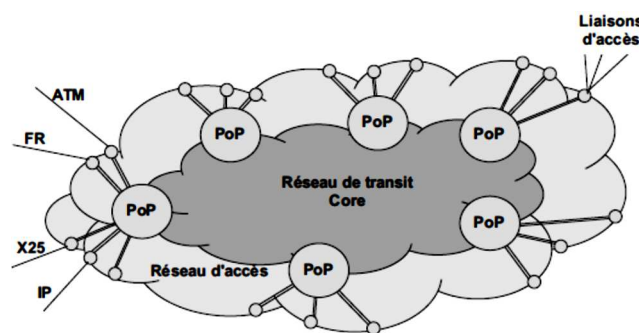


Chapitre 1

PRESENTATION DES TECHNOLOGIES DES RESEAUX D'OPERATEURS

I.1. GENERALITES

Les réseaux d'opérateurs assurent deux fonctions essentielles, la collecte des flux des différentes sources par un ensemble de liens formant le réseau d'accès, et l'acheminement de ce trafic par leurs réseaux dits de transit. Certains opérateurs n'assurent que l'une des deux fonctions, on distingue alors les opérateurs de boucle locale et les opérateurs de transit. On appelle point de présence (**PoP**, *Point of Presence*) l'interface d'interconnexion entre le réseau d'accès et le réseau de transit.



La conception d'un réseau d'opérateur doit répondre à trois critères :

- performance pour le coeur de réseau (réseau de transit) ;
- flexibilité à la périphérie (PoP) ;
- enfin, capacité d'irrigation pour le réseau de desserte (réseau d'accès).

I.2. RESEAUX D'ACCES

I.2.1. Définition

Le *réseau d'accès* est aussi appelé *réseau de distribution* ou *boucle locale* (il est parfois désigné par l'expression *derniers kilomètres du réseau*). Il forme la partie qui relie le terminal de l'utilisateur et le réseau cœur.

Le réseau d'accès est la partie du réseau qui demande plus d'investissement (>80 à90% du coût total du réseau).

De multiples moyens permettent de le réaliser :

- Le câble métallique, avec le réseau téléphonique (xDSL)
- Le câble coaxial, CATV
- La fibre optique, FITL (fiber in the loop)
- Les fils électriques, CPL (courant porteur en ligne) ou PLC (power line communication)

- Les supports hertziens, WLL (wireless local loop) ou WITL (wireless in the loop)
 - 1,2,3,4 et 5G (les réseaux mobiles)
 - IEEE 802.15 : bluetooth, Zigbee, UWB (ultra wide band)
 - IEEE 802.11 : WIFI
 - IEEE 802.16 : WIMAX appelé aussi BLR (boucle locale radio)
 - IEEE 802.22 : WRAN (exploite les nouvelles bandes de fréquences provenant de l'abandon de la télévision analogique)

I.2.2. Caractéristiques des réseaux d'accès

- Etendue limitée
- Gestion aisée (particulier ou entreprise)
- Généralement, c'est un réseau à diffusion et à accès multiple
- Hétérogénéité des techniques d'accès

I.2.3. La boucle locale métallique (basée sur le réseau téléphonique)

Plusieurs technologies reposent sur les réseaux téléphoniques pour relier le client au réseau de l'opérateur de télécommunications ou du fournisseur d'accès Internet. Parmi ces technologies, on cite : RTC, RNIS, xDSL.

a) Technologie xDSL

La DSL, pour Digital Subscriber Line ou ligne numérique d'abonné, regroupe l'ensemble des technologies mises en place pour un transport numérique de l'information sur une simple ligne téléphonique. Selon que la transmission est symétrique ou asymétrique, deux grandes familles xDSL peuvent être distinguées. Les technologies xDSL sont à différencier par :

- Le nombre de paires téléphoniques utilisées
- Le choix des fréquences porteuses et le type de modulation utilisées
- La vitesse de transmission,
- La distance maximale de transmission,
- La variation de débit entre le flux montant (de l'abonné vers le central) et le flux descendant (du central vers l'abonné),
- Le caractère symétrique ou non de la liaison.

Solutions xDSL symétriques : la connexion s'effectue avec un débit identique en flux montant comme en flux descendant. HDSL et SDSL sont deux solutions représentatives de cette famille.

- HDSL (High bit rate DSL) : offre un débit de 2 Mbps sur une distance maximale ne dépasse pas 3.6 km.
- SDSL (Symmetric DSL) : conçue pour une courte distance (3.6km) avec un débit de 768 kbps.

Solutions xDSL asymétriques : la connexion s'effectue avec un débit plus faible de l'abonné vers le central. ADSL et VDSL sont deux solutions représentatives de cette famille.

- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) : ou Ligne Numérique à Paire Asymétrique, permet de faire coexister sur une même ligne un canal descendant (downstream) de haut débit, un canal montant (upstream) de moyen débit et un canal de téléphonie appelé POTS (Plain Old Telephone Service). Elle permet notamment le transport de données TCP/IP, ATM et X.25.

ADSL permettrait des débits ascendants de 16 à 640 kbps et des débits descendants de 1.544 à 9 Mbps, pour une longueur maximale de boucle locale de 5,4 km.

- VDSL (Very High Bit Rate DSL) : est la plus rapide des technologies DSL. Elle est capable de supporter, sur une simple paire torsadée, des débits de 13 à 52 Mbps en downstream et de 1,5 à 2,3 Mbps en upstream. En revanche, la longueur maximale de la boucle est seulement de 1,3km

Les équipements nécessaires pour une transmission xDSL

Le Modem (Modulateur/Démodulateur)

Il convertit les données venant de la ligne ADSL en données exploitables par le PC (Personal Computer) de l'abonné et inversement. Le modem doit toujours être placé derrière un filtre qui sépare la bande de fréquence utilisée par la téléphonie et celle utilisée pour la transmission de données ADSL. Le modem est couramment appelé ATU-R (ADSL Transceiver Unit – Remote office end).

Le DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer)

Le DSLAM est le premier élément de la chaîne réseau (il se trouve au central téléphonique) rencontré par le signal sortant du modem de l'abonné. Il est constitué de cartes filtres, de cartes-modems, et de cartes-réseau. Chaque carte-filtre et carte-modem contient un nombre donné d'équipements correspondant à autant d'abonnés.

De façon générale, un DSLAM est composé par un châssis maître dans lequel on trouve la carte réseau, des cartes modem et des cartes filtres. Au fur et à mesure que le nombre d'abonnés sur ce DSLAM augmente, on rajoute des châssis esclaves au DSLAM (ils dépendent du châssis maître et y sont reliés grâce à une carte spéciale : ils n'ont pas de carte réseau, mais peuvent être placés à plusieurs kilomètres du maître).

Le BAS (Broadband Access Server)

Le BAS est l'équipement du réseau qui fait l'interface entre le réseau de collecte ATM et le RBCI* (réseau Backbone et de collecte IP). Le routage IP, l'authentification des abonnés et le comptage des volumes de trafic sont effectués par l'intermédiaire de ce serveur large bande.

b) Techniques de codage

Techniques de multiplexage

La technologie utilisée au niveau de la séparation des canaux est de types FDM ou TDM ou annulation d'écho.

- FDM (Frequency Division Multiplexing) est une technique de multiplexage par répartition de fréquence. Elle est utilisée pour accroître les débits sur paires torsadées et plus particulièrement des lignes téléphoniques.
- TDM (Time Division Multiplexing ou Multiplexage Temporel) permet d'échantillonner les signaux de différentes voies à faibles débits et de les transmettre successivement sur une voie à haut débit en leur allouant la totalité de la bande passante.
- Annulation d'écho assigne la bande ascendante pour superposer le descendant et sépare les deux au moyen d'annulation d'écho. Cette technique est utilisée dans les modems V.32 et V.34.

Techniques de modulation

Il existe différentes façons de traiter la porteuse HF, en fonction de la donnée à transmettre; on utilise pour cela les techniques suivantes :

- DMT (Discret Multi Tone) est une technique de modulation utilisée dans certaines technologies xDSL. L'ANSI (American Standards Institute) a défini la modulation de type DMT dans sa norme T1.413. C'est une forme de modulation multi porteuse. Pour son application à l'ADSL, le spectre de fréquence compris entre 0 Hz et 1,104 MHz est divisé en 256 sous canaux distincts espacés de 4,3125 kHz. Les sous canaux inférieurs sont généralement réservés au **POTS**, ainsi les sous canaux 1 à 6 (jusqu'à 25,875 kHz) sont en principe inutilisés et laissés pour la téléphonie analogique. Le débit du flux montant est moins élevé que celui du flux descendant et utilise donc les fréquences les plus basses.

Selon la norme T1.413, les sous canaux 1 à 6 sont utilisés pour la téléphonie, les sous canaux 7 à 31 pour le flux montant, le sous canal 32 est réservé, les sous canaux 33 à 256 sont utilisés pour les flux descendants. A noter que les sous canaux 16 et 64 sont utilisés pour transporter un signal "pilote" et que les canaux 250 à 256 sont utilisables que sur des lignes de raccordement de faible longueur. Au dessus de 1 MHz, les perturbations sont trop grandes pour permettre un flux stable.

- DWMT (Discrete Wavelet MultiTone) est en cours de développement pour des produits à haut débit, symétriques ou asymétriques, de type VDSL. Elle est une modulation dont le principe de fonctionnement est proche de DMT. Elle s'appuie sur une base mathématique différente de DMT qui est celle des transformées en ondelettes. Grâce à cette technique, les sous-canaux peuvent avoir un espacement moitié moindre que celui nécessaire à DMT. Les performances promises par DWMT semblent nettement supérieures à celles affichées par DMT.
- CAP (Carrierless Amplitude and Phase Modulation) est une technologie concurrente de DMT dans l'offre xDSL mais elle n'a pas été retenue par les organismes normalisateurs (ANSI, UIT) pour ADSL.

Dans cette technique, les canaux montants et descendants ne sont pas subdivisés en canaux plus étroits. Les émetteurs-récepteurs CAP peuvent utiliser des constellations multiples créant 2^n valeurs. n peut varier de 2 à 512 en fonction des caractéristiques de la ligne utilisée. On parle alors de n-CAP (2-CAP, 64-CAP,...512-CAP). L'autre aspect adaptatif de CAP est sa possibilité de réduire ou augmenter la bande passante utilisée.

c) Les protocoles de l'ADSL

L'utilisateur générant des paquets IP, il faut pouvoir transporter ces paquets IP vers le modem ADSL. Pour cela, on utilise soit une trame Ethernet, soit une trame PPP, soit une trame USB, soit une superposition de ces trames, comme une trame PPP encapsulée dans une trame Ethernet ou une trame PPP encapsulée dans une trame USB.

Prenons l'exemple de paquets IP encapsulés dans une trame Ethernet. Cette trame est envoyée soit sur un réseau Ethernet reliant le PC du client au modem, soit dans une trame PPP sur une interface de type USB. Dans le modem ADSL, il faut décapsuler la trame pour récupérer le paquet IP puis l'encapsuler de nouveau, mais cette fois dans une trame ATM. Cette fragmentation en morceaux de 48 octets est réalisée par le biais d'une couche AAL-5 (ATM Adaptation Layer de type 5).

Une fois la trame ATM arrivée dans le DSLAM, plusieurs cas de figure peuvent se présenter suivant l'architecture du réseau de l'ISP auquel le client est connecté. Une première solution consiste à décapsuler les cellules ATM et à récupérer le paquet IP qui est transmis vers le concentrateur dans une trame Ethernet. Le concentrateur l'envoie vers l'ISP également dans une trame Ethernet. Une deuxième solution consiste à laisser les trames sous forme ATM. C'est le cas lorsque l'opérateur de la boucle locale et l'ISP utilisent la même technologie. Dans ce cas, la cellule ATM est directement envoyée vers le concentrateur, qui joue le rôle de commutateur ATM. Celui-ci envoie les trames ATM par des circuits virtuels vers des BAS (Broadband Access Server), qui sont les équipements intermédiaires permettant d'accéder aux réseaux des ISP alternatifs.

Une autre solution, qui est aussi très utilisée, consiste à placer le paquet IP de départ dans une trame PPP et à garder cette trame tout le long du chemin, quitte à l'encapsuler dans d'autres trames. Cela a donné naissance au protocole PPPoE (PPP over Ethernet) dans le cas où la trame PPP est émise sur Ethernet. La trame PPP peut être encapsulée dans plusieurs trames ATM après avoir été découpée en morceaux de 48 octets par le biais du protocole AAL-5.

L'avantage de conserver la trame PPP tout le long du chemin est de pouvoir l'encapsuler dans un tunnel L2TP.

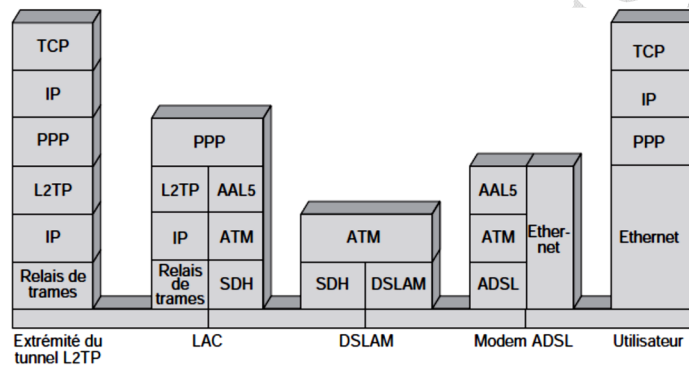
Le protocole L2TP

Pour réaliser les communications entre les BAS et les serveurs, un protocole de tunneling doit être mis en place puisque ce chemin peut être considéré comme devant être emprunté par tous les paquets ou

trames provenant des différents DSLAM et allant vers le même serveur. Le tunneling est une technique courante, qui ressemble à un circuit virtuel. Les trois protocoles utilisés pour cela sont PPTP (Point-to-Point Tunneling Protocol), L2F (Layer 2 Forwarding) et L2TP (Layer 2 Tunneling Protocol). Ces protocoles permettent l'authentification de l'utilisateur, l'affectation dynamique d'adresse, le chiffrement des données et éventuellement leur compression.

Le protocole le plus récent, L2TP, supporte difficilement le passage à l'échelle, ou scalabilité, et n'arrive pas à traiter correctement et suffisamment vite un nombre de flots dépassant les valeurs moyennes. Dans ce cas, on ajoute des concentrateurs d'accès L2TP, ou LAC (L2TP Access Concentrator), qui récupèrent tous les clients provenant d'un même DSLAM et allant vers un même BAS et les multiplexent sur un même circuit virtuel.

La figure suivante illustre l'architecture protocolaire d'une communication d'un PC vers un serveur situé dans un réseau d'ISP différent de celui de l'opérateur d'entrée. Le PC travaille sous TCP/IP et est connecté à un modem ADSL par le biais d'un réseau Ethernet.

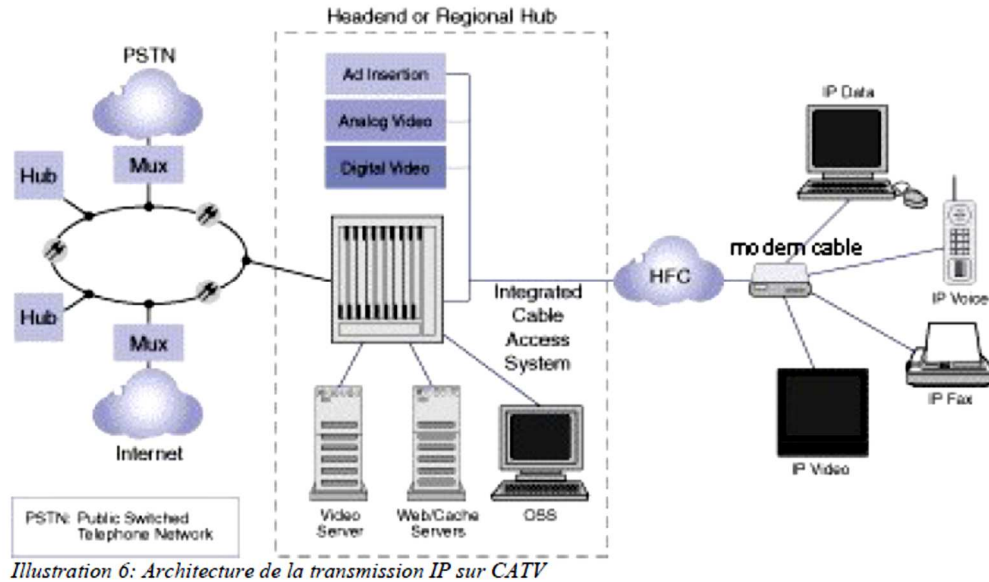


I.2.4. La boucle locale par câble coaxial

Les réseaux câblés, est également connue sous les termes câblodistribution, câblodiffusion, réseau câblé, télédistribution, télé réseau, réseau de vidéocommunication ou encore sous le seul vocable le câble, ont été créés pour la distribution télévisuelle. Dans leur réalisation ancienne, la télévision analogique y était diffusée sans voix de retour. La technique numérique à imposé le renouvellement de cette architecture de façon à permettre l'interactivité et à offrir quatre services simultanés : le téléphone, l'accès à internet, la distribution télévisuelle en haute définition tout en conservant, sur des fréquences particulières, la distribution classique en télévision et radio. Cette nouvelle architecture à donnée naissance à une technique de distribution qui combine la fibre optique et le coaxial déjà posé (HFC, Hybrid Fiber Coaxial)

a) Présentation d'un réseau de câblodistribution

La figure suivante illustre un réseau câblé typique. il se compose de :



- Le CATV est l'équipement de télévision câble. Il reçoit les signaux sources tel que la transmission par satellite et la radiodiffusion. Ces signaux sont ensuite traités, amplifiés, convertis, combinés à d'autres signaux avant d'être transmis à votre domicile.
- un *routeur* : il permet de router les paquets reçus et transmet via le réseau.
- le CMTS (Cable Modem Termination system) : Le CMTS est l'équivalent du DSLAM pour les technologies xDSL. Un CMTS est considéré comme un élément du réseau DOCSIS qui expédie des paquets entre un ou plusieurs ports de l'interface du côté du réseau NS (NSI : Network Side Interface) et des ports de l'interface RF (RFI : Radio Frequency Interface). Il existe deux types de CMTS :
 - Un « *Integrated* » CMTS (CMTS intégré) qui met en application directement les ports de NSI et RFI dans un élément simple de réseau ;
 - un « *Modular* » CMTS (CMTS modulaire) qui met en application le NSI et les interfaces ascendantes du RF dans un élément de réseau «noyau modulaire de CMTS » et les interfaces descendant de RF sur un élément du bord QAM (EQAM).
- CM (modem câble) : Le modem câbles est bidirectionnelle et permet l'envoi et la réception de données IP en même temps. Il utilise pour cela des techniques QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ou PSK (Phase Shift Keying).

b) Techniques de gestion de flux

La bande passante du CATV est subdivisée en une bande montante vers la tête de ligne et une bande descendante vers les équipements terminaux.

Cette partie du câblage peut desservir entre 500 et 12000 utilisateurs depuis la tête de réseau. Si chaque utilisateur veut effectuer une application de vidéo à la demande, ou VoD, la bande passante n'est pas suffisante, ou, du moins, chaque client doit se limiter à une partie de cette bande passante. Pour

permettre une meilleure adéquation de la bande passante, surtout aux applications interactives, deux normes ont été proposées :

La norme IEEE 802.14

Le comité de normalisation 802 LAN/MAN de l'IEEE est chargé de standardiser la couche physique (PHY) et la couche MAC pour les réseaux HFC conformément au modèle OSI de l'ISO. Le groupe de travail IEEE 802.14 a été formé en novembre 1994.

Les points essentiels de la norme sont :

- codage 64 et 256 QAM sur la voie descendante ;
- codage QPSK/16 QAM sur la voie montante ;
- utilisation du format de cellule ATM (Asynchronous Transfer Mode) comme unité de transport ;
- transport de trames de taille variable ;
- le CH (cotroleur head) effectue la gestion des ressources sur la voie descendante et l'allocation des débits des stations sur la voie montante ;
- utilisation de l'algorithme « arbre tertiaire » (Ternary Tree) pour la résolution des collisions.

La norme DOCSIS de MCNS

Les opérateurs de câble d'Amérique du Nord ont senti l'importance d'offrir un service de données dans les meilleurs délais. Ces opérateurs n'ont pas attendu la norme IEEE 802.14 et ont commencé, dans un premier temps, à utiliser des modems câble propriétaires et dans un deuxième temps ont formé le consortium MCNS pour avoir leur propre norme. Actuellement, des modems MCNS provenant de différents constructeurs sont disponibles sur le marché et ont d'ores et déjà été utilisés dans plusieurs villes d'Amérique du Nord.

À la différence de la norme IEEE 802.14, qui impose l'utilisation de la cellule ATM, la norme DOCSIS de MCNS privilégie l'utilisation de paquets Ethernet : le support de la cellule ATM n'est pas obligatoire.

Les points essentiels de la norme DOCSIS de MCNS sont :

- codage 64 et 256 QAM sur la voie descendante ;
- codage QPSK/16 QAM sur la voie montante ;
- transport de paquets de taille variable (obligatoire) ;
- transport de cellules ATM (optionnel) ;
- le HC effectue la gestion des ressources sur la voie descendante et l'allocation des débits des stations sur la voie montante ;
- utilisation de l'algorithme back-off exponentiel pour la résolution des collisions.

I.2.5. La boucle locale optique

Cette solution consiste à recâbler tout le réseau d'accès en fibre optique. Cette technique est particulièrement adaptée au réseau RNIS (réseau numérique à intégration de services) à large bande.

Les systèmes de réseau d'accès sur fibre optique se caractérisent d'une manière générale par des entités suivantes :

- Un système de terminaison de ligne optique (OLT, optical line termination), situé dans le site technique de l'opérateur. L'OLT assure la fonction de switch Ethernet.
- Une unité de réseau optique (ONU, optical network unit) dont la localisation dépend du type de topologie. L'ONU fournit les services à l'utilisateur (accès wifi, accès Ethernet, accès téléphonique)
- Un réseau de fibre optique (ODN, optical distribution network). Assurant l'interconnexion entre un OLT et plusieurs ONU.

La mise en œuvre d'un tel câblage est assez onéreuse. Il est possible d'en réduire le coût en ne câblant pas la portion allant jusqu'à la prise terminale de l'utilisateur. Il faut pour cela déterminer le point jusqu'où le câblage doit être posé. Plusieurs solutions s'offrent pour cela à l'opérateur :

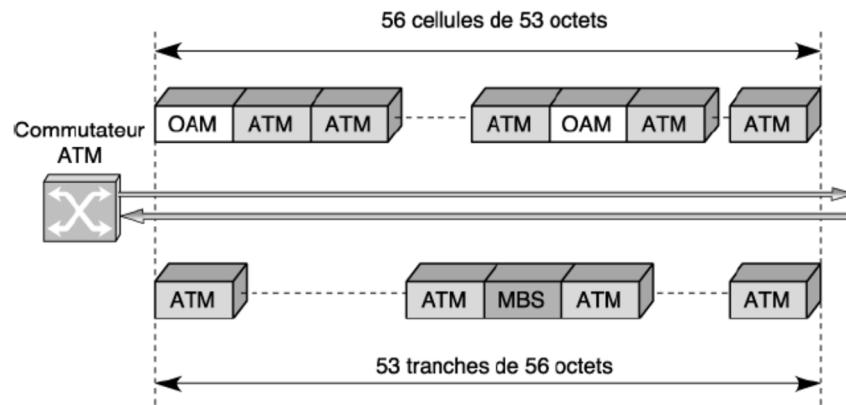
- **FTTC (Fiber To The Curb)**. On câble jusqu'à un point assez proche de l'immeuble ou de la maison qui doit être desservi, le reste du câblage étant effectué par l'utilisateur final.
- **FTTN (Fiber To The Node)**. On câble jusqu'à un répartiteur dans l'immeuble lui-même.
- **FTTH (Fiber To The Home)**. On câble jusqu'à la porte de l'utilisateur.
- **FTTT (Fiber To The Terminal)**. On câble jusqu'à la prise de l'utilisateur, à côté de son terminal.

a) Les technologies associées aux PON

Les technologies associées aux PON sont de type ATM (Asynchronous Transfer Mode), Ethernet ou Gigabit (UIT-T), ce qui donne naissance aux APON, EPON et GPON respectivement.

- APON (ATM Over PON): L'ATM est la première technologie associée aux réseaux d'accès en fibre optique d'où le nom APON (ATM Over PON). Les difficultés engendrées par PON viennent du partage de la bande passante montante.

Dans le sens descendant, les cellules ATM sont émises de façon classique, en « cell-based ». Une cellule OAM (Operations And Maintenance) est émise toutes les 26 cellules utilisateur pour gérer le flot. Dans le sens montant, une réservation est nécessaire. Elle s'effectue à l'intérieur des trames FSAN (Full Service Access Network) divisées en tranches de 56 octets (comportant une cellule ATM et 3 octets de supervision). Au centre de la trame, une tranche particulière (MBS, Management Based Subsystem) de 56 octets est destinée à la réservation d'une tranche de temps (voir la figure).



- EPON (Ethernet over PON): L'objectif était de remplacer la technologie ATM, très coûteuse à mettre en œuvre sur une technologie multipoint, par la technologie Ethernet. La normalisation de la technologie EPON est effectuée par le groupe IEEE 802.3ah. Ce groupe vise plusieurs objectifs, dont celui d'introduire Ethernet dans la boucle locale sous le nom d'EFM (Ethernet in the First Mile).

Dans le sens montant, l'allocation de bande passante s'effectue en utilisant la méthode d'accès TDMA (Time Division Multiple Access), qui définit des slots à l'intérieur d'une longueur d'onde. La solution classique utilisée dans Ethernet, CSMA/CD, étant inadaptée aux vitesses des EPON. Le multiplexage dans le sens descendant s'exerce sur des slots de longueur constante de telle sorte que les trames Ethernet doivent être divisées en segments de longueur constante, à l'exception de la dernière partie, qui peut être inférieure à la longueur du slot.

Une synchronisation est indispensable pour qu'il n'y ait pas de collision entre les slots. Cette synchronisation s'effectue toutes les 2 ms, correspondant à la longueur de la trame physique qui comporte l'ensemble des slots des ONU.

La qualité de service peut être obtenue en introduisant une priorité en utilisant une zone indiquant la priorité de la trame.

- GPON (Giga Passive Optical Network): Les GPON ont pour objectif d'augmenter encore les débits pour suivre les progrès technologiques et atteindre 10 puis 40 Gbit/s. Ces solutions proviennent d'une normalisation de l'UIT-T et des progrès de la fibre optique. Le GPON trouve son intérêt dès que la diffusion est à la demande telle que pour la vidéo (VoD) sur IP (IPTV).

Un réseau GPON transporte habituellement des trames Ethernet. Mais il est aussi capable de transporter des charges ATM.

b) Architecture des réseaux optiques

Les réseaux optiques s'appuient sur le multiplexage en longueur d'onde, qui consiste à diviser le spectre optique en plusieurs sous-canaux, chaque sous-canal étant associé à une longueur d'onde. Cette technique est aussi appelée WDM (Wavelength Division Multiplexing) ou encore DWDM (Dense WDM), lorsque le nombre de longueurs d'onde est très important.

Les réseaux optiques à multiplexage en longueur d'onde peuvent être regroupés en deux sous-catégories :

- *les réseaux à diffusion* : chaque station de réception reçoit l'ensemble des signaux envoyés par les émetteurs. L'acheminement des signaux s'effectue de façon passive. Chaque station peut émettre sur une longueur d'onde distincte. Le récepteur reçoit le signal désiré en se plaçant sur la bonne longueur d'onde.
- *les réseaux à routage en longueur d'onde* : L'idée à la base consiste à réutiliser au maximum les mêmes longueurs d'onde. Ceci est réalisé par l'utilisation d'un *routage fixe* sur les longueurs d'onde ou d'un *routage dynamique* dans le temps. À cet effet, il faut insérer des commutateurs optiques ou optoélectroniques, suivant la technologie utilisée, entre les ports d'émission et de réception.

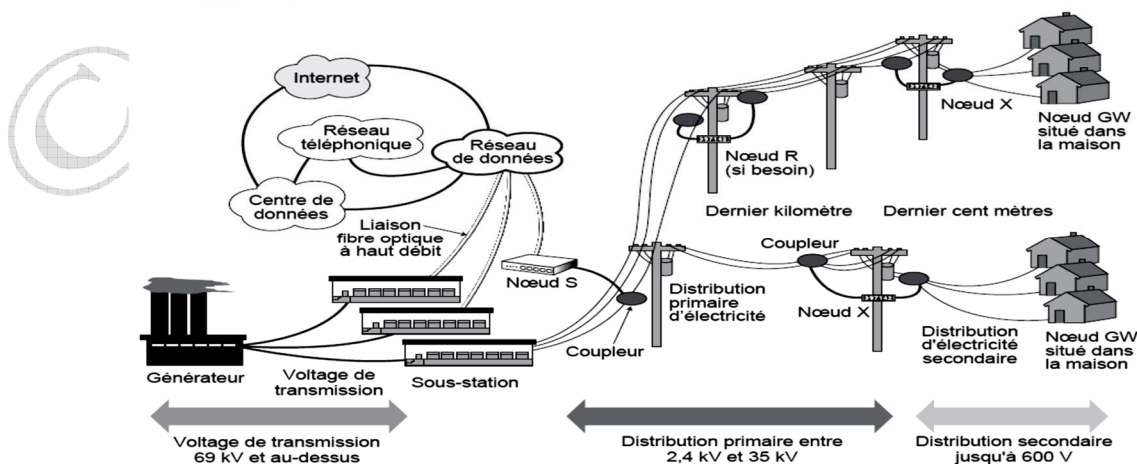
Chacune de ces sous-catégories peut être à saut unique (single-hop) ou à saut multiple (multi-hop).

I.2.6. La boucle locale CPL

Le CPL est une norme de transmission des signaux numériques. Ils concernent toute technologie qui vise à faire passer de l'information sur les lignes électriques en utilisant des techniques de modulation avancées.

a) Principe de fonctionnement

Le principe des CPL consiste à superposer au signal électrique de (50Hz ou 60 Hz) un autre signal à plus haute fréquence (3-30MHz) et de faible énergie. Il faut pour cela utiliser à la fois les chemins électriques de type primaire utilisant un voltage de quelques kilovolts et la partie terminale de quelques centaines de volts. Il faut donc traverser des transformateurs électriques, ce qui n'est pas possible directement. Le moyen d'y parvenir est de tirer des dérivations autour de ces transformateurs. Cette architecture est illustrée à la figure ci-dessous. Le décodage est effectué par des récepteurs CPL. Un coupleur intégré en entrée des récepteurs CPL élimine les composante BF avant le traitement du signal.



b) Méthodes de couplage au réseau électrique

Il existe deux méthodes différentes pour injecter le signal sur le réseau électrique, appelées couplages :

- *Le couplage capacitif* est celui utilisé majoritairement par les modems CPL. Le terme capacitif signifie que le modem CPL branché sur la prise électrique est vu comme une capacité, Le couplage capacitif peut se faire au niveau du tableau électrique par la méthode de piquage qui permet de connecter des équipements CPL directement aux câbles électriques du réseau en perçant l'isolant du câble et le câble électrique lui-même. De telles méthodes exigent de recourir à un électricien habilité à intervenir sur les réseaux électriques BT (basse tension) ou MT (moyenne tension) du fait du risque électrique.
- *Le couplage inductif* est beaucoup plus efficace que le couplage capacitif. Il utilise la méthode d'induction électromagnétique entre deux câbles électriques ou entre un câble électrique et une bobine enroulée autour de ce câble. Un coupleur inductif réduit l'atténuation de 10 à 15 dB pour certaines fréquences par rapport à un coupleur capacitif.

c) *Technique de gestion de flux*

Le CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) est une technique dite d'accès aléatoire avec écoute de la porteuse, qui permet d'écouter le support de transmission avant tout envoi de données. Le CSMA évite que plusieurs transmissions aient lieu sur un même support au même moment et réduit les collisions, sans toutefois les éviter complètement.

Pour éviter les collisions, le CSMA/CA fait appel à différentes techniques, telles que des mécanismes d'écoute du support introduits par les CPL, l'algorithme de back-off pour la gestion de l'accès multiple au support, un mécanisme optionnel de réservation, dont le rôle est de limiter le nombre de collisions en s'assurant que le support est libre, ainsi que l'utilisation de trames d'acquittement positif (ACQ)

L'accès au support est contrôlé au moyen d'un mécanisme d'espacement entre deux trames appelé IFS (Inter-Frame Spacing). Cet espacement correspond à l'intervalle de temps entre la transmission de deux trames. Les intervalles IFS sont en fait des périodes d'inactivité sur le support de transmission, qui permettent de gérer l'accès au support pour les stations ainsi que d'instaurer un système de priorités lors d'une transmission.

Les valeurs des différents IFS dépendent de l'implémentation de la couche physique. Le standard HomePlug 1.0 définit:

- *CIFS (Contention distributed Inter-Frame Spacing)*. Le CIFS est utilisé par les stations qui veulent accéder au support lorsqu'il est libre, entraînant la fin des autres transmissions pendant 35,84 μ s. Le CIFS est suivi de la phase de résolution des priorités de chaque station.

- *RIFS (Response Inter-Frame Spacing)*. Lorsqu'une station attend une réponse de la station destination, cette dernière attend un temps RIFS de 26 μ s avant de transmettre sa réponse. Ce RIFS permet également aux stations de passer d'un mode émetteur à un mode récepteur.

Le processus ARQ (Automatic Repeat reQuest)

Lorsqu'une station source transmet ses données sur le support, elle attend une trame d'acquittement de la part de la station destination. Cette trame est potentiellement suivie d'une procédure de retransmission des données non reçues ou erronées, appelée ARQ (Automatic Repeat reQuest).

La station destination peut renvoyer trois types de trames d'acquittement :

- **ACK**. La station destination a bien reçu les données contenues dans les trames, et ces dernières sont correctes.
- **NACK**. La station destination a bien reçu les données, mais certaines d'entre elles sont endommagées. Cette vérification s'effectue à l'aide de la valeur du CRC (Cyclic Redundancy Check). La station destination demande alors à la station source de renvoyer le segment de données endommagé.
- **FAIL**. Les données ne sont pas arrivées à la station destination, ou le tampon de celle-ci est plein et ne permet pas de les accueillir et de les traiter.

I.2.7. La boucle locale radio (BLR)

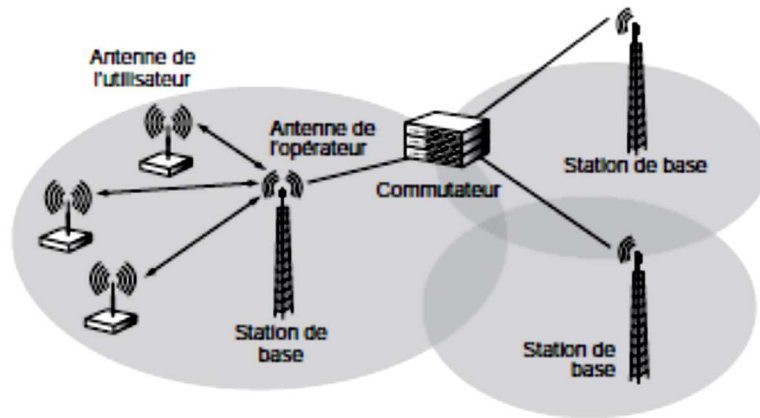
La Boucle Locale Radio ou BLR est un système qui remplace la liaison filaire traditionnelle, en utilisant la technologie radio pour assurer un service téléphonique local fiable, flexible et économique.

Deux orientations de WLL peuvent être envisagées, en tenant compte ou pas de la mobilité de l'utilisateur :

- Si on tient compte de la mobilité, il s'agit alors de réseaux mobiles, la communication n'est pas interrompue lorsque le mobile se déplace. L'un des aspects délicats de cette méthode concerne le passage d'une cellule à une autre, une cellule étant la zone géographique couverte par une antenne d'émission. Ce changement de cellule s'appelle un handover, ou Handoff
- Dans le second cas, la communication est fixe ou à faible mobilité.

La boucle locale radio est une technologie sans fil bidirectionnelle. L'antenne de réception doit être grande et fixe. Une boucle locale est formée d'un ensemble de cellules (en grisé sur la figure). Chaque cellule est raccordée à une station de base, qui dessert les utilisateurs abonnés.

La station de base est constituée d'une ou plusieurs antennes reliées aux utilisateurs directement par un faisceau hertzien. Les stations de base sont interconnectées par un réseau terrestre. L'accès à ce réseau terrestre s'effectue par le biais d'un commutateur.



Les avantages de la BLR sont nombreux : une installation rapide qui réduit le temps de commercialisation, des coûts d'implémentation inférieurs par rapport aux alternatives fixes, une haute performance, et enfin une flexibilité élevée en termes d'échelle d'installation pour satisfaire les nécessités de développement particulières. L'inconvénient de cette solution est la bande de fréquences étroite disponible.

Parmi les systèmes WLL disponibles sur le marché :

- Les technologies IEEE 802.11 directives (WiFi directif)
- IEEE 802.16 ou Wimax
- IEEE 802.22 qui préfigure les connexions sur de plus longues portées pour diminuer le cout de déploiement

a) *Allocation des ressources*

Il existe plusieurs schémas d'allocation de ressources tels que :

FCA (Fixed Channel Assignment) :

- Une attribution fixe de ressources à toutes les stations.
- Cette attribution dépend du dimensionnement du réseau et des prévisions de trafic
- L'avantage est la simplicité et la rapidité
- Les limites sont : il ne permet pas de gérer les variations brutales et instantanées du trafic
- Il existe quatre principales techniques sont les suivantes :
 - FDMA (Frequency Division Multiple Access)
 - ✓ Divise la ressource canal en plusieurs bandes de fréquences
 - ✓ Les fréquences sont attribuées aux différentes stations selon leur besoin
 - TDMA (Time Division Multiple Access)
 - ✓ Découper le temps en slots et à allouer les slots aux stations
 - ✓ Les slots sont soit de taille différente, soit taille fixe petite, correspondant à un débit de base
 - CDMA (Code Division Multiple Access)
 - ✓ Allouer aux différentes stations la bande passante globale mais avec un code

- ✓ Toutes les stations peuvent émettre en même temps, le récepteur étant capable de déterminer les signaux à capter en fonction du code et de la puissance associée
- SDMA (Space Division Multiple Access)
 - ✓ Diviser l'espace en plusieurs secteurs, de sorte qu'une antenne directive n'émette que sur un espace réduit au lieu de diffuser ses signaux dans toutes les directions
 - ✓ Elle permet de mieux utiliser l'espace hertzien et donne une forte réutilisation des fréquences
 - ✓ Le signal étant directif, la portée peut-être bien plus grande

DCA (Dynamic Channel Assignment) :

- Les ressources sont concentrées dans un groupe commun (common pool)
- L'allocation des canaux est à la demande des utilisateurs
- DCA respecte le taux d'interférences C/I sur le canal pour agir de manière dynamique
- Inconvénient est la charge de signalisation et une forte puissance de calcul pour trouver rapidement une solution d'allocation optimale
- Les trois grandes catégories de techniques DCA sont les suivantes :
 - Méthodes d'accès aléatoires, ou RA (Random Access) :
 - ✓ Ces techniques ne se prêtent à aucune qualité de service
 - ✓ Leur avantage est dans une implémentation simple et un coût de mise en œuvre assez bas
 - ✓ La méthode la plus connue est CSMA/CD utilisée dans les réseaux Ethernet
 - ✓ Dans les réseaux radio, la méthode est CSMA/CA (il est impossible d'émettre et d'écouter en même temps)
 - Méthodes de réservation par paquet, ou PR (Packet Reservation) :
 - ✓ Elles évitent les collisions par l'utilisation d'un schéma de réservation de niveau paquet.
 - ✓ Un sous-canal de signalisation doit exister pour gérer la réservation
 - ✓ Ces solutions sont surtout utilisées dans les réseaux satellite
 - Méthodes de réservation dynamique, ou DAMA (Demand Assignment Multiple Access) :
 - ✓ Elles ont pour but d'optimiser l'utilisation du canal.
 - ✓ Elles essaient de multiplexer un maximum d'utilisateurs sur le même canal en demandant aux utilisateurs d'effectuer une réservation pour un temps relativement court

HCA (Hybrid Channel Assignment) :

Une partie des ressources est allouée aux stations, le reste est rassemblé dans un groupe commun, auquel les stations peuvent accéder lorsque leur ensemble fixe est complètement alloué