VS MAC " PAQUET "	22
6.4 LES CRITERES DE PERFORMANCE D'UN PROTOCOLE MAC	22
6.5 LA POLITIQUE DE PARTAGE DES RESSOURCES - ALGORITHMES MAC	23
6.6 LES ALGORITHMES D'ALLOCATION DES RESSOURCES.....	23
6.7 CRITERES DE PERFORMANCE GLOBALE DU MAC.....	25
7. COMPARAISON BOUCLE FILAIRE/ BOUCLE RADIO	26
7.1 ACCES A UNE RESSOURCE PARTAGEE ET NON DEDIEE.....	26
7.2 LE NIVEAU DE QUALITE	27
7.2.1 <i>La qualité des "communications"</i>	27
7.2.2 <i>La mobilité</i>	27
7.3 LE DEPLOIEMENT DE LA BOUCLE.....	29
8. CONCLUSION	30

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

9. BIBLIOGRAPHIE..... 32

1. Présentation

Historiquement, le recours à la voie radio pour le raccordement d'abonnés est presque exclusivement réservé à la desserte d'habitats isolés ou difficiles d'accès. Plus récemment, la boucle locale radio a été utilisée dans les pays à faible taux de pénétration téléphonique pour fournir rapidement et à moindre coût une infrastructure et un service téléphonique.

L'intérêt des opérateurs de télécommunications pour la boucle locale radio s'est accru de manière significative ces dernières années. Cet intérêt a été initialement dû à des considérations économiques dans les pays développés pour l'équipement des zones rurales pour lesquelles cette solution apparaissait comme la seule fiable. D'autres motivations ont, par la suite, amplifié l'intérêt pour cette technologie, principalement les besoins d'équipement des banlieues en expansion rapide dans les pays en voie de développement, et plus récemment les besoins engendrés par les nouveaux opérateurs dans les pays développés dans le contexte de la dérégulation mondiale des télécommunications.

La boucle locale radio est un nouveau moyen de communication pour les opérateurs et «providers» désirant relier leurs clients sans devoir passer par un réseau câblé appartenant à un tiers ou devant être construit.

Caractéristiques générales

L'abréviation française BLR (Boucle Locale Radio) est moins usitée que son homologue anglaise WLL (Wireless Local Loop).

Définition :

On regroupe sous l'appellation WLL les réseaux fixes fournissant un accès radio au réseau de télécommunication public.

La Boucle Locale Radio consiste à remplacer le fil de cuivre traditionnel qui relie l'abonné à son commutateur par une liaison hertzienne (liaison radio).

Avantages \ Inconvénients :

Avantages :

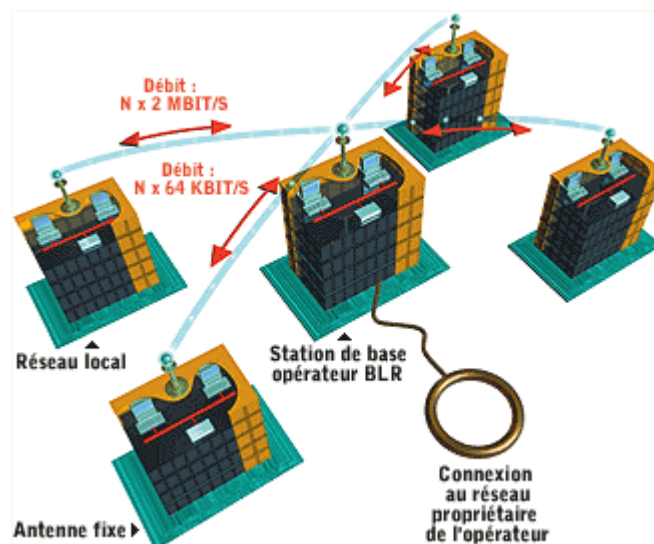
- Tout d'abord, il y a bien sûr **le coût** de mise en service. En effet, le coût d'installation du réseau et de génie civil est de 30% à 40% inférieur à celui de la téléphonie fixe. La planification du réseau est nettement plus simple que dans le cas d'un réseau filaire car il n'est pas nécessaire de connaître exactement la position des clients. Mais surtout, il est beaucoup plus facile d'étendre progressivement la capacité du réseau, il suffit pour cela d'ajouter des équipements telle que BS, BSD et antennes dans la région désirée.
- Outre son faible coût, le BLR permet un **déploiement plus rapide** sans nécessiter de gros travaux de génie civil, une grande **flexibilité** par rapport à la localisation des futurs clients, et enfin elle favorise l'aménagement du territoire.
- Ensuite, il y a l'**intérêt concurrentiel**. En effet, la boucle locale était jusqu'à maintenant entièrement détenu par l'opérateur Tunisie Télécom (cas de la Tunisie) grâce à son réseau filaire. L'utilisation de la boucle locale radio va permettre l'apparition de nouveaux opérateurs indépendants qui proposeront sûrement des services que Tunisie Télécom n'a pas pu ou voulu fournir à ses utilisateurs. Donc l'ouverture à la concurrence va diminuer le

prix de l'abonnement et des communications locales et aussi favoriser le développement de l'Internet.

- Aussi, le BLR va permettre **des débits plus élevés** que la boucle filaire car elle semble mieux adapté à la fourniture de services hauts débit. Elle permet un haut débit de 512 kbits/s (10 fois le RTC) à 2 Mbits/s (~ ADSL). Elle est donc conçue comme un vecteur de développement des services à haut débit (multimédia, nouveaux services). Ainsi, la boucle locale filaire paraît moins adaptée dans sa structure actuelle à la fourniture de services à haut débit que des réseaux déployés dans les fréquences de la gamme des micro-ondes.

Inconvénients :

- Sous certaines conditions météorologiques (forte pluie, nuages épais), les ondes radio peuvent être ralenties causant une diminution du débit du réseau de 30% à 40%.
- Les conséquences des ondes radio à haute fréquence (jusqu'à plusieurs Giga hertz) sur l'organisme prètent encore à discussion.



La boucle locale radio doit permettre aux opérateurs de télécommunications d'éviter les investissements du déploiement d'infrastructures filaires jusqu'à l'abonné. En Europe et aux Etats-Unis, le marché de la boucle locale radio est porté par l'ouverture à la concurrence du marché des télécommunications (ouverture du marché local aux Etats-Unis), qui encourage l'apparition de nouveaux opérateurs ne disposant pas de boucle locale filaire. Dans les pays émergents, de tels systèmes sont susceptibles d'accélérer le déploiement des infrastructures indispensables à l'activité économique.

Le secteur de prédilection est celui de la zone semi-urbaine à densité de population intermédiaire, en vision directe, idéalement mitoyenne de zones industrielles, pour permettre aux mêmes équipements de desservir les entreprises pendant les heures ouvrables et les particuliers le reste du temps.

Les industriels préparent dès à présent une montée en fréquence des systèmes permettant de disposer de bandes passantes plus importantes pour des services haut débit.

Les débits attendus sont mis en évidence dans l'expérimentation LMDS de Thomson à

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

Limoges, à 40 Ghz, pour l'audio-visuel et l'accès à Internet. Elle met en oeuvre des antennes fixes semi-directionnelles desservant, dans quatre directions, des cellules de 1 km de côté couvrant 3000 foyers avec un débit partagé de 50 Mbit/s dans le sens descendant et 5 Mbit/s dans le sens montant (source : Alcatel).

Pour cerner pleinement les enjeux de la boucle locale radio, nous allons donner une description des caractéristiques techniques d'un système d'ores et déjà opérationnel, mais qui subit régulièrement de profonds changements.

2. Différents systèmes du BLR

2.1 les technologies *point-multipoints* (PMP) bande étroite

Fréquences comprises entre 1,9 et 3,5 GHz.

Ces systèmes permettent de fournir le service téléphonique de base ainsi que le RNIS en accès de base.

De nombreux systèmes sont disponibles sur étagère, avec des interfaces radio normalisées à 1,9 GHz (DECT, PHS, IS-95) ou propriétaires dans plusieurs bandes de fréquences et principalement la bande des 3,5 GHz (Proximity-I de Nortel, Airspan de DSC, Multigain de Tadiran, etc.). Le marché visé est constitué de plusieurs millions de lignes résidentielles, majoritairement dans les pays en cours de rattrapage téléphonique

2.1.1 La norme DECT

La norme DECT (Digital Enhanced Cordless Télécommunications) a été élaborée par l'ETSI (European Telecommunication Standards Institute), basée sur la technologie TDMA (Time Division Multiple Access), dans le but de permettre un accès non filaire à différents types de réseaux. Cette norme concerne uniquement la définition de l'interface air entre le terminale abonnée et la station de base (BS) à laquelle il est relié. Le mode de connexion d'un système respectant la norme DECT et le Réseau Téléphonique Commuté Public (RTCP) est laissé au propre choix du fournisseur de service.

Le mode d'accès :

C'est une variante de la méthode du multiplexage temporel TDMA appelée Multiple Carrier-Time Division Multiple Access (MC-TDMA). Il existe 10 fréquences opérationnelles dans la bande des 20 Mhz, avec un espacement de 1,728 Mhz. Le débit binaire est de 1,152 Mbps, ce qui permet d'accueillir 24 slots. La technique du Time Division Duplex (TDD) est utilisée pour chaque communication bidirectionnelle, ce qui garantit une simplicité des transducteurs et crée des conditions de propagation identiques dans les deux directions de la communication.

2.1.2 Le PHS (Personal Handyphone System)

C'est le standard des japonais, qui se positionnent comme des "outsiders". Plus de 5 millions d'abonnés utilisent déjà le PHS comme un téléphone mobile de ville.

Le système PHS adopte la technologie micro-cellulaire, avec une fréquence de 1,9 GHz. Cette fréquence s'étale de 1895,15 MHz à 1917,95 MHz. La largeur de bande passante occupée par chaque canal est de 300 KHz ce qui fait 77 canaux de fréquences utilisables pour chaque cellule.

La simplicité du système (pas d'électronique complexe et une consommation en énergie modérée) permet un coût d'utilisation réduit par rapport aux systèmes cellulaires existants (environ 4 fois plus chère).

La puissance de transmission des terminaux et des stations de base utilisée pour le PHS est plus faible que pour la téléphonie numérique cellulaire. Ceci a permis de concevoir des terminaux disposant d'une plus grande autonomie (5 heures d'utilisation et 300 heures en veille). Les

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

laboratoires de NTT ont développé un circuit LSI permettant une utilisation allant jusqu'à 9 heures pour un terminal PHS.

Le rayon des cellules est compris entre 100 et 500 mètres. Cette taille réduite permet une meilleure réutilisation des fréquences et convient aux zones urbaines à forte densité de population. Le système PHS offre ainsi un grand nombre d'utilisateurs potentiels. Le hand-over est possible mais à condition que la vitesse de déplacement du terminal soit réduite (pas plus de 20 km/h).

Ceci permet aux opérateurs de réseaux cellulaires de conserver leur clientèle qui vise une utilisation de leur téléphone lors de déplacements en voiture et en train. Cependant, 40 % d'entre eux envisagent d'acquiescer un système PHS car ils estiment que c'est finalement la mobilité du terminal qui importe et non celle des personnes. L'administration et les entreprises japonaises sont très actives pour contribuer à l'adoption du PHS comme standard régional. A Hong Kong, le PHS semble déjà avoir un avenir bien assuré puisque sur l'ensemble des opérateurs présents, trois ont opté pour le standard japonais.

2.1.3 Le CT2 (Cordless Telephony)

Le standard a été préparé par le département de commerce et d'industrie anglaise et peut aussi être trouvé en tant que standard ETSI. Le CT2 est le résultat du travail de développement fait par le consortium de compagnies incluant Ferranti, Plessey, Shaye et STC. A cause du manque de coordination, la production lancée par ces entreprises est très différente.

Ils ont atteints un standard connu sous le nom de Common Air Interface (CAI). Il y avait deux standards clé pour le CT2 : le BS6833 qui définissait l'encodage de la voix entre l'appareil portatif et la station radio, et MPT 1344 qui définit les paramètres radio à un degré suffisant pour que les équipements des différents fabricants fonctionnent ensemble.

D'autre part, la technologie CT2 était déjà disponible alors que le standard européen sous la forme du DECT était seulement en projet. Le manque d'un vrai standard européen à ce moment a provoqué le fait que de nombreux acteurs européens aient adopté le CT2 pour un essai. Hutchison's Rabbit service en est un exemple.

A cause des limitations de normalisation, le CT2 permet les communications bi-directionnel quand on est chez soi mais seulement des appels sortants quand on est hors de chez soi, en effet, le changement de borne en cours de conversation (hand-over) n'est pas possible . Ceci représente le talon d'Achille de la norme CT2.

2.2 les technologies *point-multipoints* large bande (symétriques, à $n \times 64$ kb/s ou asymétriques, à 2 Mb/s en voie descendante)

Fréquences 3,5 GHz, 10,5 GHz et 26 GHz.

Avec de tels débits, la cible principale est constituée par les PMI-PME. Rares sont les systèmes aujourd'hui disponibles (Airline d'Ericsson à 10,5 GHz, DMS de Bosh Telekom à 24,5-26,5 GHz) et il n'existe pas d'interface radio normalisée. Le PMP large bande n'est commercialisé qu'en Grande Bretagne par Cable & Wireless depuis 1997 (quelques dizaines de clients) et est expérimenté par O-Tel-O en Allemagne. Cependant, la disponibilité commerciale de plusieurs systèmes point-multipoints haut débit à 3,4-3,6 GHz est annoncée pour 1998/1999.

2.3 le LMDS (n x 64 kbps, 2 Mb/s)

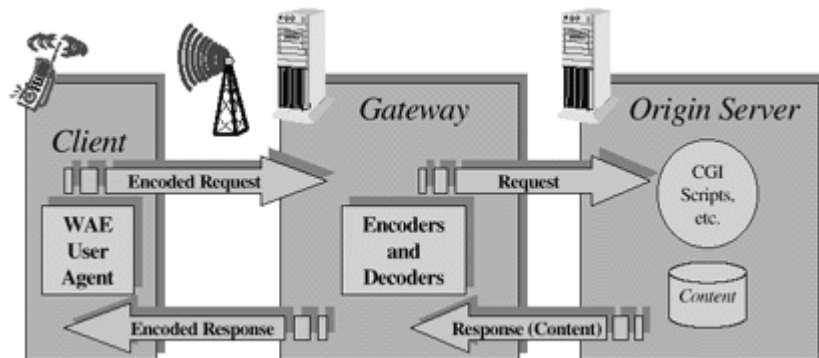
C'est est un type de système *point-multipoint* utilisant des fréquences nettement plus élevées : 28 GHz ou 40 GHz

Les services visés sont l'Internet haut débit et l'accès audiovisuel interactif. Le seul système commercial en place est celui de Cellular Vision, à New York, qui permet la distribution de la télévision analogique et un accès Internet (500 kb/s en voie descendante) ; cependant, le système est pour l'instant unidirectionnel, la voie de retour se faisant par téléphone. Les systèmes bidirectionnels sont encore généralement au stade expérimental chez les constructeurs (Alcatel/Stanford Telecom, Bosh Telecom US/Texas Instruments, Lucent/Hewlett Packard, NEC, Nortel/BNI, etc.). Cependant, dans de nombreux pays, des décisions réglementaires stimulent le développement rapide du LMDS ; c'est notamment le cas de l'appel à projets lancé par l'ART en France, de l'attribution récente de licences LMCS (variante locale du LMDS) au Canada et des enchères menées dans les bandes LMDS par la FCC aux Etats-Unis.

2.4 Le GSM (Global System for Mobile)

Boucle locale « GSM »

Cette technologie n'est pas d'actualité pour l'instant pour fournir un véritable accès à l'Internet.



Le modèle "Wireless Application Protocol"

Wireless Application Protocol (WAP) définit la passerelle entre Internet et le transport de mini-messages (SMS, Small Message System) du GSM qu'utilisent des **applications** d'affichage (en DHTML) sur l'écran des téléphones mobiles.

Le modèle résolument téléphonique du réseau et son dimensionnement pénalisent la transmission de données qui est restreinte au mieux à SMS et ne permettent pas pour l'instant de tirer parti de son adéquation à la mobilité.

A l'heure actuelle, en Grande-Bretagne, les mini-messages représentent 75% du trafic données GSM. Ces mini-messages sont acheminés au rythme de cent-mille par heure en Allemagne à ce jour. Nokia prévoit 20 à 30% de revenus GSM générés par les données, entre 2001 et 2005. Le débit en mode données est actuellement limité entre 9.6 kbit/s et 14.4 Kbit/s.

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

Des travaux sont en cours (GPRS puis EDGE et UMTS) pour porter les débits à 384 Kbit/s et 2 Mbit/s selon la taille de la cellule, à l'horizon 2002 - 2008.

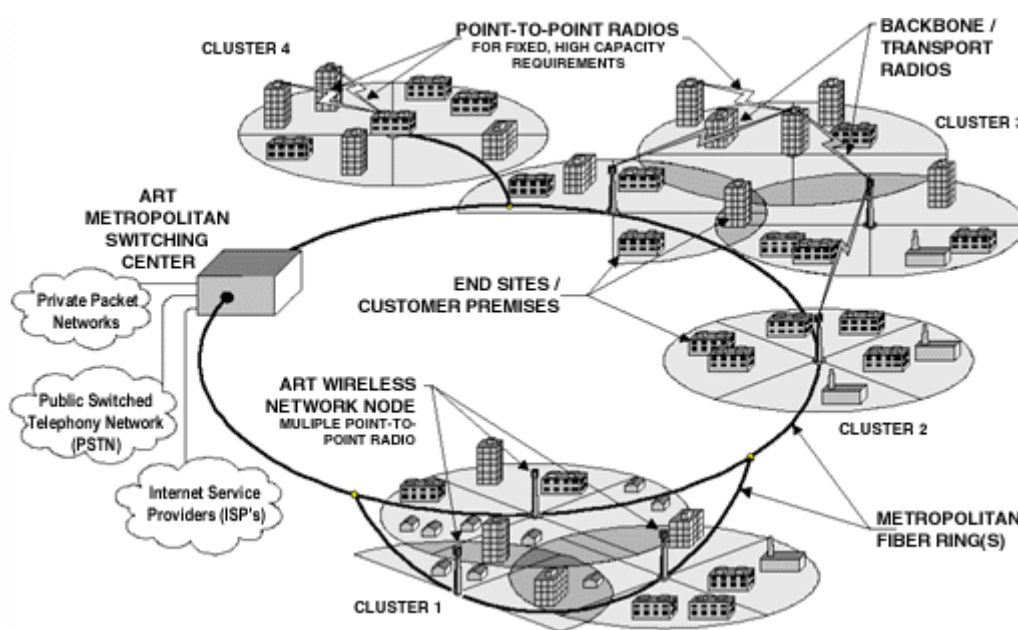
Des premières applications couplent l'assistant personnel (PDA, Personal Digital Assistant) et GSM pour localiser les ressources urbaines ou encore GSM et carte à puce comme terminal de certification pour du commerce électronique.

2.5 Le DCS 1800 (Digital Communications System)

Si les fréquences élevées utilisées n'autorisent pas les portées du GSM, le nombre de 374 porteuses permettra un trafic plus élevé que le GSM : ce sera la norme adoptée pour les centres urbains denses à fort trafic. Pour les zones rurales, cette norme n'est pas adaptée.

3. Les faisceaux hertziens

3.1 Organisation générale



La boucle locale radio (BLR) est une technologie permettant aux opérateurs de raccorder directement par voie hertzienne les clients à leur réseau.

Le déploiement d'une boucle locale radio s'effectue de la manière suivante :

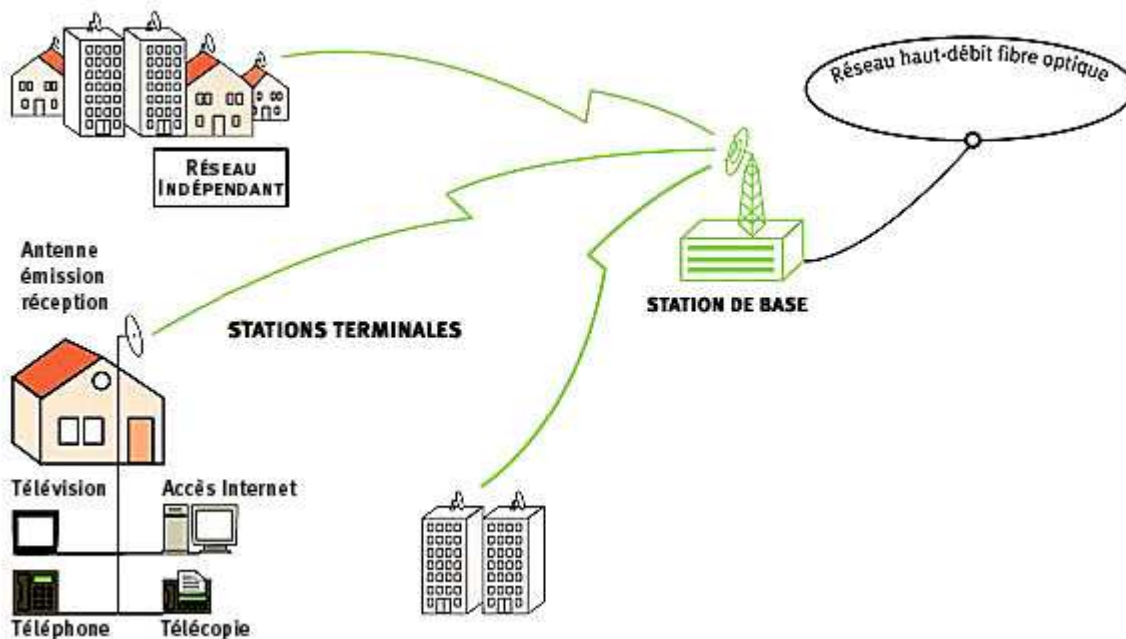
L'opérateur pose tout d'abord une antenne principale appelée station de base. Cette antenne constitue le point central du réseau auquel viennent se raccorder tous les clients situés dans un rayon de 5 à 10 km.

Elle constitue également le point de sortie vers les réseaux publics au travers d'un réseau à haut-débit.

Coté client, l'opérateur doit installer une petite antenne appelée station terminale.

Les débits par client varient de quelques kilobits par seconde (téléphone, fax, accès internet à bas débit) à plusieurs mégabits par seconde (internet à haut-débit, liaisons spécialisées, connexion de PABX).

3.2 Architecture point à multipoint



Station terminale (TS) : côté abonnés

Elle comprend quatre parties distinctes (cf schéma)

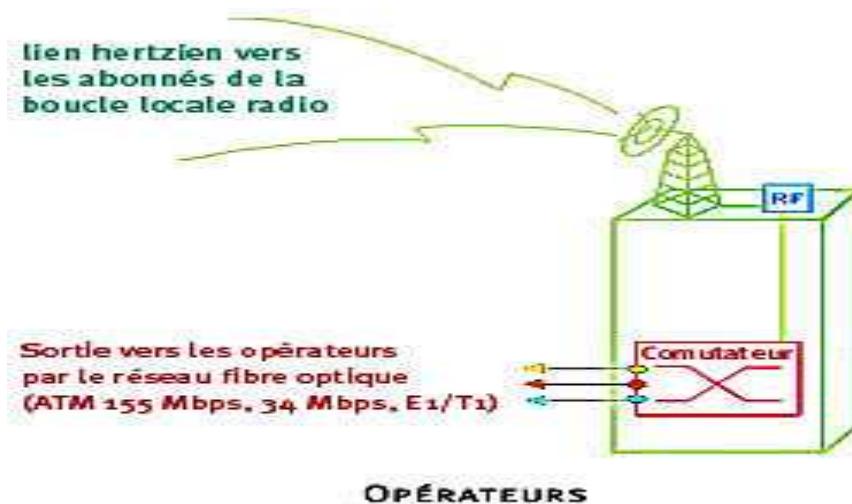
- Une antenne sectorielle ou omnidirectionnelle, d'une surface d'environ 20x20cm située à l'extérieur du bâtiment et positionnée en vue directe de l'antenne de la station de base
- Un module de transmission radio (RF) assurant la modulation et la démodulation des signaux. Ce boîtier est également placé en extérieur, à proximité de l'antenne.
- Un multiplexeur (MUX) permettant de combiner les données des différents clients situés dans le bâtiment. Il est placé à l'intérieur du bâtiment et relié au modem par un câble coaxial.
- Un terminal d'abonné (TA) situé chez chaque client. Il effectue la conversion des différents types d'accès en fonction de l'abonnement que le client a souscrit (RTC, RNIS, E1/T1, fractional E1/T1, 10BT).



Station de base (BS) : côté opérateurs

Elle comprend les modules suivants :

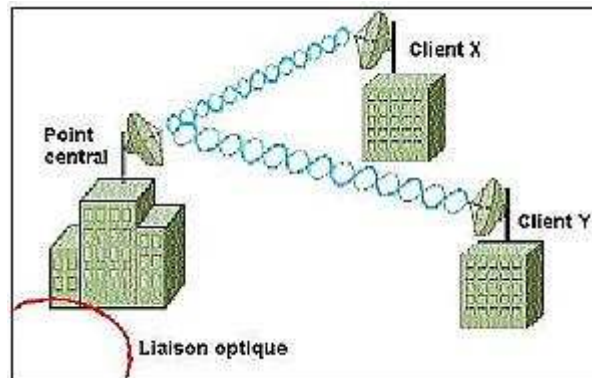
- Une antenne omnidirectionnelle ou plusieurs antennes sectorielles, ce qui permet de découper la zone de couverture en secteurs. On peut par exemple prendre 4 antennes sectorielles de 90°.
- Un ou plusieurs modules de transmission radio (RF) assurant la modulation et la démodulation des signaux hertziens.
- Un commutateur assurant le lien entre les abonnés de la boucle locale radio et les sorties opérateur.



Contrairement à la solution sans fil basée sur la norme 802.11 qui permet de relier différents ordinateurs répartis dans un bâtiment sans que ceux-ci soient à vue du point central, la solution de

la boucle locale consiste à ce que chaque point interconnecté soit à vue du système central, ce qui pose un problème dans les villes et les régions montagneuses.

Pour pallier ce problème, les opérateurs de boucle locale sans fil vont devoir installer un nombre assez important de points centraux afin d'être en ligne directe avec un maximum de bâtiments où se trouveront leurs clients.



La technologie de la boucle locale dite de réseau fixe, bien qu'à base terrestre est assez proche d'une solution par satellite. Trois éléments de base permettent d'interconnecter un à plusieurs clients.

La station de base

Elle sert de point d'interconnexion entre les liaisons sans fil vers les clients et le réseau de l'opérateur. Elle comprend notamment les modems fréquentiels, le système de contrôle et la commutation des différents trafics allant ou provenant des clients. Cette installation est située dans chaque bâtiment où l'opérateur désire créer un point de présence hertzien.

Les équipements extérieurs

Ils sont appelés ODU (Outdoor Unit) comprennent la partie radio du système de transmission. Du côté de l'opérateur, cette partie peut être composée de plusieurs antennes dirigées dans la même direction ou dans différentes directions en créant une ou plusieurs cellules fréquentielles. Chaque cellule fréquentielle peut contenir une ou plusieurs interconnexions clients, dépendant de la manière d'utiliser le spectre à disposition. Du côté du client, une parabole extérieure est nécessaire. Celle-ci est alimentée électriquement au travers du câble coaxial utilisé pour transmettre les données entre la parabole et l'équipement du client.

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

4. Les méthodes d'accès

Deux techniques sont principalement utilisées dans le cadre de la boucle locale, il s'agit du mode TDMA (Time Division Multiple Access) et du mode FDMA (Frequency Division Multiple Access). L'utilisation de ces deux modes va dépendre principalement des applications .

4.1 FDMA

L'accès multiple à répartition dans les fréquences (FDMA) est la méthode la plus ancienne, elle a été utilisée en analogique. Son but est de faire véhiculer un appel unique dans un seul sens par l'intermédiaire de canaux dans un seul sens. Cette méthode permet une transmission continue, elle n'a besoin que d'une faible entête. En fonction des besoins de signalisation un ou plusieurs canaux de contrôle sont utilisés. Cette méthode ne nécessite pas la complexité des mobiles, mais demande un coût d'équipement fixe élevé (nécessité d'utiliser un duplexeur).

4.2 TDMA

L'accès multiple à répartition dans le temps (TDMA) est la première alternative au FDMA, elle a été mise en œuvre dans les systèmes numériques. Elle permet de transmettre des débits d'information plus importants que le FDMA. La porteuse (canal de fréquence donnée) est partagée en N intervalles de temps (IT) ou time slots (slots).

En théorie N terminaux pourraient utiliser ces slots (un chacun). Mais en pratique le nombre de slots par porteuse est choisi en fonction de plusieurs facteurs, tel que la technique de modulation, la bande de fréquence disponible.

Une troisième technique, le CDMA, est en cours d'implantation .

4.3 CDMA

Le CDMA, qui est actuellement employé dans de nombreux systèmes de communication, permet à un grand nombre d'utilisateurs d'utiliser la même onde porteuse sans interférer les uns les autres. Il consiste à répartir l'information radioélectrique émise sur une bande de fréquences plus large que celle réellement nécessaire à la transmission du signal utile. Ce dernier apparaît alors comme un bruit et sa densité spectrale est constante sur l'intégralité de la bande occupée. On trouve deux techniques principales, celle de répartition par séquence directe (*Direct Sequence*) et celle par saut de fréquence (*Frequency Hopping*).

Il s'agit de multiplier au sens mathématiques du terme (OU exclusif) chaque bit à transmettre par un code pseudo-aléatoire PN (*Pseudo random Noise code*) propre à chaque utilisateur. La séquence du code (constituée de N éléments appelés "chips") est unique pour un utilisateur donné, et constitue la clef de codage ; elle est conservée si le symbole de donnée valait 1,

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

inversée sinon. On appelle facteur d'étalement SF (*Spreading Factor*) la longueur L du code. Si chaque symbole a une durée T_b , on a 1 chip toutes les T_b/N secondes. Le nouveau signal modulé a un débit N fois plus grand que le signal initialement envoyé par l'utilisateur et utilisera donc une bande de fréquences N fois plus étendue.

4.4 Spectre de fréquence

Un large spectre

Dans un réseau hertzien, la gestion des fréquences est primordiale si l'on ne désire pas se retrouver confronté à des problèmes de perturbation. Afin de pallier cela, l'Ofcom, en vendant ses licences par blocs de fréquences, a également prévu un étalement suffisamment large pour garantir un espace hertzien entre chaque fréquence allouée à l'un ou l'autre des opérateurs. Chaque bloc étant composé d'une largeur de bande de 28 MHz ou d'un multiple de 28 MHz, l'espace entre chaque concession est également de 28 MHz. Ce qui représente un spectre de fréquences s'étalant entre 24'549 MHz et 25'025 MHz pour la voie descendante (allant chez le client) et entre 25'557 MHz et 26'033 MHz pour la voie montante (allant du client au site central). De plus, l'espace entre la fréquence descendante et la fréquence montante d'un même lien est de 1'008 MHz.

Bien que les ondes hertziennes soient de type directionnel (écart de quelques degrés), la distance maximale entre deux points de la boucle locale est de l'ordre de 2 à 5 km, cela dépendant de la taille de la parabole du client et des conditions climatiques. Par contre, en ce qui concerne les faisceaux hertziens à vue se trouvant généralement sur les toits des bâtiments, la propagation des ondes ne crée pas une perturbation électromagnétique supplémentaire.

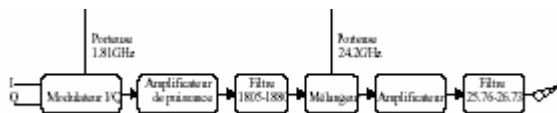
5. Modulation

La capacité en bande passante de chaque opérateur va dépendre du type de modulation que celui-ci utilisera au niveau de son matériel. Les modulations les plus fréquentes sont QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) et QAM (Quadrature Amplitude Modulation), ce qui permet au minimum une bande passante de 16 Mbps par bloc de 14 MHz pouvant représenter une cellule composée d'un ou de plusieurs clients.

5.1 Schéma bloc de la chaîne de transmission

Les figures représentent les schémas des parties émettrice et réceptrice de la chaîne de transmission. La partie émettrice est formée des éléments suivants:

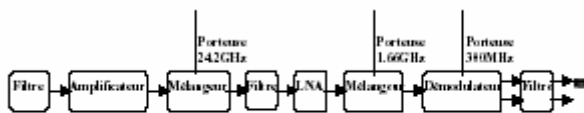
- Un modulateur IQ monolithique intégré capable de réaliser les modulations universelles directes pour les hautes fréquences. La porteuse utilisée est un signal de fréquence 1810MHz. Les signaux modulateurs I & Q sont des trains binaires délivrés par un générateur de signaux.
- Un amplificateur de puissance, assurant un contrôle de puissance jusqu'à 65dB, tout en fonctionnant dans une zone proche de la classe C.
- Un filtre passe-bande, défini par une bande passante entre 1805 et 1880MHz, et une perte d'insertion de 1.6dB.
- Un mélangeur excité par un oscillateur local de fréquence 24.2GHz.
- Un amplificateur de gain 32dB, de facteur de bruit de 3.5dB.
- Un filtre passe-bande, défini par une bande passante entre 25.76-26.23GHz, il sert également de filtre de réjection de la bande image 21.89-22.25GHz.



La partie réceptrice est formée des éléments suivants:

- Un filtre passe-bande, défini par une bande passante entre 25.76-26.23GHz.
- Un amplificateur de facteur de bruit de 4dB, et de gain 40dB.
- Un mélangeur subharmonique, excité par un oscillateur local de fréquence 12.03GHz. Le mélangeur utilise la deuxième harmonique à 24.06GHz, délivrée par l'oscillateur pour donner un signal modulé à 1.81GHz à la sortie.
- Un filtre passe-bande, défini par une bande passante entre 1805 et 1880MHz, et une perte d'insertion de 1.6dB.
- Un récepteur UHF monolithique intégré, contenant un amplificateur à faible bruit (LNA), un autre amplificateur RF, un mélangeur AsGa FET à double grille excité par un signal de fréquence 1.66GHz, et un amplificateur IF. A la sortie, on a un signal modulé de fréquence intermédiaire :

$$FIF = 1810 - 1660 = 150 \text{ MHz.}$$
- Un démodulateur IQ conçu pour la section de réception des applications des PCS et des cellulaires.
- Un filtre passe bas de Sallen & Key, de second ordre de fréquence de coupure $f_s = 300$ KHz.



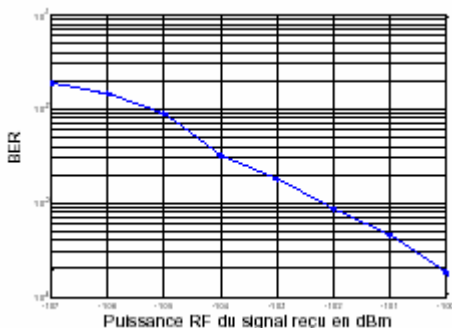
5.2 Caractéristiques de la transmission

Un signal formé par une séquence binaire pseudo aléatoire PN9, avec un débit de 100 Kilo symboles par seconde, et modulé avec une modulation BPSK est appliqué à l'entrée de la chaîne. A l'émission, on vérifie le spectre d'une modulation BPSK, centré sur la fréquence RF=26GHz, et dont la largeur de chaque lobe secondaire est égale au débit binaire de 100ksp/s. A la réception, on applique un traitement numérique aux signaux I & Q, et on détermine le taux d'erreur binaire ainsi que la sensibilité du récepteur.

Caractéristiques du récepteur à 1.81GHz

Le taux d'erreur binaire, ou BER (Binary Error Rate), est le rapport entre le nombre d'erreurs commises lors d'une transmission numérique et le nombre total de bits transmis.

La figure représente la variation du BER en fonction de la puissance à l'entrée du récepteur.



BER en fonction de PRF

La sensibilité du récepteur est déterminée pour un taux d'erreur binaire de 10^{-3} , elle est donc de : -102dBm.

Cette valeur est cohérente avec la sensibilité définie par les normes DCS 1800.

Caractéristiques du récepteur à 26GHz

Pour une transmission à 26GHz, on détermine un taux d'erreur binaire de 10^{-4} , pour un signal de puissance égale à -65dBm, appliqué à l'entrée de la partie réceptrice.

La capacité en bande passante de chaque opérateur va également dépendre du type de modulation que celui-ci utilisera au niveau de son matériel. Les modulations les plus fréquentes sont QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) et QAM (Quadrature Amplitude Modulation), ce qui

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

permet au minimum une bande passante de 16 Mbps par bloc de 14 MHz pouvant représenter une cellule composée d'un ou de plusieurs clients.

6. Protocole

Mécanismes de partage des ressources - protocole MAC

On identifie deux niveaux de mécanismes de partage des ressources :

- Le niveau physique
- Le niveau logique (inclu dans la couche MAC)

6.1 Les techniques de multiplexage physique

Au niveau physique, on trouve les techniques de multiplexage et d'accès multiples, qui peuvent opérer en fréquence (FDMA), en temps (TDM/TDMA) ou en code (CDMA), ou encore en combinaison de plusieurs techniques.

Bien que très important pour la performance de la transmission, le niveau physique du partage de ressources a peu d'impact sur les couches hautes (en dehors des aspects temporels liés au TDM/TDMA déjà évoqués plus haut).

6.2 Les protocoles MAC

Au niveau logique, on trouve le protocole d'accès multiple de la couche MAC (dit "protocole MAC"), qui supporte la gestion des accès au support partagé, en fonction des besoins de chaque usager.

Les protocoles MAC sont assez différents selon les systèmes, mais présentent des caractéristiques communes liées au mode de transmission radio :

- Dans le sens "réseau vers stations", l'émetteur est unique. Il n'y a pas accès multiple au support, mais simplement multiplexage de sessions à destination de plusieurs usagers. Le multiplexage peut être fixe (allocation d'une fréquence, d'un intervalle de temps ou d'un code CDM), ou dynamique, diffusion physique de paquets adressés aux usagers, chacun retrouvant ses paquets grâce à l'adresse comme en Ethernet.
- Dans le sens "usager vers réseau", le problème est plus critique car les nombreux usagers agissent de façon asynchrone entre eux, et peuvent vouloir accéder en même temps aux ressources. Contrairement aux supports filaires de type Ethernet, les réseaux radio préfèrent éviter les collisions plutôt que les détecter et retransmettre (on souhaite optimiser l'usage de la bande passante, et le réseau est supposé toujours très chargé. De plus, les terminaux ne sont pas toujours capables de s'écouter pendant la transmission). De façon générale, le mécanisme consiste à faire gérer les ressources par le réseau qui les alloue en propre aux usagers demandeurs. Le problème revient alors à gérer l'asynchronisme des requêtes, qui doivent être

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

transmises des terminaux vers le réseau, et à faire connaître aux usagers les ressources qui leur ont été allouées.

Trois techniques peuvent être utilisées pour la transmission des requêtes :

- Le polling périodique : le réseau demande périodiquement à chaque usager s'il souhaite des ressources pour transmettre,
- Le cycle pré-défini de signalisation. Chaque terminal connaît par configuration sa ressource périodique,
- L'ALOHA (Université d'Hawaï). Les usagers accèdent de façon spontanée à un canal commun pour demander leurs ressources. Il y a alors risque de collision et il faut pouvoir détecter les pertes de requête pour les ré-émettre un peu plus tard.

6.3 MAC " Circuit " vs MAC " Paquet "

Dans les systèmes classiques destinés au trafic téléphonique ou à la transmission de données en mode circuit, on trouve couramment des protocoles MAC " circuit " : l'utilisateur désireux de générer du trafic se voit allouer une ressource en propre (fréquence ou intervalle de temps, ou encore code CDMA selon la technologie de transmission) qu'il utilise à sa guise pendant sa connexion. Ces méthodes sont encore les plus répandues de nos jours, car simples et assez bien adaptées au trafic de type téléphonique.

L'avènement du multimédia généralise des flux beaucoup plus sporadiques, avec des bouffées de trafic suivies de silences ou des paquets isolés (clics de souris). Elle généralise (ou généralisera) également la notion de flux plus ou moins prioritaires venant du même usager, qui peut successivement ou simultanément invoquer une session de " web surfing " peu contrainte et une session de " voix sur IP " aux contraintes temporelles plus strictes. Pour gérer efficacement ces types de service pour un grand nombre d'utilisateurs, il faut exploiter la répartition statistique de l'activité en trafic, et donc découper les sessions en paquets, auxquels on affecte des ressources ponctuelles. On parle alors de protocole MAC " Paquet ".

Il n'est pas douteux que le succès des réseaux d'accès radio multimédia à ressources partagées sera lié en grande partie à l'efficacité de leur protocole MAC et que ce protocole sera de type " paquet ".

6.4 Les critères de performance d'un protocole MAC

L'efficacité du protocole MAC se mesure à la finesse de l'allocation de ressource, au temps de boucle du protocole (retard entre la demande de ressource et l'instant de transmission sur la ressource allouée) et à l'efficacité de la gestion des collisions des requêtes en mode ALOHA.

En effet, on constate que le protocole MAC démultiplie les temps de transmission physique usager vers réseau par un facteur deux ou trois au minimum puisque la transmission n'est possible qu'après un cycle " requête-allocation " (cette évaluation tient compte de l'utilisation de divers artifices comme le " piggybacking " qui permettent de limiter ce retard).

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

Un bon protocole MAC est nécessaire à une gestion efficace des ressources, mais il est loin d'être suffisant. On verra au paragraphe suivant que la politique d'allocation des ressources, dont le protocole est un outil, est également impliquée.

6.5 La politique de partage des ressources - Algorithmes MAC

On a vu au paragraphe précédent l'importance du protocole MAC pour les réseaux d'accès à ressources partagées.

Il existe une autre partie de la couche MAC au moins aussi importante (et sans doute davantage), qui est la politique d'allocation des ressources.

En effet, même si l'on suppose que l'on dispose du protocole MAC idéal, capable d'acheminer au mieux les requêtes des terminaux vers le réseau tout comme de notifier les affectations de ressources aux terminaux, il reste à gérer l'allocation des ressources disponibles entre les usagers, dont les demandes cumulées excéderont souvent les capacités instantanées du réseau.

Il faut alors ordonnancer les droits d'accès, paquet par paquet, de façon à utiliser au mieux les ressources disponibles tout en respectant certaines contraintes sur la qualité des services d'utilisateur.

Cet ordonnancement doit être réalisé dans le sens réseau vers usager (ordonnancement du multiplex) comme dans le sens usager vers réseau (gestion des requêtes pour l'attribution des droits d'émission aux usagers).

6.6 Les algorithmes d'allocation des ressources

Afin de gérer correctement ces ordonnancements, les algorithmes d'allocation de la couche MAC doivent intégrer divers aspects techniques :

- Classification des flux en fonction des classes de service (il faut être capable d'identifier ces classes de service, soit par une signalisation type ATM, soit par le contrat de service de l'utilisateur, soit par des informations portées par le trafic, etc.). Il s'agit de classer les paquets (et les requêtes) en fonction de paramètres liés soit à l'utilisateur, soit au flux de trafic. Dans le cas de services en mode connecté, cette classification est directement dérivée de la signalisation d'appel (cas de l'ATM par exemple). Dans le cas des flux non connectés comme pour IP, cette capacité peut exiger du MAC une connaissance du service acheminé (pour traiter les champs adresses ou les éléments " DiffServ " d'IP par exemple) on parle alors d'un MAC " Service aware ". On peut même envisager des MAC " Application aware " qui analysent des éléments des données IP pour identifier la classe de service à mettre en œuvre (identification des protocoles de niveau supérieur TCP/UDP, ports logiques, etc.).
- Gestion des priorités entre flux. Il s'agit d'ordonnancer les allocations de ressources en fonction de la classe des flux ou des requêtes. Selon la politique de hiérarchisation, on peut privilégier une stricte prédominance de certains flux (priorité stricte au temps réel par exemple), ou au contraire

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

une répartition plus ou moins équilibrée des ressources entre les flux (WFQ - Weighted Fair Queuing).

- Gestion des caractéristiques temps réel : en plus de la gestion des priorités, un MAC intelligent cherchera à anticiper les demandes de ressources pour les flux sensibles aux retards de transmission comme les classes CBR ATM ou les flux de VoIP. En effet, quelle que soit la performance du protocole MAC, le cycle " demande de ressource - allocation de ressource " est toujours long, alors que le réseau peut dans certains cas savoir quel est le débit constant du flux, et lui allouer par avance les ressources nécessaires. Les informations de débit peuvent être récupérées via la signalisation d'appel (ATM), via le contrat d'usager, via une signalisation de réservation (RSVP) ou encore par observation des flux.
- Gestion des congestions dans un flux (politiques d'écartement intelligent comme le PPD - Partial Packet Discard ou l'EPD - Early Packet Discard). La saturation des files d'attente des flux les moins prioritaires est inévitable dans un réseau qui est par nature sur-utilisé en cas de pointes de trafic simultanées. Dans ce cas, l'écartement de certains paquets doit être réalisé, et la façon de gérer les congestions pèse très significativement sur les dégradations imposées aux flux concernés. L'expérience des commutateurs ATM a montré l'intérêt des politiques d'écartement qui visent à travailler par " bloc de paquets " plutôt que par paquets individuels. On identifie classiquement deux méthodes (non exclusives) : l'EPD et le PPD, toutes deux basées sur le fait que les paquets appartiennent en général à un bloc de couche supérieure, et que la couche MAC peut avoir connaissance des frontières de ce bloc.
- L'EPD consiste à anticiper la congestion sur un flux, et à décider que l'on écartera le prochain bloc entier de ce flux. On laisse donc passer la fin du bloc courant, puis on écarte tous les paquets jusqu'à la fin du bloc suivant. On continue ainsi jusqu'à disparition des conditions de congestion.
- Le PPD est mis en œuvre lorsque l'on est obligé d'écartier un paquet d'un bloc accepté (soit parce que l'on n'a pas pu anticiper la congestion, soit parce que la mesure d'EPD n'a pas été assez énergique). Il s'agit alors d'écartier systématiquement tous les autres paquets du bloc, en espérant que cela dispensera d'écartier un paquet d'un autre bloc non encore impacté.

Toutes ces méthodes supposent que le MAC ait connaissance des frontières de blocs (trames LLC par exemple), comme cela est possible en ATM sur les flux AAL5 grâce au positionnement du bit PTY dans l'en-tête des cellules.

Les algorithmes d'allocation doivent également tenir compte des aspects plus " stratégiques " des politiques d'opérateurs. En effet, le MAC gère au mieux les ressources disponibles face à des flux de trafic, mais ne contrôle pas l'établissement de ces flux. Ce contrôle est du ressort des fonctions " CAC " (Call Acceptance Control) réalisées par les couches supérieures. Or la politique d'accès est directement liée au positionnement commercial de l'opérateur :

- Un opérateur de type " platinum " fera payer cher un service de grande qualité pour un nombre restreint d'utilisateurs exigeants : il limitera l'accès simultané des utilisateurs à un faible taux de sur-utilisation des ressources, et le MAC aura peu de congestions à gérer. Au contraire, il devra mettre l'accent sur le " typage " des classes de service, et sur les performances intrinsèques (retard, gigue).
- Un opérateur de type " best effort " pour le grand public mettra au contraire sur des faibles prix de vente, mais sur un grand nombre d'utilisateurs auquel il délivrera " le meilleur service possible " : le CAC autorisera une large sur-utilisation des ressources, comptant sur l'effet statistique (et sur le MAC) pour lisser la charge. Il faut alors un MAC très performant en terme de gestion des congestions (quelque soit l'effet sur les flux individuels, il ne faut pas que la gestion des

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

congestions aboutisse à une sous-utilisation globale de la bande passante car on aurait alors un écroulement du réseau).

6.7 Critères de performance globale du MAC

La performance globale du MAC se mesure selon deux critères, dont l'importance relative est appréciée par l'opérateur du réseau :

- Du point de vue du service d'utilisateur, et selon la classe de service souscrite, quelle est la qualité de service offerte par le réseau (retards induits, gigue, taux de pertes de paquets) ?
- Du point de vue global, quel est le taux d'utilisation des ressources disponibles, en fonction de la politique de sur-utilisation de ces ressources ?

Dans tous les cas, l'algorithme d'allocation amplifie des effets de retard, et surtout de gigue sur les paquets transmis, puisque c'est lui qui gère la congestion des paquets de trafic devant le goulot d'étranglement que constitue la ressource radio.

Dans le pire des cas, la gestion des congestions provoque l'écartement de paquets, et donc un accroissement du taux d'erreurs.

Quelle que soit la performance en transmission du réseau radio, la couche MAC introduit un effet multiplicateur en terme de retard et de gigue, voire de taux d'erreurs, dont l'ampleur dépend de la charge du réseau, mais qui est toujours très significatif pour le service d'utilisateur.

La qualité des algorithmes d'allocation détermine également le " rendement " du système, c'est à dire le taux d'utilisation de la bande passante disponible.

Il n'est pas excessif d'affirmer que la couche MAC est l'élément le plus critique dans la performance d'un réseau d'accès radio, en dehors du bilan de liaison, tant pour la qualité des services d'utilisateurs que pour l'optimisation de la capacité du système.

En conséquence, la qualité du protocole MAC et des algorithmes d'allocation des ressources sont des enjeux majeurs pour tout constructeur de Réseau d'Accès Radio à ressources partagées, comme pour tout opérateur d'un tel réseau :

- Pour les industriels constructeurs, il est essentiel de valider ces fonctions de façon anticipée dans le cycle de développement du système,
- Pour les opérateurs, il est essentiel d'évaluer la performance de la couche MAC du système envisagé, avant l'acquisition, ou en tout cas avant de conclure des engagements contractuels vis à vis des utilisateurs (SLA - Subscriber Level Agreement).

7. Comparaison boucle filaire/ boucle radio

7.1 Accès à une ressource partagée et non dédiée

Dans une boucle locale filaire, la ressource allouée à un abonné (un câble de cuivre) lui est relativement **dédiée** (même si les abonnés partagent certaines infrastructures de génie civil, ainsi que les équipements passifs du réseau d'accès). Dans le cas de la boucle locale radio, la ressource (le spectre) est au contraire **partagée** avec les autres abonnés. Cet aspect a une importance particulière lorsqu'un client décide de résilier son abonnement. Dans le cas d'un réseau filaire, la ligne qui avait été allouée à ce client ne peut pas être allouée à d'autres clients. Par contre, dans le cas d'un réseau hertzien, les fréquences qui étaient occupées peuvent être immédiatement allouées à d'autres clients. Pour un nouvel entrant, la boucle locale radio permet donc une gestion plus souple et moins risquée de la clientèle qu'une boucle locale filaire. Dans le cas des services haut débit, la caractéristique 1 implique également que les clients d'une boucle locale haut débit partagent la bande passante (et donc le débit) disponible, tandis que les clients d'une boucle locale filaire haut débit disposent chacun d'une capacité relativement dédiée.

Type d'accès	Download	Upload	Vitesse de navigation effective
DSL			
- ADSL/RADSL	6 Mbps	1.5 Mbps	500 Kbps
- G.lite	1.5 Mbps	150 Kbps	500 Kbps
Câble Modem			
- Bi-directionnel	10 Mbps	800 Kbps	500 Kbps
- Uni-directionnel	10 Mbs	30 Kbps	500 Kbps
Boucle local radio			
- LMDS/MMDS	2 Mbps	30 Kbps	500 Kbps

Comparaison des différentes technologies de connexion à Internet à haut débit.

Dans ce qui suit, nous étudions comment les différences d'architecture entre une boucle locale filaire et une boucle locale radio influent sur la qualité des services offerts et le déploiement d'un réseau d'accès.

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

7.2 Le niveau de qualité

Nous distinguons deux dimensions pour la qualité du service offert aux consommateurs : la qualité des communications et le degré de mobilité.

7.2.1 La qualité des “communications”

Pour un réseau bas débit (téléphonie, fax, etc.), la qualité des communications dépend principalement de deux facteurs : d'une part, le taux de blocage, c'est-à-dire le pourcentage de communications non acheminées ; et d'autre part, la qualité des signaux transmis, mesurée par exemple par le taux de compression de la voix, et fonction du débit offert sur le réseau. Dans le cas d'un réseau d'accès haut débit, la qualité des communications peut être assimilée au débit de transmission des données.

Dans un réseau d'accès filaire, bas débit ou haut débit, le débit offert aux utilisateurs a un impact négligeable sur le coût du système. Ce n'est pas le cas pour un réseau d'accès hertzien : comme la capacité offerte diminue lorsque le niveau de qualité augmente, le coût unitaire pour un système radio est d'autant plus important que la qualité offerte est élevée. Le concepteur d'une boucle locale radio doit donc arbitrer entre qualité des communications et coût (ou capacité) du système.

Beaucoup d'auteurs insistent sur le fait que la qualité de service sur un réseau hertzien doit nécessairement être de même niveau que sur le réseau fixe. Or, le développement de la téléphonie sur Internet ou de la téléphonie mobile montre que les consommateurs sont prêts à accepter une qualité dégradée si le prix des communications est plus faible (cas, pour l'instant, de la téléphonie sur Internet) ou si un service supplémentaire leur est offert (par exemple, la mobilité dans le cas de la téléphonie mobile). Par ailleurs, un opérateur pourrait choisir d'offrir un service de meilleure qualité sur son réseau d'accès radio (en terme de débit). La qualité des “communications” (ou le débit de transmission des données) constitue donc bien un **axe de différenciation verticale** pour la boucle locale radio.

7.2.2 La mobilité

On peut identifier trois niveaux de mobilité pour la boucle locale radio :

- *Accès fixe (pas de différenciation)*. La boucle locale radio est équivalente, pour l'utilisateur, à une boucle locale filaire.

- *Mobilité limitée (différenciation faible)*. La mobilité est assurée autour du domicile de l'abonné. Dans cette zone, l'abonné peut émettre et recevoir des appels. Il n'est pas possible de sortir de la zone sans couper la communication.

- *Mobilité totale (différenciation forte)*. Le service proposé est équivalent à un service de téléphonie cellulaire. Le système gère le changement de zone.

Le choix d'un niveau de mobilité a un impact sur le coût du réseau d'accès. En effet, la gestion de la mobilité nécessite des équipements supplémentaires (calculateurs, bases de données, etc.) pour gérer les déplacements des utilisateurs à l'intérieur des zones (mobilité limitée) ou entre les zones (mobilité totale). Le coût d'un système à mobilité limitée ou totale est donc supérieur au coût d'un système à accès fixe.

Du côté de l'utilisateur, la mobilité représente un avantage, mais elle augmente le coût de l'équipement terminal. D'autre part, la mobilité dans la boucle locale a peu d'intérêt si la couverture est faible, car alors les abonnés ne peuvent pas toujours en bénéficier. C'est particulièrement vrai

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

si l'opérateur veut offrir une mobilité totale. Donc, plus de mobilité exige plus de couverture, c'est-à-dire plus de stations de base.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques d'une solution fixe et d'une solution mobile.

Solution fixe	Solution mobile
Couverture uniquement dans les zones où se trouve la demande.	Avant l'ouverture du service, la couverture doit être plus large que pour une solution fixe.
Déploiement progressif (en fonction de la demande).	La couverture doit être étendue rapidement, avant que la demande ne se révèle.
La capacité des stations de base est établie en fonction du nombre d'abonnés (connu).	La capacité des stations de base est établie en fonction du trafic aux heures de pointe.
Puissance de transmission plus faible (donc, moins coûteuse).	Puissance de transmission plus forte (donc, plus coûteuse).

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

7.3 Le déploiement de la boucle

Il est souvent avancé qu'une boucle locale radio se déploie plus rapidement qu'une boucle locale filaire (par exemple, cf. Calhoun [1992]). La boucle locale radio offrirait également plus de flexibilité pour s'adapter aux variations de la demande.

Une boucle locale radio est plus rapide à déployer qu'une boucle locale filaire.

Plusieurs exemples de déploiement d'infrastructure montrent qu'une fois les autorisations nécessaires obtenues (droits de passage, allocation d'une bande de fréquences), une boucle locale radio est mise en place plus rapidement qu'une boucle locale filaire. Ceci s'explique principalement par le fait qu'un système hertzien nécessite moins de travaux de génie civil qu'un système filaire. Par exemple, en Hongrie, l'opérateur historique, Matav, a choisi la technologie radio pour pouvoir déployer son réseau dans les délais fixés par le régulateur.

Portugal Telecom indique, pour sa part, que lors du déploiement d'une boucle locale radio au sud du Portugal, un mois seulement s'est écoulé entre le début de l'installation et le raccordement des premiers abonnés. Cependant, les délais pour obtenir toutes les autorisations nécessaires s'ajoutent aux délais de déploiement du réseau. Dans l'exemple précité, il a ainsi fallu plusieurs mois à Portugal Telecom pour recevoir l'autorisation du régulateur portugais.

La boucle locale radio offre plus de flexibilité que la boucle locale filaire.

On considère également souvent que les technologies radio offrent plus de flexibilité pour un opérateur de boucle locale que les technologies filaires. Dans un réseau d'accès filaire, il est préférable de prévoir tous les abonnés futurs, car il est difficile et coûteux de revenir à chaque nouvelle demande pour installer une nouvelle ligne. Par contre, dans un réseau d'accès hertzien, il est possible d'augmenter la capacité du système au fur et à mesure, et ce à moindre coût. L'investissement est donc réparti dans le temps, sur plusieurs périodes, en fonction de l'arrivée de nouveaux consommateurs. Cette flexibilité est particulièrement intéressante lorsque la croissance de la demande est incertaine. Néanmoins, même si la boucle locale radio permet une gestion en "flux tendu" des abonnés, cette stratégie n'est pas nécessairement optimale, lorsque la croissance de la demande est imprévisible.

8. Conclusion

La boucle locale - cette partie du réseau qui relie l'abonné final au réseau général constitue le dernier bastion des opérateurs de télécommunications historiques. Si les entrants sont rares aujourd'hui, de nouvelles technologies pourraient, à terme, permettre le développement de la concurrence dans la boucle locale. Parmi ces technologies, la boucle locale radio paraît particulièrement prometteuse. Il apparaît que l'entrée par la boucle locale radio est caractérisée par un taux de progrès technique élevé, une forte incertitude sur la technologie et sur la demande et des coûts de transfert relativement importants pour les consommateurs. Même si elle n'offre dans l'immédiat que des perspectives limitées, la boucle locale radio pourrait devenir à moyen terme un vecteur d'entrée important dans la boucle locale.

Quelle réponse un opérateur historique peut-il apporter à cette menace d'entrée ? En particulier, peut-il et doit-il adopter une technologie de boucle locale radio avant qu'un de ses rivaux potentiels ne le fasse ? Le résultat principal de la théorie de la préemption (le résultat de " persistance du monopole ", selon lequel une firme établie peut et doit préempter un rival potentiel) suggère que la firme établie peut et doit préempter ses rivales. Ce résultat peut-il s'appliquer dans le contexte de la boucle locale ? L'expérience montre que non et que, dans le contexte d'une concurrence en infrastructures dans la boucle locale, la persistance du monopole ne s'observe pas toujours. Ce résultat est dû à la présence d'un fort progrès technique, d'une incertitude sur la demande et de coûts de transfert pour les consommateurs. Ces trois caractéristiques de la boucle locale radio font qu'il peut être préférable pour un opérateur établi de laisser un opérateur rival adopter la technologie de boucle locale radio en premier, pour entrer éventuellement plus tard en second.

ENSEIRB	BLR	2002
---------	-----	------

9. Bibliographie

- La boucle locale radio comme vecteur d'entrée dans les télécommunications, Marc Bourreau, ENST
- <http://www.emi.u-bordeaux.fr/~quetelar/blr.html>
- <http://perso.enst.fr/~bourreau/blr.pdf>
- http://www.cuefa.inpg.fr/~plisson/reseaux/exposes/blr_exp/lmds.html
- <http://blr.free.fr/>
- <http://digitalrural.org/shema-cc/tsld001.htm>
- <http://mission-dti.inria.fr/Rapport/boucle.html>
- http://solutions.journaldunet.com/0111/011102_faqblr.shtml
- <http://www.journaldunet.com/dossiers/bouclelocaleradio/blrexplications.shtml>
- <http://www.adim.asso.fr/technologies/blr/>
- <http://www.urec.fr/cours/Physique/sf/index.htm>