
Chapitre 1

Généralités sur les réseaux de télécommunications

I.1 Présentation

Le terme réseau recouvre des ensembles très variés dans les domaines économique, géographique, humain, social, technique, etc. C'est un concept très général qui définit souvent une organisation structurante et inclut de nombreuses utilisations.

Un réseau de télécommunications est un ensemble d'équipements interconnectés qui permet de transporter de l'information d'un accès d'utilisateur à un autre accès d'utilisateur. A chaque accès est connecté un terminal ou un réseau privé interconnectant plusieurs terminaux.

Un réseau offre à l'utilisateur :

- une certaine capacité de transport d'information
- un certain nombre de services.

La capacité de transport d'information peut être caractérisée par la nature de l'information transportée et par un certain nombre d'attributs : par exemple, le réseau téléphonique analogique permet le transport bilatéral de signaux analogiques dans la bande 300-3400 Hz.

Différents types de service de communication peuvent être offerts par un réseau, par exemple :

- Un service de liaisons louées dans lequel le moyen de transport est en permanence établi entre deux points donnés.

- Un service de réseau commuté : les ressources de transmission peuvent être mises en commun entre les usagers avec une certaine probabilité d'échec lors d'une demande d'établissement de connexion.

Un réseau de télécommunications est composé de deux plans :

- Le plan de transport qui offre les fonctions de transport d'information.
- Le plan de commande du réseau qui, à la commande de l'utilisateur, établit les liaisons nécessaires dans le plan de transport.

Le passage d'applications fortement synchrones est avant tout le souci des réseaux de télécommunications. En effet, l'application de base est la parole téléphonique.

Les réseaux numériques à intégration de services (RNIS) intègrent la téléphonie et le transfert de données. Ce besoin d'associer la téléphonie et l'informatique a donné naissance à la technique de transfert de paquets ATM (Asynchronous Transfer Mode). Cependant, vu la domination d'Internet avec les paquets IP (Internet Protocol), le monde des télécommunications propose l'encapsulation des paquets IP dans une autre structure, telle que l'ATM.

I.2 Classification des réseaux de télécommunications

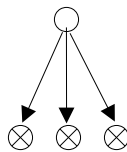
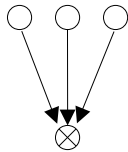
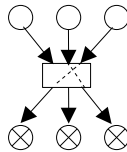
I.2.1 Architecture technique

On peut classer les réseaux de télécommunications selon l'architecture et la technique utilisée pour transférer l'information.

On distingue généralement :

- les réseaux commutés (« switched networks »)
- les réseaux de diffusion (« broadcast networks »).
- les réseaux cellulaires (« cellular networks »)

Le réseau est constitué d'un ensemble de voies de transmission similaires, ainsi que des moyens nécessaires pour les relier entre elles et les attribuer aux usagers. L'attribution de voies de transmission aux usagers est appelée « assignation ».

Nombre de source	1	$n > 1$	$n \geq 1$
Nombre de destinataire	$n > 1$	1	$n \geq 1$
Type d'assignation	fixe	fixe	variable
Type de réseau	DIFFUSION	COLLECTE	COMMUTE
			
⊗ = destinataire ○ =source			

Types de réseaux

I.2.1.1 Réseaux commutés

Les réseaux commutés sont subdivisés en :

- réseau à commutation de circuits (« circuit switched network »)
- réseau à commutation de paquets (« packet switched network »)
- réseau à commutation de messages (« message switched network »).

Dans ces réseaux, l'information est transmise depuis le terminal de départ jusqu'au terminal d'arrivée au travers d'une série de nœuds connectés entre eux par des liaisons de transmission ; chaque nœud agit comme un aiguillage actionné sur base de l'adresse du destinataire.

I.2.1.2 Réseaux de diffusion

Les réseaux de diffusion peuvent établir des communications bidirectionnelles, les plus connus sont :

- les réseaux satellite (ex : VSAT Very Small Aperture Terminal)
- les réseaux locaux LAN (Local Area Network) et métropolitains MAN (Metropolitan Area Network)
- les réseaux de TV-distribution, adaptés dans certains cas pour les communications bidirectionnelles (téléphonie, Internet).

Dans ces réseaux, l'information (paquet, message) est transmise depuis le terminal de départ sur un milieu de transmission accessible à tous les terminaux. A la réception, chaque terminal qui reçoit le message émis examine l'adresse du message et détermine si celui-ci lui est destiné ou non.

La ressource de transmission étant partagée par tous les terminaux, un mécanisme d'accès est nécessaire pour ce type de réseaux.

I.2.1.3 Réseaux cellulaires

Les réseaux cellulaires peuvent être rangés dans la catégorie précédente pour la partie accès des mobiles via l'interface radio dans les cellules. Pour la partie « fixe » qui écoule les communications, ils utilisent des réseaux commutés (circuits et/ou paquets).

I.2.2 Transport et services

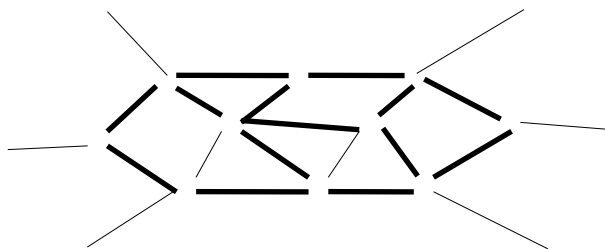
Une vue plus courante chez les opérateurs de télécommunications consiste à découper le réseau en couches :

- un réseau de transport physique c'est-à-dire un réseau de transmission
- des réseaux fonctionnels (ou logiques) affectés à des services (téléphonie, télex, données, radiotéléphonie) qui utilisent le réseau de transport.

Ces réseaux fonctionnels peuvent eux-mêmes être découpés en couches : une couche commutation et/ou routage, une couche service proprement dite, une couche service à valeurs ajoutées,...

Le réseau de transport ou de transmission relie entre eux les nœuds des réseaux de service (i.e. les commutateurs, les routeurs, les serveurs,...) et assure aussi la connexion des équipements terminaux qui permettent aux clients d'accéder et d'utiliser les services. Typologiquement, le réseau de transmission est habituellement divisé en :

- réseau local ou réseau d'accès : la partie qui relie des terminaux aux nœuds d'accès des réseaux
- réseau dorsal ou réseau cœur ("Backbone", "core") reliant les nœuds du réseau.



Nœud

— **Réseau d'accès**

— **Réseau cœur**

1.2.3 Services

Les services sont caractérisés par une série de caractéristiques qui constituent la QOS ou « Quality Of Service ». Des paramètres types sont affectés à la QOS et doivent pouvoir être supportés par des réseaux qui assurent ces services.

Les principales caractéristiques à prendre en compte sont les suivantes :

Les services interactifs en temps réel, voix/données, qui sont les plus exigeants en terme de contraintes temporelles (ex : la téléphonie, la visiophonie), nécessitent :

- Le délai de transfert ou délai de « transmission » on parle parfois de « latency » du signal par le réseau, de la source à la destination, qui comporte temps de traitements, temps de transmission et de propagation.
- La variation dans le délai de transfert « delay variation ».

Avec les services de données, les contraintes portent sur :

- les débits : le débit minimal à garantir, le débit de crête, le débit moyen,...
- les erreurs : perte de paquets, duplication ou insertion de paquets, ordre des paquets,...

Pour les services de type multimédia : le réseau est amené à supporter plusieurs types de services, comme les précédents.

Afin de satisfaire la QOS, sans rendre la spécification de tous les paramètres trop flexible et impossible à gérer, les réseaux (ou couches de réseau) proposent quelques « classes de services » (Class Of Service, COS).

I.3 Catégorie des réseaux

Dans le domaine de la communication, trois grandes catégories de réseaux prédominent : les réseaux informatiques, les réseaux de télécommunications et les réseaux des câblo-opérateurs.

1.3.1 Les réseaux informatiques

La nécessité de relier des terminaux informatiques distants à un site central, puis de connecter des ordinateurs entre eux et enfin de raccorder des machines terminales ont donné naissance aux réseaux informatiques. Dans un premier temps l'objectif étant le transport de données informatiques, aujourd'hui, en plus des données, ces réseaux tendent à intégrer la parole téléphonique et la vidéo. Les techniques utilisées proviennent toutes du transfert de paquets (commutation de paquets).

Selon la distance maximale séparant les points les plus éloignés du réseau, on définit généralement quatre catégories de réseaux informatiques :

- Les PAN (Personal Area Network)
- Les LAN (Local Area Network)
- Les MAN (Metropolitan Area Network)
- Les WAN (Wide Area Network)

La principale différence entre les réseaux informatiques et les autres catégories de réseaux est que la gestion et le contrôle du réseau sont effectués par les équipements terminaux.

Les réseaux informatiques forment un environnement asynchrone, les données arrivent aux récepteurs à des instants qui ne sont pas définis à l'avance, car selon la saturation du réseau, les durées de transfert de paquets varient. Il est alors difficile de faire passer de la parole téléphonique dans ce type de réseau.

1.3.2 les réseaux de télécommunications

Dans le domaine des télécommunications, quelques caractères principaux sont rehaussés quand à la définition du réseau :

- L'organisation : Nœuds, réseau d'accès, réseau cœur
- L'usage : téléphonique ou transport de données
- La nature : fixe ou mobile
- L'exploitation : en termes de flux ou d'interactivité

Les réseaux de télécommunications orientés vers le transport de la parole téléphonique utilisent en général la technique de commutation de circuits (RTC, GSM,...)

1.3.3 les réseaux des câblo-opérateurs

L'objectif des réseaux des câblo-opérateurs ou opérateurs vidéo est de transmettre des images de télévision par la voie terrestre ou hertzienne. Ces opérateurs sont chargés de la mise en place des réseaux câblés ou hertziens.

1.4 Les ressources des réseaux de télécommunications

La première couche de ressources d'un réseau de télécommunication est celle de l'infrastructure de transmission, qui elle-même est subdivisée en deux sous ensembles : la couche de réseau de transport ou réseau de transmission et la couche réseau d'accès. Ces ressources constituent le support ou média de transmission sur lequel sont véhiculées les informations. Ce support peut être soit un câble à paires de conducteur en cuivre, un câble coaxial, une fibre optique ou un champ électromagnétique, soit une ligne d'abonné dans le réseau d'accès ou un faisceau entre nœuds de commutation du réseau de transmission.

La deuxième couche de ressource de télécommunication est la couche de transport s'appuyant sur l'infrastructure de transmission c'est à dire la technique utilisée pour transmettre les informations.

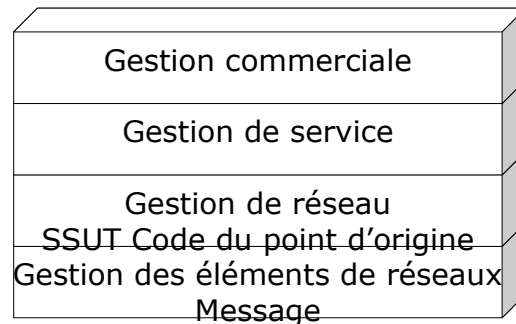
La troisième couche de ressource est une couche de ressource informatique (serveurs, bases de données, ...). Les réseaux de télécommunications d'aujourd'hui utilisent déjà des ressources informatiques.

I.5 Gestion des réseaux de télécommunication

Les équipements (transmission, commutation, signalisation,...) d'un réseau de télécommunication et les services doivent être gérés (supervision, contrôle, fourniture de services,). L'ensemble des fonctions nécessaires est assuré par les systèmes de gestion réseau, constitué par un ensemble de plates-formes (logiciel et matériel), reliées aux éléments du réseau par un réseau spécifique de gestion et capable de "dialoguer" au sens le plus large (i.e. envoyer des commandes et recevoir des informations sur l'état du réseau).

Le RGT (Réseau de Gestion des Télécommunications) a été défini par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) et ses principes de base sont décrits dans la norme M.3010.

1.5.1 Hiérarchie fonctionnelle du RGT



Hiérarchie fonctionnelle du RGT

La hiérarchie fonctionnelle du RGT découpe la gestion en quatre couches :

- la gestion des éléments de réseaux. Elle gère l'ensemble des équipements et masque les spécificités de gestion des différents constructeurs de ces équipements.
- La gestion de réseau, le réseau étant constitué d'un ensemble d'éléments de réseau. Cette couche gère les activités à travers le réseau et répond aux requêtes de la couche gestion de service.
- La gestion de service, le service s'appuyant sur des réseaux. Cette couche prend en charge les aspects de services vus du côté des clients, comme la livraison de service ou la qualité de service.
- La gestion commerciale est responsable de la totalité de l'entreprise. On parle encore de gestion d'entreprise. C'est à ce niveau que les accords entre les opérateurs sont passés. Cette couche est identifiée mais n'est pas normalisée.

1.5.2 Aires fonctionnelles du RGT

Le RGT propose une découpe en cinq aires fonctionnelles de l'ensemble des activités de gestion.

Ces cinq aires sont les suivantes :

- La gestion de faute. Ce domaine recouvre la détection, la situation et les corrections des fonctionnements anormaux.
- La gestion de la configuration. Ce domaine recense et contrôle la configuration des paramètres des systèmes à gérer.
- La gestion de la comptabilité. Ce domaine comptabilise l'utilisation des ressources et gère les coûts et la tarification.
- La gestion des performances. Ce domaine évalue le comportement des ressources et la qualité des services.
- La gestion de la sécurité. Ce domaine applique les politiques de sécurité.

Chapitre 2

Réseau de transmission et système de commutation

II.1 Présentation

Le réseau de transmission est constitué par les liaisons entre les différents équipements d'un réseau de télécommunication.

Le réseau de transmission est caractérisé par :

- les milieux de transmission utilisés (paire de cuivre, coaxial, fibre optique, faisceau hertzien, ...)
- les systèmes de transmission qui sont mis en oeuvre sur ces milieux ; les systèmes de transmission sont composés d'équipements de transmission : des terminaux de transmission, aux extrémités, modulateur, multiplexeurs, répéteurs,...
- la topologie : arborescence, étoile, anneau, ...

II.2 Signal et transmission

II.2.1 Signal analogique et signal numérique

L'information émise par une source (voix, texte, image) est présentée sous une forme analogique (ex : signal électrique produit par un téléphone) ou sur une forme numérique (ex : une série de bits produit par un PC : Personal Computer).

Cette information, pour être émise, est convertie en un signal d'entrée (ou message) qui peut être numérique ou analogique. Fondamentalement, un signal est toujours une grandeur physique analogique et cette discrimination réfère donc au contenu de l'information qu'il transporte.

Un signal analogique prend des valeurs continues et varie en amplitude, fréquence et phase.

Un signal numérique prend une série de valeurs discrètes représentées par un signal élémentaire appelé moment. Le débit de moments s'exprime en Bauds. Chaque moment qui dispose de M valeurs discrètes peut transporter $\log_2 M$ éléments binaires.

Les signaux analogiques peuvent être convertis en signaux numériques et inversement par des équipements appelés codeur/décodeur (CODEC) ou modems (modulateur/démodulateurs).



Numérisation d'un signal analogique

Le signal d'entrée n'est généralement pas adapté au milieu de transmission ; il devra être mis en forme par l'émetteur pour constituer le signal émis. Cette mise en forme peut mettre en œuvre diverses techniques de codage et de modulation. Il en est de même pour la réception.

II.2.2 Transmission analogique et numérique

La transmission de la source à la destination met en œuvre des systèmes de transmission. On distingue les systèmes de transmission numériques et les systèmes de transmission analogiques.

Un système de transmission analogique transmet les signaux analogiques sans se préoccuper de leur contenu (ex : voix, fréquences de modem).

Le système de transmission numérique transmet des signaux numériques en se préoccupant de la valeur discrète de chaque moment. Lorsqu'après une certaine distance, le signal numérique est atténué et distordu et que la distinction de la valeur du moment risque d'être ambiguë, le signal numérique est reconstitué via des équipements appelés régénérateurs (ou répéteurs). L'erreur qu'on peut commettre est de se tromper sur la valeur du moment, ce qui influe sur la qualité de l'information transmise en termes de BER (« Bit Error Rate »).

II.2.3 Principe de la transmission numérique

Les réseaux de télécommunication d'aujourd'hui utilisent en général la technique de transmission numérique.

a- Représentation d'une chaîne de transmission numérique

Le but d'une transmission numérique est de transmettre un message numérique venant d'une source de message vers le destinataire. Cependant les données numériques doivent subir un certain nombre de transformations avant d'être transmises, et une autre série de transformations est effectuée dans le récepteur pour obtenir à nouveau les données numériques envoyées. Les différentes étapes seront explicitées successivement dans le schéma ci-dessous :

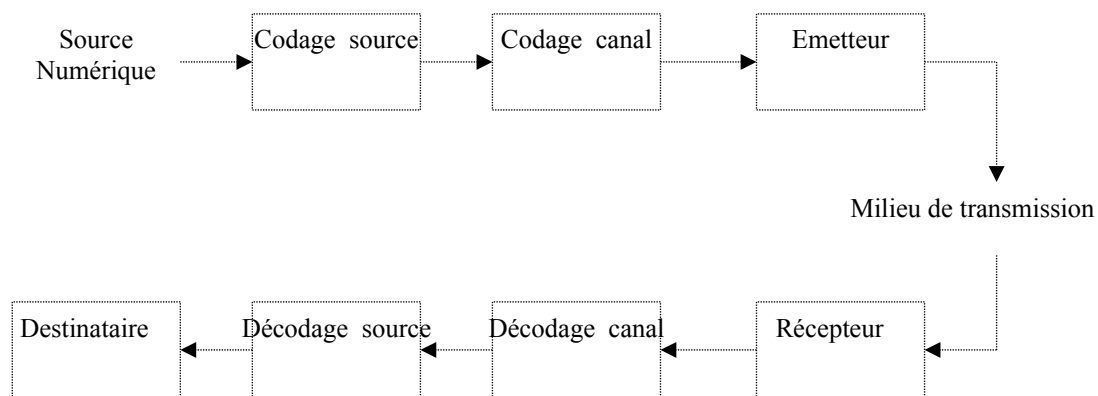


Schéma de principe d'une chaîne de transmission numérique

b- Codage source

Il est utilisé uniquement pour les transmissions numériques, permet de supprimer toute redondance dans le message issu de la source d'information. Après codage de source, le message est sous forme concise c'est-à-dire qu'il est représenté à l'aide d'un nombre minimal de symboles. Et chacun de ses symboles doit être fidèlement transmis, cela vient du fait que le message est constitué par une suite d'éléments binaires mutuellement indépendants et prenant les valeurs 0 et 1, avec des probabilités p_0 et p_1 .

Caractérisons cette source codée par le sigle i-i-d, qui signifie source à éléments binaires indépendants et identiquement distribués sur l'alphabet $\{0,1\}$.

c- Codage canal

C'est aussi une fonction spécifique aux transmissions numériques, introduit de nouveau de la redondance dans le message issu du codeur de source suivant une loi donnée. Cette redondance, connue du décodeur de canal, permet de détecter, voire corriger les erreurs de transmission. Le principe est comme suit, si la loi imposée est respectée, on considère qu'il n'a pas eu d'erreurs de transmission. Dans le cas contraire, on détecte la présence d'erreurs que l'on peut éventuellement corriger. Le codage canal n'a pas véritablement son équivalent en transmission analogique.

Les codes cycliques (CRC), les codes convolutifs, les codes de parité, ... font parti de ce type de codage.

d- L'émetteur

Puisque la suite d'éléments binaires représente le message numérique est une grandeur qui ne déplace jamais, on ne peut pas l'émettre appelé grandeur abstrait, il est nécessaire de lui associer une représentation physique, sous forme d'un signal électrique. C'est la première fonction de l'émetteur, connu en général opération de modulation.

Cette opération consiste à associer à chaque mot de n éléments binaires (n - uplet) issu du message, un signal $S_i(t)$, $i = 1, \dots, M$, de durée $T = nT_b$, choisi parmi $M = 2^n$ signaux, en fonction de la réalisation du n – uplet.

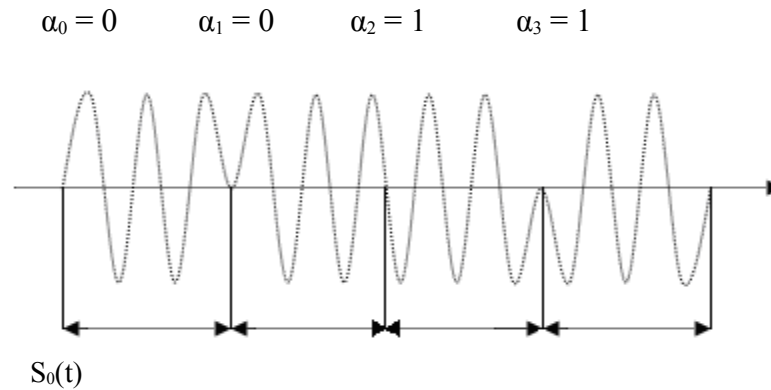
Le message binaire de débit D est donc représenté par un signal, dont on définit alors la rapidité de modulation R exprimé en Bauds, comme le nombre des signaux émis par le modulateur par unité de temps :

$$R = \frac{1}{T} \text{ (Bauds)}$$

Dans le cas de la transmission M -aire, la rapidité de modulation R peut s'exprimer en fonction du débit binaire D par la relation :

$$R = \frac{D}{\log_2 M}$$

L'opération de modulation est illustré sur la figure suivante lorsque $n = 1$, c'est à dire transmission binaire. Dans cette exemple deux signaux sinusoïdaux $S_0(t)$ et $S_1(t)$, de même fréquence et déphasés de Π , sont respectivement associés aux éléments binaires 0 et 1.



$$S_0(t - T) \quad S_1(t - 2T) \quad S_1(t - 3T)$$

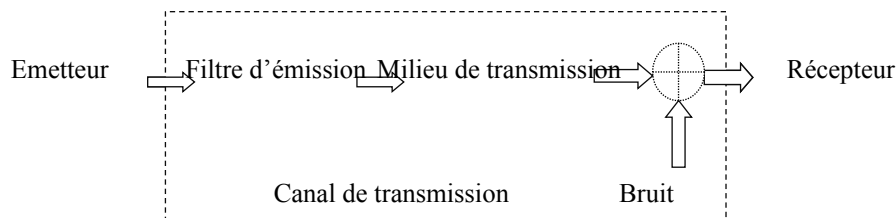
Illustration de l'opération de modulation

A part de l'opération de modulation, il ne faut pas oublier que l'émetteur se charge aussi :

- une fonction d'adaptation du signal modulé au milieu de transmission, le filtrage du signal modulé pour limiter sa bande,
- il permet à plusieurs utilisateurs de partager un même milieu de transmission sans risque d'interférence,
- et enfin lorsque la bande allouée à la transmission est centré autour d'une fréquence f_0 élevée, le modulateur élabore parfois un signal dont le spectre est centré autour d'une fréquence dite intermédiaire et plus basse que la fréquence f_0 ; l'émetteur assure alors une fonction de changement de fréquence qui permet de centrer le signal modulé autour de la fréquence f_0 souhaitée.

e- Le canal de transmission :

Le canal de transmission est un élément de la chaîne de communication toujours délicat à définir puisqu'il n'a pas la même signification selon que l'on se place du point de vue de la propagation, de la théorie de l'information ou de la théorie des communications.



Le canal de transmission

Pour ce qui nous concerne, c'est-à-dire au sens de la théorie des communications, le canal de transmission peut inclure le milieu de transmission, le bruit, mais aussi, éventuellement, le filtre d'émission placé physiquement dans l'émetteur, ainsi que les antennes d'émission et de réception pour les transmissions en espace libre.

Cette représentation du canal de transmission, illustrée sur la figure précédente, revêt un caractère plutôt symbolique mais est bien adaptée à l'analyse que nous ferons de la chaîne de transmission.

➤ Le milieu de transmission représente le lien physique entre l'émetteur et le récepteur ; il est pratiquement constitué par l'un des supports suivants :

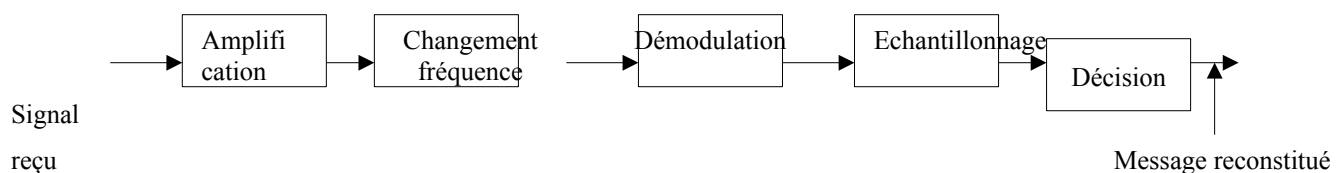
- un câble bifilaire, dont la bande passante est faible et qui est en général réservé pour les transmissions à bas débit (inférieur à 2Mbps sur le réseau téléphonique),
- un câble coaxial, qui possède une bande passante plus importante que le câble bifilaire. Le câble est utilisé pour connecter les centraux téléphoniques avec un grand nombre de communications.
- une fibre optique avec une bande passante très élevée et sa faible atténuation. Les fibres sont utilisées pour les réseaux terrestres à grande capacité (plusieurs Gbps).
- l'espace libre, qui utilise la propagation d'un code électromagnétique dans l'atmosphère.

➤ Le bruit est une perturbation aléatoire dont les origines sont le milieu de transmission (bruit externe), ou les composants électroniques utilisés dans le récepteur (bruit interne). Les contributions du bruit interne et externe seront prises en compte dans une source unique de bruit $B(t)$ située en amont du récepteur. Les dispositifs électroniques du récepteur seront alors supposés idéaux, c'est-à-dire nulle, stationnaire, indépendant du signal émis et de densité spectrale de puissance non générateur de bruit. Ce bruit peut être modélisé par un processus, aléatoire gaussien, à moyenne bilatérale $\gamma_B(f)$ uniforme :

$$\gamma_B(f) = \frac{N_0}{2} \forall f$$

f- Le récepteur :

Le principal rôle du récepteur est de retrouver l'information émis par la source à partir du signal reçu. Les blocs qui sont responsable de cette opération comprennent des circuits d'amplification, de changement de fréquence, de démodulation pour la transmission sur onde porteuse, de filtrage puis d'échantillonnage et le circuit de prise de décision.



Principe d'un récepteur pour transmission sur onde porteuse

Le changement de fréquence et le démodulateur permettent de ramener le signal modulé en bande de base. Pour minimiser l'influence de bruit, source incontournable des erreurs de transmission, le signal en bande de base est ensuite filtré puis échantillonné à des instants caractéristiques. Finalement le circuit de décision identifie la valeur des éléments binaires transmis à partir des échantillons reçus. Le choix effectué par le circuit de décision est binaire, décision 0 ou 1, ce qui correspond à une opération dite de détection.

II.3 Multiplexage et technique d'accès

II.3.1 Principe du multiplexage et de la technique d'accès

Le multiplexage est un procédé qui permet la transmission de plusieurs signaux sur un même circuit. Cette notion est souvent associée à celle de méthode d'accès, dite d'accès multiple, des différents usagers à une ressource commune.

En général, il y a trois architectures possibles basées sur trois différents concepts d'accès multiple (par ordre d'apparition chronologique) :

- ◆ Le FDMA (Frequency Division Multiple Access) ou AMRF (Accès Multiple à Répartition Fréquentielle)
- ◆ Le TDMA (Time Division Multiple Access) ou AMRT (Accès Multiple à Répartition dans le Temps)
- ◆ Le CDMA (Code Division Multiple Access) ou AMRC (Accès Multiple à Répartition dans les Codes)

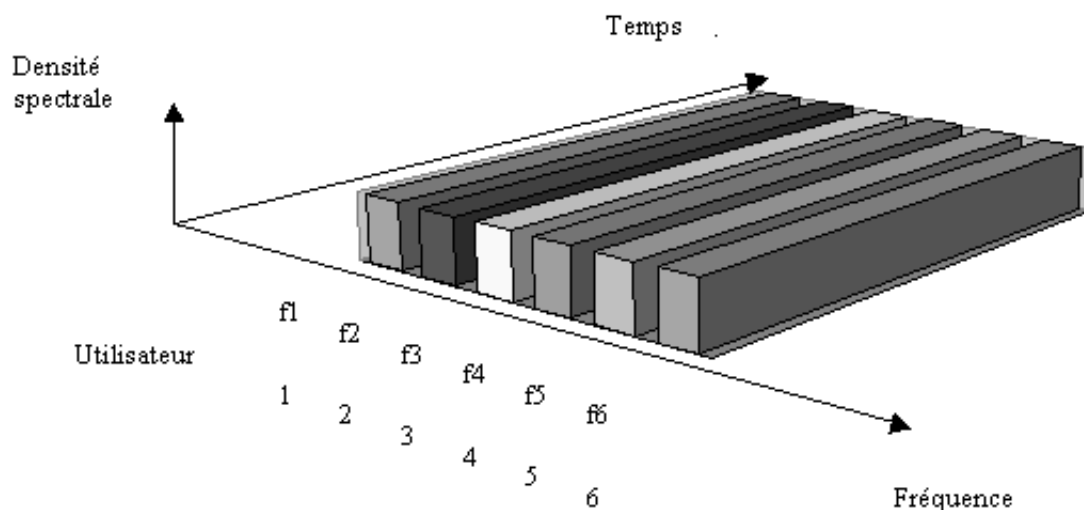
Et pour la transmission par fibre optique il y a le WDM ("Wavelength Division Multiplexing")/ou multiplexage par longueur d'onde.

II.3.2 L'accès multiple à répartition fréquentielle

Dans une architecture FDMA, chaque utilisateur se voit attribué une bande de fréquence donnée pour toute la durée de la communication. Les canaux (fréquences) disponibles sont assignés à la demande, sur la base du premier arrivé, premier servi, à des utilisateurs demandeurs pour écouler un appel, ou à ceux pour qui un appel arrivant a été reçu. Chaque fréquence ne transmet qu'une seule communication à un moment donné.

Dans les systèmes FDMA modernes, un ou plusieurs des canaux disponibles est utilisé comme *canal de contrôle*. Dans le cas d'un appel lancé par un mobile, la demande d'appel comprenant la transmission des bits de numérotation et quelquefois d'autres opérations d'initialisation, est transmise sur ce canal du mobile vers la base.

La base transmet ensuite sur ce canal des instructions au mobile pour le commuter vers une fréquence de conversation pour transmettre. L'assignation de fréquence est menée à bonne fin rapidement et automatiquement ; elle est transparente pour l'utilisation mobile.



Partage des ressources dans le cas du FDMA

a- Les caractéristiques les plus importantes du FDMA

- **Un seul circuit par porteuse** : chaque canal FDMA est conçu pour ne transporter qu'un seul circuit téléphonique.

- **Transmission continue** : une fois que le canal de conversation a été attribué, l'unité mobile et la base transmettent toutes les deux continûment et simultanément.
- **Largeur de bande étroite** : car les canaux FDMA ne transmettent qu'un circuit par porteuse
- **Nécessité d'un espace de garde entre les canaux**: car il est impossible de concevoir un émetteur qui n'émet strictement que dans la bande de fréquence allouée
- **C'est une technique entièrement analogique.**

b- Avantages du FDMA

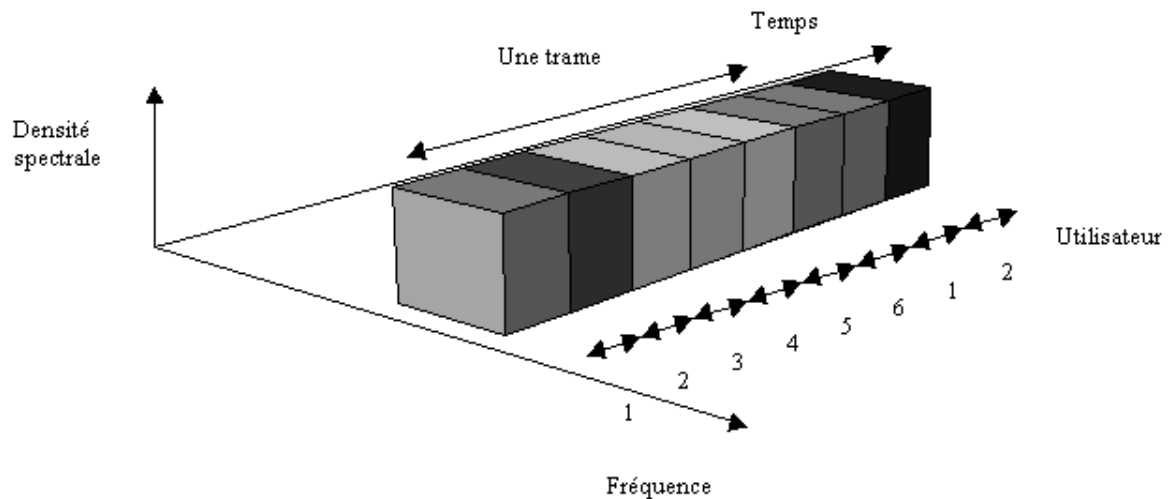
- **Une certaine immunité face à l'étalement de délai** : car généralement le débit est faible, d'où la durée des symboles est assez importante, ce qui procure une certaine immunité face à *l'étalement de délai*.
- **Complexité moindre de l'unité mobile** : à priori les unités en question n'ont pas besoin de dispositifs d'égalisations, de synchronisations et des formatages complexes. Les bits supplémentaires nécessaires pour assurer la synchronisation est très faible car la transmission du ou vers le mobile est continue (l'usage du canal n'est pas multiplexé).

c- Inconvénients du FDMA

- **Nécessité d'un grand nombre d'équipement pour desservir un nombre donné d'abonné** : un émetteur, un récepteur, deux codecs, et deux modems pour chaque circuit.
- **Le coût partagé par abonné est élevé**
- **La nécessité d'un duplexeur** : par le fait que l'émetteur et le récepteur doivent opérer en même temps.
- **Complexité du transfert automatique de cellule** : Du fait que la transmission FDMA est continue, la réalisation du transfert vers un autre canal dans une autre cellule est plus difficile que dans le système TDMA, où l'on puisse profiter d'un intervalle de temps libre pour réaliser le transfert.

III.3.3 L'accès multiple à répartition dans le temps

Dans un système TDMA, chaque canal radio transporte un certain nombre de circuits banalisés qui sont multiplexés dans le temps. Chaque canal est ainsi divisé en plusieurs intervalles de temps. La réalisation de l'accès multiple en TDMA se fait par une correspondance « temps – fréquence ». L'attribution des circuits aux utilisateurs se fait appel par appel, sous le contrôle de la station de base. L'émission d'un appel est réalisée sur un intervalle de temps de contrôle séparé.



Partage des ressources dans le cas du TDMA

a- Avantages du TDMA

- **Transmission par paquets** : ceci influe sur l'effet des interférences, car à un moment donné il n'y a qu'une partie des mobiles en opération qui sont réellement en émission.
- **Coût de système partagé plus bas** : car chaque canal radio est effectivement partagé par un grand nombre d'abonné.

- **Non nécessité d'un duplexeur** : il devient possible d'émettre et de recevoir sur des intervalles de temps différents, ce qui permet de remplacer les circuits duplexeurs par des circuits de commutation rapide, et qui de ce fait permet de réduire le coût de l'unité mobile.
- **Facilité de transfert automatique de cellule** : par le fait que l'émetteur TDMA est inactif pendant des intervalles de temps libres, ce qui permet de mettre une procédure de transfert automatique de cellule plus efficace.

b- Inconvénients du TDMA

- **Une grande sensibilité aux «délais d'étalement»** : Le fait de multiplexer un certain nombre de circuits sur un même canal, provoque inévitablement l'accroissement du débit de ce dernier. Ceci entraîne la diminution de la durée d'un symbole jusqu'à frôler l'étalement moyen des données, d'où la nécessité d'une égalisation plus poussée.
- **Une plus grande complexité du mobile** : Le traitement numérique nécessaire augmente notablement la complexité du mobile qui devient un dispositif de communication complexe et non plus un simple émetteur – récepteur.
- **Une plus grande quantité de bits supplémentaires** : Le récepteur doit récupérer la synchronisation à chaque paquet. Des bandes de garde sont nécessaires pour séparer les intervalles de temps les uns des autres au cas où des délais de propagation non égalisés feraient qu'un utilisateur lointain se glisse dans l'intervalle de temps adjacent de celui d'un utilisateur proche. On a besoin pour cela dans un système TDMA, de plus de bits supplémentaires pour implémenter ces temps de garde. Ces bits peuvent atteindre la proportion de 20 à 30 % du total des bits transmis, ce qui est vraiment très pénalisant.

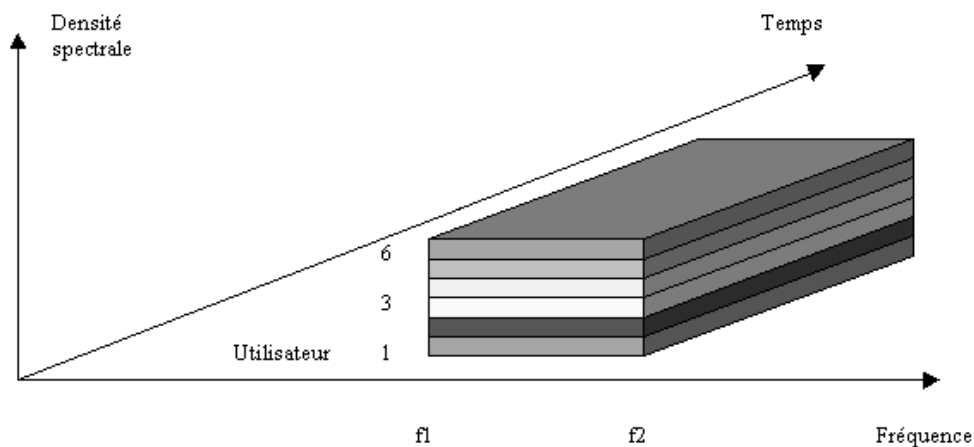
- **Une limitation de la zone de couverture** : Le temps de garde entre les différentes communications multiplexées sur un seul canal ne peut pas dépasser une valeur donnée. Si l'émetteur est très éloigné du récepteur, le temps de garde peut dépasser la valeur limite et il y aura chevauchement entre deux communications adjacentes. Ceci va se traduire par la perte de la liaison : la communication ne pourra pas aboutir.

II.3.4 L'accès multiple à répartition dans les codes

Chez les deux systèmes précédemment cités, chaque utilisateur émet durant son intervalle de temps (TDMA) ou à travers la fréquence allouée par le système (FDMA). Ceci a pour principal avantage de supprimer théoriquement les interférences entre les différents usagers du système.

Cependant cette allocation statique de la ressource fréquentielle ne fait pas une utilisation efficace du canal lorsque la transmission effectuée par chaque utilisateur n'est pas fréquente ou se fait en rafale. Par exemple en téléphonie mobile, les études menées ont permis de déterminer que les usagers de ces téléphones parlent moins de 50% du temps durant lequel dure la conversation, laissant donc leur canal oisif pendant les 50% restant. On voit donc aisément que pour de tels cas, une technique de multiplexage plus efficace est souhaitable, qui sera capable d'allouer dynamiquement les ressources en canal en fonction des besoins des utilisateurs actifs en un moment donné.

Les techniques d'étalement du spectre sont à l'origine de l'architecture CDMA. Dans ce type d'accès multiple, une bande de fréquence très large est allouée pour tous les utilisateurs et la distinction entre les diverses communications se fait au moyen de techniques de codage appropriées. Ici on affecte à un mobile un code particulier qui possède une certaine orthogonalité vis à vis des autres codes utilisés par les autres usagers. Cependant en pratique, l'attribution de codes parfaitement orthogonaux à tous les utilisateurs peuvent introduire une limitation sensible de la capacité du système. La plupart du temps on doit se contenter d'utiliser des codes « presque orthogonaux », ce qui va se traduire par une augmentation progressive de la probabilité de « collision » de 2 communications utilisant 2 codes se « chevauchant » partiellement, avec le nombre de communications en cours.



Partage des ressources dans le cas du CDMA

A la différence des systèmes FDMA et TDMA, la surcharge du système ne se traduit plus par l'impossibilité de communiquer, ou par une attente longue, mais par une qualité de transmissions de plus en plus dégradée.

Mais CDMA possède plusieurs avantages, qui peuvent faire pencher la balance de son côté lors du choix pour un nouveau système (surtout pour les mobiles):

- plus grande capacité en terme de nombre d'utilisateur par cellule à cause d'une meilleure efficacité spectrale et une meilleure utilisation de la ressource « fréquence »
- meilleure confidentialité des transmissions
- meilleure résistance contre les brouillages et les interférences
- une bonne protection contre les « fadings » dus aux propagations par trajets multiples
- une meilleure répartition de la gestion du système
- une meilleure flexibilité en vue d'une maintenance dans le futur
- une bonne adaptation à la transmission de données numériques par « rafales » puisqu'il est facile de créer un circuit virtuel permanent qui n'est utilisé que lorsque les données sont à transmettre.

II.3.5 Multiplexage par longueur d'onde WDM ("Wavelength Division Multiplexing")

Utilisée dans les systèmes de transmission sur FO (Fibre optique), il s'agit d'utiliser plusieurs porteuses avec des longueurs d'onde différentes qui véhiculent des flux de bits distincts. Par exemple, au lieu de transporter 10 Gbit/s sur 1 longueur d'onde, on transporte 4 systèmes de 2,5 Gbit/s sur 4 longueurs d'onde. L'avantage dans ce cas est de pouvoir augmenter la distance sans répéteurs.

II.4 Systèmes numériques

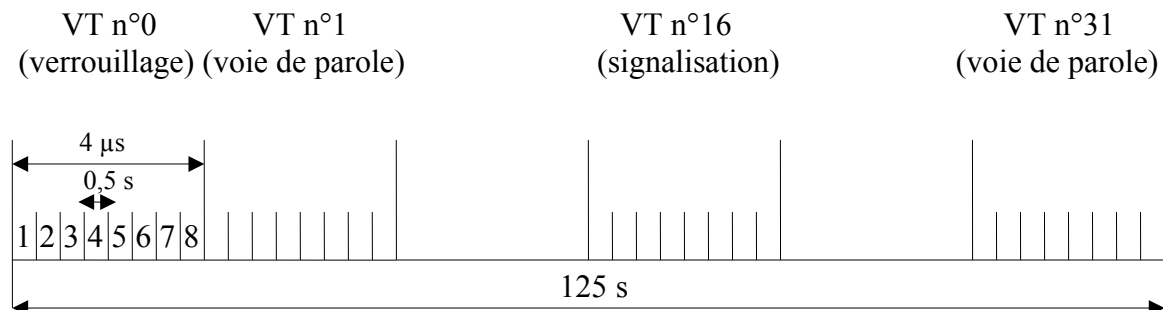
Les systèmes numériques actuellement en usage se répartissent en 2 grandes familles :

- PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy
- SDH : Synchronous Digital Hierarchy.

II.4.1 PDH (Hiérarchie numérique plésiochrone)

La modulation par impulsions et codage (MIC) est une technique de transmission utilisée pour transporter un signal analogique sous une forme numérique. Cette technique permet d'augmenter la capacité des supports en nombre de voies.

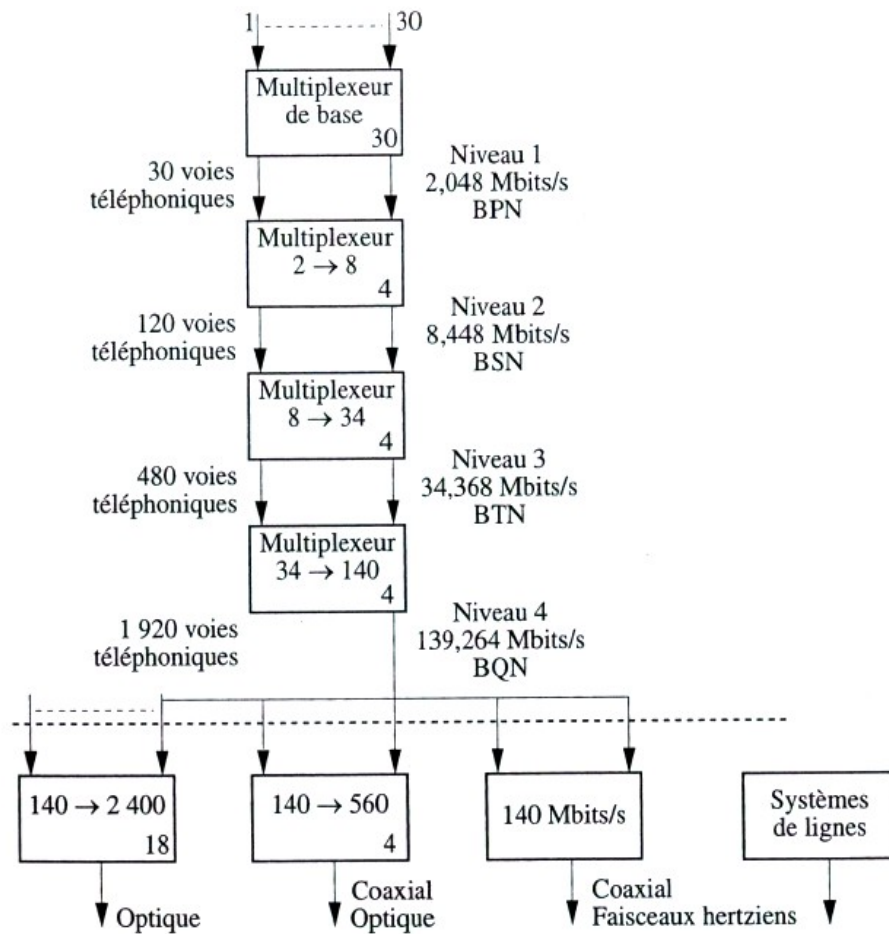
La fréquence d'échantillonnage retenue est $F = 8000$ échantillons/s ou une période d'échantillonnage de $1/8\,000 = 125\ \mu\text{s}$. Le codage en ligne se fait sur 8 bit/s, il ne prend que $4\ \mu\text{s}$ (exactement $3,9\ \mu\text{s}$) toutes les $125\ \mu\text{s}$; compte tenu des techniques utilisées, il reste donc $125 - 4 = 121\ \mu\text{s}$ pour multiplexer d'autres signaux sur le même support.



Répartition de 32 voies temporelles dans une trame

Une trame est composée de 32 voies temporelles (VT), 30 voies de parole et 2 voies de service, la VT n° 0 (verrouillage de trame) et la VT n° 16 (signalisation). Chaque voie comprend 8 bits correspondant à un échantillon du signal analogique.

Le codage binaire de ces 8 bits permet d'obtenir $2^8 = 256$ plages d'échantillonnage. Le débit d'une voie temporelle est de $8\,000 \times 8 = 64\,000$ bits ou 64 kbit/s. Le débit de la trame complète de 32 voies est de $64 \times 32 = 2\,048$ kbit/s, constituant le premier niveau hiérarchique : 2 mégabits. Les autres niveaux hiérarchiques sont obtenus par multiplexages successifs.



La hiérarchie numérique plésiochrone

Cette hiérarchie travaille en synchrone lorsque l'instant de départ de la communication a été choisi, l'instant de départ étant lui asynchrone. Un train numérique est dit plésiochrone si son débit est obtenu à partir d'une fréquence d'horloge prise dans une plage de fréquences ΔF autour d'une fréquence nominale F .

II.4.2 SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

L'inconvénient de la PDH est qu'il faut démultiplexer complètement l'ensemble des différents ordres de multiplexage pour extraire un signal. De plus, la synchronisation de chaque émetteur avec chaque récepteur est nécessaire pour une transmission « sans erreur ». Ceci est parfois délicat à obtenir dans des systèmes où les horloges donnant le rythme sont réparties sur les émetteurs et les récepteurs. Pour palier ces problèmes une nouvelle hiérarchie de système de transmission a vu le jour : la "Hiérarchie, Numérique Synchrone" ou "Synchronous Digital Hierarchy (SDH en Europe et SONET aux USA). L'un des aspects principaux est que tous les équipements de cette hiérarchie de "multiplexeur" possèdent la même horloge. Cela peut s'obtenir si une seule horloge délivre des impulsions donnant le rythme à tous les équipements de l'ensemble du réseau national via un réseau de fibres optiques.

Le premier niveau de cette hiérarchie est le STM1 (155,52 Mbit/s) (STM : Synchronous transfer module). Les niveaux supérieurs sont :

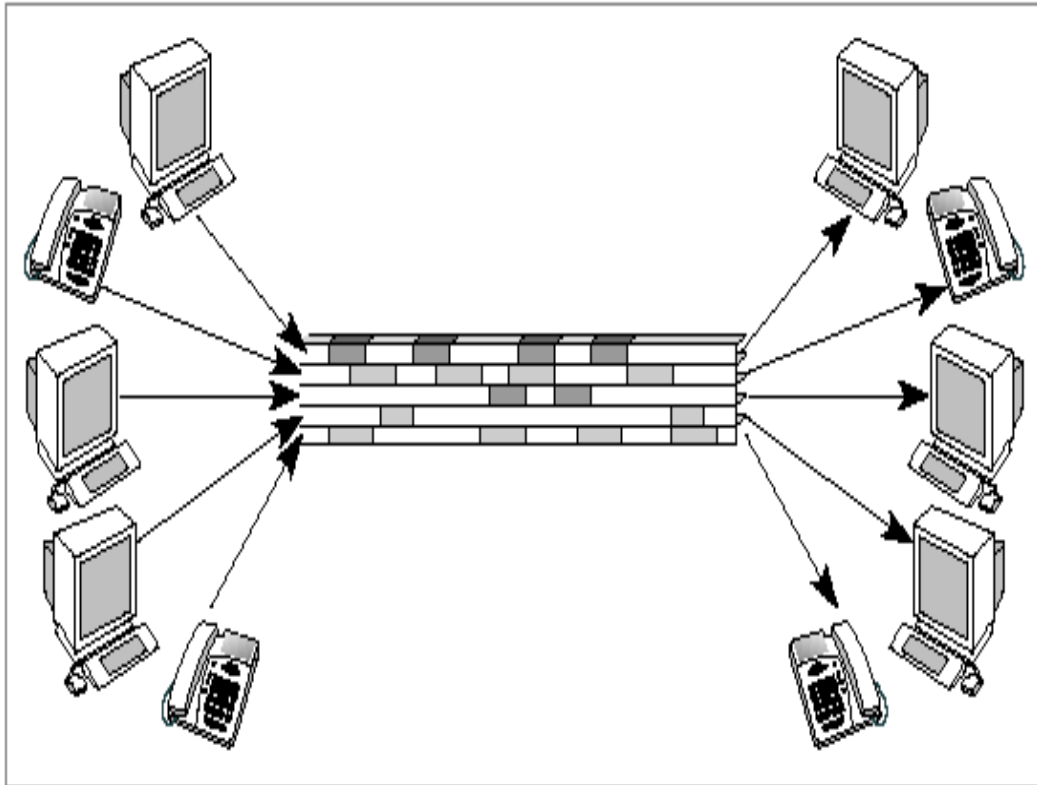
- STM 4 à 622,08 Mbit/s
- STM16 à 2488,32 Mbits/S (dit 2,5Gbit/s)
- STM 64 à 9953,28 Mbits/s (dit 10 Gbit/S)

Ces informations ne transitent plus sur des câbles, mais sur des fibres optiques.

II.5 Systèmes de commutation

II.5.1 Commutation de circuits

La commutation de circuit est un type de commutation dans lequel un circuit joignant deux interlocuteurs est établi à leur demande par la mise en bout à bout de circuits partiels. Le circuit est désassemblé à la fin de la transmission.



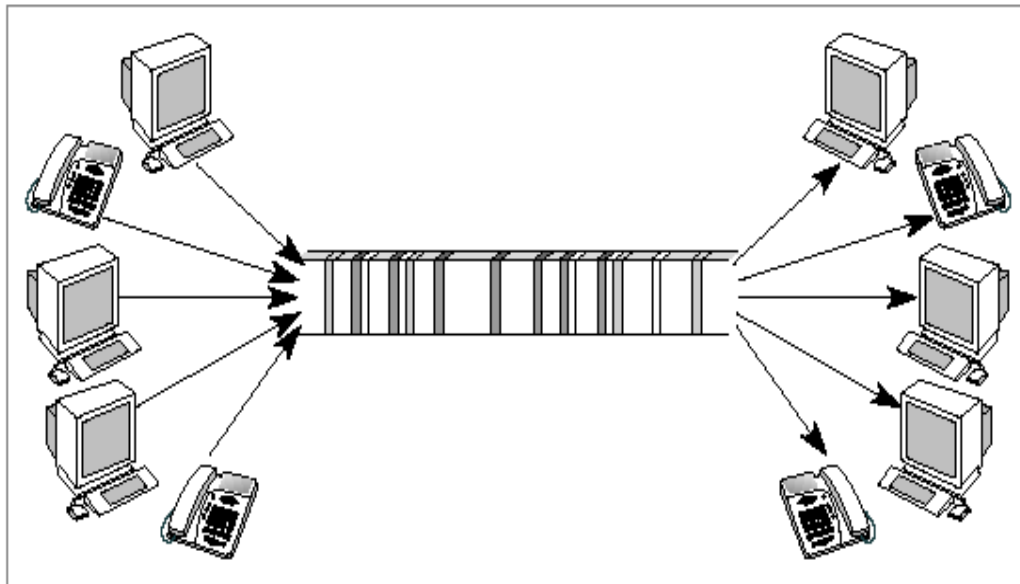
Commutation de circuits (5 circuits)

Il faut nécessairement avoir une signalisation. La signalisation correspond aux éléments à mettre en œuvre dans un réseau de façon à assurer l'ouverture, la fermeture et le maintien des circuits.

II.5.2 Commutation de paquets

Un paquet est l'entité de base acheminée par les réseaux. Un paquet contient un nombre variable ou fixe d'éléments binaires. Longtemps assez courts, de façon à optimiser les reprises sur erreur, les paquets se sont allongés à mesure que les taux d'erreur diminuaient. Ils peuvent atteindre aujourd'hui plusieurs milliers d'octets.

Transfert de paquets : technique générique consistant à transporter des blocs d'information, dénommés paquets, de nœud en nœud pour les acheminer à un récepteur.



Commutation de paquets

II.5.3 Commutation par paquets (X25)

Introduite dans les années 60, elle est basée sur des paquets de données de longueur variable et pour des réseaux avec une mauvaise qualité de transmission. Les protocoles mis en oeuvre par le réseau opèrent au niveau des couches 1, 2 et 3 du modèle OSI (Open system International).

II.5.4 Relais de trame et la commutation de trames ("Frame Relay" et "Frame Switching")

La qualité du réseau de transmission s'étant accrue (i.e. transmission numérique sur coaxiaux et fibres optiques), il est plus efficace de relaxer les contraintes imposées sur les réseaux pour la correction des erreurs au profit de la vitesse.

Les commutateurs opèrent au niveau des couches 1 et 2 du modèle OSI (Open System Interconnexion) et laissent le soin aux terminaux d'assurer la correction des erreurs de bout en bout. La conception des commutateurs devient plus simple et les gains de vitesse substantiels : pratiquement, on estime que 2Mbit/s est la vitesse optimale économique actuellement pour les réseaux X25. Le relais de trame pourrait théoriquement opérer jusqu'à 140 Mbit/s.

II.5.5 ATM (Asynchronous Transfer Mode)

Les paquets utilisés sont de longueur fixes (appelés cellules, de longueur = 53 octets ; 48 octets d'information et 5 octets d'en tête). La longueur fixe de la cellule et le fait que le réseau n'opère plus que sur les couches 1/2 assurent une très grande vitesse.

Chapitre 3

Réseau d'accès

III.1 Présentation

Les réseaux d'accès forment la partie qui relie l'équipement terminal de l'utilisateur et le réseau de l'opérateur. Cette partie est parfois désignée par l'expression « derniers kilomètres du réseau ».

III.2 Réseaux d'accès fixe

III.2.1 Réseau Téléphonique Commuté (RTC)

Le réseau public de téléphonie utilise une paire de cuivre comme support physique. Le réseau d'accès téléphonique est un réseau dédié basé sur la commutation de circuits (TDM).

Il possède de nombreuses interconnexions afin de gérer les communications internationales, fixes vers mobile ou encore d'un opérateur à un autre pour une même communication.

Le RTC est aussi de plus en plus utilisé pour un accès à Internet en mode commuté. Historiquement utilisé pour fournir des services de voix analogique, il a intégré les technologies numériques autorisant de nouveaux services. Le RNIS est un service de téléphonie numérique qui permet de fournir des services voix et données à des débits de 64 ou 128 kbit/s en utilisant la paire de cuivre traditionnelle.

III.2.2 Technologies xDSL

Les technologies xDSL permettent d'utiliser les paires de cuivre du réseau public de téléphonie afin d'offrir des services de données à haut débit. Différents types de technologies xDSL, offrant des débits symétriques ou non, ont été développés ou sont en cours de spécification pour offrir l'adéquation entre les technologies utilisées et les services souhaités, ainsi qu'une augmentation des débits utilisables.

Le mot DSL (Data Subscriber Line) indique une ligne d'abonné pour les données. Le x devant DSL précise le type de modem.

Le modem le plus classique est précisé par un A (Asymmetric) devant le signe ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), qui donne un débit asymétrique, quatre fois plus important dans le sens descendant que dans le sens montant.

La technologie d'accès ADSL permet un accès illimité à Internet : la notion de durée de connexion tendra à disparaître au profit de la notion d'accès à des services haut débit.

III.2.3 Réseaux de données IP et Ethernet

Les réseaux de données se composent traditionnellement d'un réseau local (LAN) sur lequel sont rattachés les équipements terminaux ou postes clients, de commutateurs ou routeurs, et d'un réseau distant (WAN Wide Local Area Network) composé de liaisons de données qui interconnectent les différents sites. Le protocole de transport de données actuellement le plus largement utilisé est IP.

Ethernet est la technologie LAN la plus commune, qui utilise historiquement des câbles coaxiaux ou des paires torsadées pour des débits de transmission jusqu'à 10 Mbit/s ou 100 Mbit/s (Fast Ethernet) et plus récemment 1 Gbit/s (Gigabit Ethernet).

III.2.4 Liaisons par fibre optique

Cette technologie a été développée pour permettre un transport de trafic à très haut débit. Elle a été à l'origine surtout utilisée :

- Pour les réseaux longs distance. En effet, une fibre optique monomode peut supporter des transferts allant jusqu'à 200 Gbit/s sur des dizaines de kilomètres sans répéteur. Ainsi tous les réseaux longue distance reposent sur le support optique et utilisent les technologies PDH ou SDH sur DWDM.
- Plus récemment pour l'interconnexion des sites d'entreprises aux réseaux des opérateurs, pour les services de données, en complément du réseau téléphonique.

III.2.5 Accès par câble - HFC (Hybrid Fibre Coaxial)

L'utilisation du câblage des opérateurs vidéo est une solution pour obtenir un réseau de distribution haut débit. Ce câblage a pendant longtemps été constitué de CATV (Câble TV), dont la bande passante dépasse facilement les 800 Mhz.

Les systèmes HFC associent une partie en fibre optique entre la tête de réseau, et le début de la desserte par le CATV. Elle combine les avantages de la large bande passante de la fibre optique (utilisée au plus près de l'abonné) et les coûts faibles de la technologie câble coaxial (utilisée pour la desserte terminale).

L'utilisation du HFC pour la transmission de données uniquement permet d'atteindre des débits de l'ordre de 5 Gbit/s avec les modulations actuelles les plus performantes.

III.2.6 Courant porteurs en Ligne (CPL)

La technologie CPL (Courant Porteurs en Ligne) ou PLC en anglais (PowerLine Communication) est une solution pour l'accès à la boucle locale d'abonné dans des zones non desservies par d'autres techniques. La simplicité apparente de sa mise en œuvre et la capillarité du réseau électrique Basse Tension existant présente des perspectives intéressantes pour la desserte locale du client final.

La première génération des spécifications du PLC autorisera des débits de transmission de données dans les bâtiments de l'ordre de 5 à 10 Mbit/s, ce qui permettra la mise en œuvre d'applications comme le streaming audio ou multimédia et la voix sur IP.

III.3 Réseaux d'accès fixe sans fil/radio

III.3.1 Boucle locale radio (BLR)

La technologie hertzienne peut être facilement utilisable dans la boucle locale. C'est le but des techniques WITL (Wireless In The Loop), qui permettent, avec un minimum d'infrastructure terrestre, de relier un opérateur à ses clients.

Le principe de la BLR consiste à remplacer les derniers kilomètres de lignes filaires arrivant au foyer de l'abonné par des liaisons radio directives en mode point à multipoint entre une station de base (BS) reliée au réseau opérateur et plusieurs stations terminales (TS) reliées aux réseaux clients. Le lien radio ne peut couvrir qu'une distance maximale de 5 ou 6 kilomètres dans la bande des 26 GHz et d'une dizaine de kilomètres dans la bande 3,5 GHz.

Le réseau BLR se contente d'encapsuler les données dans des trames et ainsi ne limite aucunement les types de services pouvant être offerts. La technologie utilisée pour la transmission est le LMDS (Local Multipoint Distribution Services). Aujourd'hui, les services utilisant la technologie «LMDS» prévus selon les déclarations des opérateurs BLR couvrent une large gamme de services de communication, à savoir :

- L'accès à Internet haut débit,
- Les liaisons louées,
- La téléphonie de base,
- Les réseaux privés virtuels (VPN Virtual Private Network) et l'interconnexion de LAN,
- Le transfert de fichier en temps réel, la vidéo streaming

III.3.2 Accès satellite

Le réseau d'accès peut utiliser les techniques de distribution par satellite. A partir d'un utilisateur ou d'un point de regroupement d'utilisateurs, il est possible de passer par un satellite pour accéder à un point d'accès du réseau d'un opérateur.

Deux grands types de satellites peuvent être distingués : les satellites de diffusion, dits traditionnels, et les satellites multimédia de nouvelle génération. Les satellites multimédia sont généralement bidirectionnels, c'est-à-dire permettant une voie de retour. L'objectif de ces satellites large bande est de diffuser un contenu spécifique à un utilisateur (configuration "unicast"), ou à un groupe d'utilisateurs (configuration "multicast").

Trois grandes familles de service peuvent être envisagées avec ces satellites : les services "multicast" basés sur la diffusion point à multipoint, les services à la demande basés sur une diffusion point à point, et les services d'accès à Internet.

III.3.3 Réseaux locaux sans fil (WLAN Wireless Local Area Network)

Les réseaux locaux sans fil sont en plein développement du fait de la flexibilité d'interface, qui permet à un utilisateur de changer de place dans l'entreprise tout en restant connecté. Ces réseaux atteignent des débits de plusieurs mégabits par seconde voire de plusieurs dizaines de mégabits par seconde. Bien que plusieurs de ces réseaux, tels Wi-Fi, HiperLAN et Bluetooth, ne soient pas directement des réseaux d'accès, ils commencent aujourd'hui à être utilisés pour recouvrir une ville ou une agglomération.

Les technologies WLAN permettent d'établir des réseaux locaux IP sans fil, entre des ordinateurs et périphériques. Les WLAN, comme les systèmes cellulaires, utilisent des stations de base pour communiquer avec des ordinateurs portables. A la différence de la BLR, les réseaux WLAN permettent de gérer la mobilité des utilisateurs au niveau IP.

III.3.4 L'accès sans fil Bluetooth

Contrairement aux technologies WLAN ou BLR qui s'appuient sur une architecture centralisée, Bluetooth ne nécessite pas de point d'accès puisque les connexions peuvent être directement effectuées entre les appareils.

Initialement, l'utilisation de Bluetooth est prévue pour des connexions de très courte portée (dialogue entre périphériques, concept de « réseau personnel » ou desserte de l'ordre de quelques mètres).

Cependant, Bluetooth pourrait évoluer pour être utilisé comme réseau d'accès afin d'offrir des services similaires à ceux du WLAN.

III.3.5 Téléphonie sans fil : le DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)

Le DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) est une norme européenne d'accès radio cellulaire numérique « sans fil » dont la première version a été publiée par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en 1992, qui s'appuie sur un mode d'accès TDMA/ FDD (Frequency Division Duplex). Il bénéficie de procédures de sécurité (authentification, chiffrement) importantes.

Les principales différences du DECT par rapport aux principaux systèmes cellulaires numériques sont que :

- Alors que les systèmes cellulaires sont développés pour une large couverture géographique, la norme DECT est optimisée pour une couverture locale (20-300m) avec une forte densité d'utilisateurs. Elle concerne plutôt les PABX (Private Automatic Branch eXchange).
- La sélection et l'allocation des canaux de fonctionnement pour une communication sont automatiques, et ne nécessitent aucune planification de fréquences, et la gestion de la mobilité en DECT est plus restreinte, son domaine d'application étant le « sans fil » (réseaux locaux) plutôt que le « mobile ».

Depuis 1995, la norme DECT a en effet été constamment étendue pour supporter :

- un service de transmission de données asynchrone en mode paquet appelé DPRS (DECT Packet Radio Service). Les débits supportés sont de 552 kbit/s actuellement, avec une évolution prévue jusqu'à 2 Mbit/s. Le DPRS supporte notamment les connexions V.24 et Ethernet TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol)
- d'autres modes de transmission de données, comme la transmission isosynchrone à 32 kbit/s, ou des services de messaging analogues au GSM : DECT-SMS (Short Message Service), EMS (Enhanced Message Service) ou MMS (Multimedia Message Service).
- des services multimédia. Les systèmes DECT ont été enrichis d'un DECT Multimedia Access Profile (DMAP) incluant le GAP (profil d'accès des terminaux pour la voix) et le DPRS (pour les données).
- Le WAP (Wireless Access Protocol). Le DECT a en effet été intégré comme réseau d'accès possible dans les spécifications du protocole WAP.

- L'interopérabilité avec les réseaux mobiles 3G. L'évolution des services de données du DECT vers le haut débit est une des raisons pour lesquelles le DECT fait partie des normes de réseaux d'accès regroupés au sein de la famille IMT-2000 pour les services mobiles de nouvelle génération.

III.4 Les réseaux d'accès mobile

III.4.1 Radiocommunications : le GSM et le GPRS

Le GSM (Global System for Mobile communications) est une norme européenne de système de radiocommunications numérique. Le système GSM avait initialement vocation à la fourniture de services voix dans un environnement mobile. L'architecture de réseau repose donc sur un ensemble d'équipements spécifiques aux réseaux mobiles, mais le GSM ayant été spécifié dans le sens d'un raccordement avec les réseaux RTC ou RNIS, la commutation de trafic s'effectue en mode circuit TDM à 64 kbit/s dans le coeur de réseau.

Le GPRS (General Packet radio Service), spécifié par l'ETSI en 1991, est un nouveau service mobile de transmission de données en mode paquet utilisant la technologie d'accès radio GSM.

Le GPRS est une technologie prometteuse pour la convergence entre téléphonie mobile et Internet car :

- Le GPRS réutilise, moyennant quelques adaptations techniques, les réseaux d'accès radio GSM et les éléments de réseaux ainsi que les procédures puissantes d'authentification et de gestion de la mobilité implémentées dans le coeur de réseau et les terminaux GSM, ce qui en simplifie le déploiement.
- Par rapport au GSM, il permet une augmentation significative des débits de transmission de données, entre 30 et 40 kbit/s dans une première phase et plus de 100 kbit/s à moyen terme (vitesse maximale théorique : 171,2 kbit/s).

- Le GPRS repose sur un transport des données en mode paquet et utilise le protocole IP au niveau du coeur de réseau, ce qui garantit une compatibilité maximale avec les réseaux Intranet et Internet.
- Le GPRS autorise le développement de nouveaux usages basés par exemple sur une connexion permanente (« always on »), et sur une facturation des services en fonction du débit de données transmis, et non plus de la durée de connexion comme en GSM.

III.4.2 Réseaux 3G UMTS

L'expression "Universal Mobile Telecommunications System" (UMTS) désigne la norme cellulaire numérique de troisième génération retenue en Europe.

Atteignant à terme 2 Mbit/s dans certaines conditions, les vitesses de transmissions offertes par les réseaux UMTS seront nettement plus élevées que celles des réseaux de seconde génération. Cette technologie nécessite le déploiement de nouveaux équipements radio par rapport au GSM et au GPRS : l'UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access).

L'UMTS constitue par rapport au GSM/GPRS plusieurs évolutions majeures :

- L'utilisation d'un nouveau réseau radio adapté pour un transport convergent des services voix et données en mode ATM de la voie radio jusqu'au coeur de réseau (une évolution vers IP est envisagée à long terme).
- Un cœur de réseau unifié pour les services voix et données, avec un transport en ATM ou IP.
- L'introduction progressive du concept de VHE (Virtual Home Environment) qui permet l'adaptation des services à toute situation de mobilité (par rapport au réseau, à l'utilisateur ou au terminal).

- Une séparation des couches Transport et Contrôle du coeur de réseau, ainsi que des couches Contrôle et Services dialoguant via des interfaces normalisées OSA (Open Service Architecture)
- A moyen terme, l'introduction de nouveaux services nativement IP multimédia basés sur le protocole de contrôle d'appel SIP.

Chapitre 4

Réseau Téléphonique Commuté (RTC)

IV.1 Organisation du RTC

Le réseau téléphonique commuté est le plus grand réseau mondial de télécommunications : il permet la mise en communication vocale d'abonnés quelconques à travers le monde.

Le RTC est organisé en 3 sous parties :

La commutation partie centrale du réseau. Elle permet de réaliser la mise en relation entre les abonnés.

La transmission : ensemble des techniques mises en œuvre pour relier les commutateurs entre eux. L'ensemble des commutateurs et des supports de transmission entre commutateurs est appelé réseau de transmission ou réseau de transport.

La distribution : organisation technique mise en œuvre pour relier les abonnés au commutateur le plus proche (commutateur de rattachement). L'ensemble des dispositifs permettant cette liaison est le réseau de distribution.

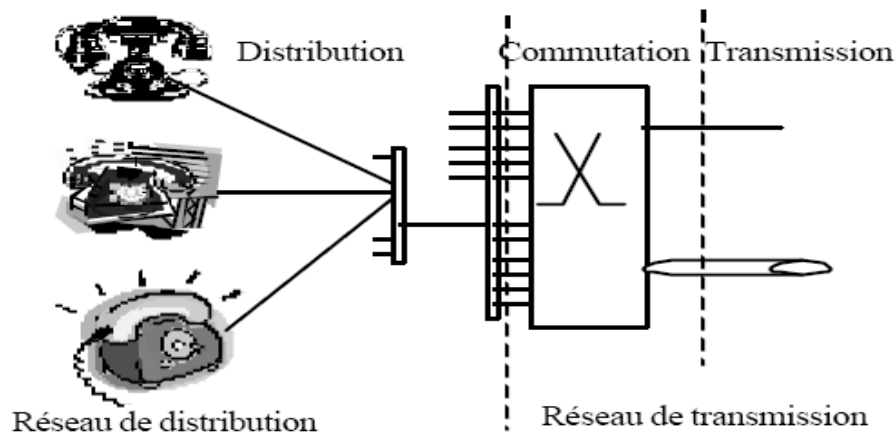
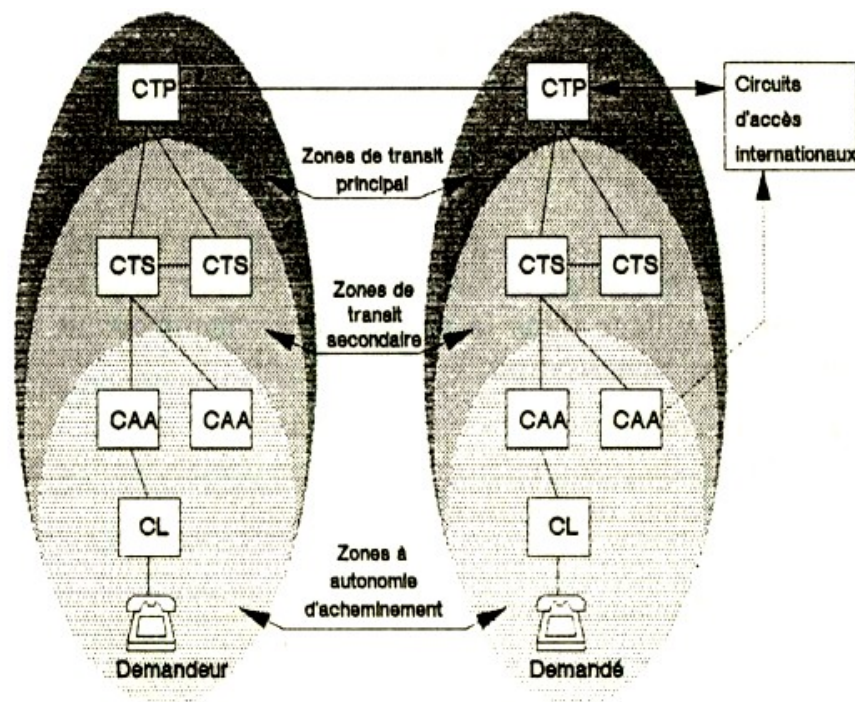


Schéma global du RTC

IV.2 Architecture du réseau commuté

Le réseau de téléphone permet de distinguer trois niveaux (zones) :

- Zone à Autonomie d'Acheminement (ZAA) : au bas de la hiérarchie, les commutateurs (CAA) accueillent les abonnés et peuvent établir différents types de communications (dont locales).
- Zone de Transit Secondaire (ZTS) : comporte les commutateurs CTS. Les abonnés ne sont pas reliés aux CTS. Ils assurent les brassages des circuits lorsqu'un CAA ne peut atteindre le CAA destinataire directement.
- Zone de Transit Principale (ZTP) : cette zone assure la commutation des liaisons longue distance. L'un des commutateurs CTP est relié au Commutateur de Transit International (CTI).



Infrastructure du réseau téléphonique

Chaque abonné est connecté, par l'intermédiaire de son centre local de rattachement (ou CL) à un commutateur à autonomie d'acheminement (ou CAA). Une zone à autonomie d'acheminement comprend, en général, un CAA. La ZAA est un réseau étoilé.

Un commutateur à autonomie d'acheminement est connecté à un centre de transit secondaire (ou CTS). Un CTS possède un lien avec un ou plusieurs CTS de proximité, définissant ainsi une zone de transit secondaire.

Au sommet de l'arborescence, chaque zone secondaire est reliée à des centres de transit principaux (CTP). Ces centres de transit sont maillés entre eux.

Dans sa partie raccordement d'utilisateur, le réseau a une structure logique en arbre (c'est-à-dire un accès de raccordement par utilisateur) même si au plan physique on peut avoir une structure parfois différente. Entre les commutateurs, le réseau est maillé.

IV.3 Techniques de multiplexage

Le Multiplexage par Répartition de Fréquence (BLU) est utilisé en transmission analogique :

- Groupe Primaire (GP) : 12 voies téléphoniques.
- Groupe Secondaire (GS) : 5 GP, 60 voies.
- Groupe Tertiaire (GT) : 5 GS, 300 voies.
- Groupe Quaternaire (GQ) : 5 GT, 900 voies.

En transmission numérique, on utilise le Multiplexage par Répartition de Temps (MIC et multiplex PDH) :

- 2 Mbit/s : 30 voies téléphoniques.
- 8 Mbit/s : 120 voies téléphoniques.
- 34 Mbit/s : 480 voies téléphoniques.
- 140 Mbit/s : 1920 voies téléphoniques.
- 565 Mbit/s : 7680 voies téléphoniques.

IV.4 Règles d'acheminement

Le réseau étant partiellement maillé, plusieurs itinéraires sont généralement possibles pour atteindre un abonné.

Pour un numéro donné, le faisceau de premier choix est choisi de telle manière qu'il conduise l'appel vers le commutateur le plus proche de l'abonné appelé en empruntant les faisceaux de plus faible hiérarchie.

IV.5 Autocommutateurs

Les autocommutateurs ont deux grandes fonctions :

- relier temporairement des lignes d'abonnés entre elles ou des lignes d'abonnés à des circuits aboutissant à un autre autocommutateur, ce sont les autocommutateurs d'abonnés ;
- relier temporairement des circuits entre eux, ce sont les autocommutateurs de transit.

L'autocommutateur comprend deux parties distinctes :

- le réseau de connexion qui établit une liaison entre les points d'entrée et de sortie ;
- la commande qui interprète la signalisation reçue. Elle émet les signaux nécessaires pour la mise en place du réseau de connexion et pour l'établissement de la suite de la liaison en aval du commutateur.

Les Unités de Raccordement d'Abonnés (URA) :

- fournissent l'énergie à l'alimentation des postes téléphoniques.
- respectent les caractéristiques électriques (boucle de courant).
- détectent le décroché et le raccroché d'un poste.
- génèrent une sonnerie vers un poste et exécutent des tests des lignes d'abonnés.
- offrent une fonction de concentration.



Architecture d'un commutateur RTC

IV.6 Problèmes du RTC

Le RTC est composé de systèmes hétérogènes, les constructeurs ainsi que les technologies (électromécanique, électronique spatial, électronique numérique de première génération, de seconde génération...) sont différentes. La longue vie des commutateurs, largement supérieure à celle des systèmes informatiques, accentue l'hétérogénéité. La coexistence de matériels des générations successives devient alors inévitable. Or, ces systèmes sont coûteux car ils nécessitent de gros logiciels. L'échange de données dans ce réseau était limité au numéro de l'appelé et pour les réseaux plus évolués le numéro de l'appelant également. Le traitement des données se fait localement, d'une manière autonome, au niveau de chaque commutateur. De plus, les réseaux classiques imposaient de ne pas modifier la priorité donnée à l'appel de base et de respecter l'association entre chaque circuit de parole et de signalisation.

L'introduction de nouveaux services tels que le numéro vert (un numéro spécifique permettant d'appeler gratuitement, à la charge de l'appelé) nécessite alors le stockage et la mise à jour de nombreuses données dans tous les centraux. Dans le cas du numéro vert, il doit être traduit en numéro de destination réelle par le réseau, il faut alors disposer d'informations de traduction stockées dans tous les commutateurs.

D'autre part, les logiciels des fournisseurs doivent aussi subir des modifications indispensables. En outre, à cause de l'hétérogénéité des commutateurs, il est difficile d'introduire de nouveaux services intégrés aux commutateurs : difficulté d'obtenir exactement le même comportement sur chaque type et d'en synchroniser la disponibilité. Les délais d'introduction de nouveaux services sont alors excessifs dans un contexte devenu concurrentiel. La structure du réseau articulée sur des commutateurs indépendants doit donc évoluer pour s'adapter à l'application du concept du réseau intelligent.

Chapitre 5

Le réseau Internet

V.1 Historique

A l'initiative de l'agence de recherche américaine Advanced Research Projects Agency, DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), des travaux de recherche entrepris dans les premières années 1970 pour interconnecter des réseaux de paquets conduisent au protocole TCP/IP. En 1968, un élément-clé venait d'être mis en œuvre pour la commutation de paquets : l'Interface Message Processors (IMP). En 1969, le comité Internet Activities Board (IAB) était créé pour suivre l'évolution de l'Internet et du protocole TCP/IP qui intégrera progressivement les protocoles normalisés OSI.

Parmi les règles édictées au démarrage de l'Internet, il était indiqué que chaque réseau fonctionnera en propre, la communication sera établie au mieux avec retransmission éventuelle de la source, le fonctionnement s'appuiera sur des passerelles et des routeurs. L'Internet ne sera pas limité à une application mais s'étendra à une infrastructure sur laquelle de nouvelles applications pourront être conçues plus tard : le WWW ou Web : World Wide Web (1992).

V.2 Définition

En 1995, le FNC (Fédéral Networking Council) donne la définition suivante de l'Internet : système d'information global, raccordant par une même adresse unique basée sur l'IP ou ses extensions, capable de supporter les communications utilisant le protocole TCP/IP et autres protocoles compatibles IP et fournissant des applications à usage public ou privé.

Mais au fil du temps, des changements apparaissent pour créer de nouveaux services intégrant le temps réel de transport et supporter par exemple l'audiovisuel et la vidéo, ce qui va entraîner la mise en œuvre de nouveaux standards et de nouvelles notions de qualité de service.

V.3 Généralités, notions de fonctionnement

Le réseau Internet est devenu un ensemble de réseaux, de sous réseaux et d'hôtes (machines, stations). Le protocole IP peut supporter des communications entre machines et réseaux hétérogènes, il met en relation d'une manière aisée les systèmes ouverts. TCP, couche supplémentaire de protocole, réalise la réception des octets dans l'ordre d'émission, la correction suite à une perte éventuelle de paquets. En plus de TCP/IP qui assure la fiabilité et la sécurité du transfert des données, des solutions sont par ailleurs utilisées pour réduire le temps de transmission des paquets et son irrégularité, par le recours à des protocoles supplémentaires RTP (Real Time Protocol) et RTCP (Real Time Control Protocol) qui permettent de gérer les priorités attachées aux paquets qui transportent une application en temps réel.

Si les deux stations sont situées dans le même réseau, le routage est direct, l'émetteur fait la correspondance entre l'adresse IP et l'adresse physique du destinataire et utilise les moyens offerts par le réseau pour acheminer le datagramme.

V.4 Principe de fonctionnement de l'Internet

Sur Internet, les mécanismes assurant la correspondance entre l'adresse IP et l'adresse Ethernet sont appelés ARP (Address Resolution Protocole) ou RARP (Reverse-Address Resolution Protocol) suivant le type d'équipements utilisés.

Ces mécanismes se traduisent par une consultation élargie, la réponse est faite par la machine concernée ou par plusieurs machines. Par exemple, dans le cas du protocole ARP, une machine va envoyer sur le réseau, via ARP, une requête générale (broadcast) pour obtenir l'adresse physique du destinataire, en donnant ses propres coordonnées (Internet, Ethernet) et en précisant l'adresse IP du destinataire. Toutes les machines connectées au réseau recevront le message, mais seule la machine possédant l'adresse IP destinataire répondra en fournissant son adresse physique. A l'inverse, le protocole RARP permet d'obtenir l'adresse IP d'une machine à partir de son adresse physique. La machine émet également une requête générale ; dans ce cas, plusieurs machines connaissant l'adresse Internet et l'adresse Ethernet répondent.

Si les deux machines sont situées dans des sous réseaux différents, la station émettrice envoie le datagramme à un routeur (le routeur est un ordinateur, une machine ayant des accès à plusieurs réseaux).

Le routeur se servira des tables de routage (qui indiquent l'adresse Internet du routeur situé dans le même réseau physique, vers lequel seront envoyées les trames ou par défaut si les réseaux, au sens Internet, sont différents) pour connaître le prochain routeur le mieux approprié.

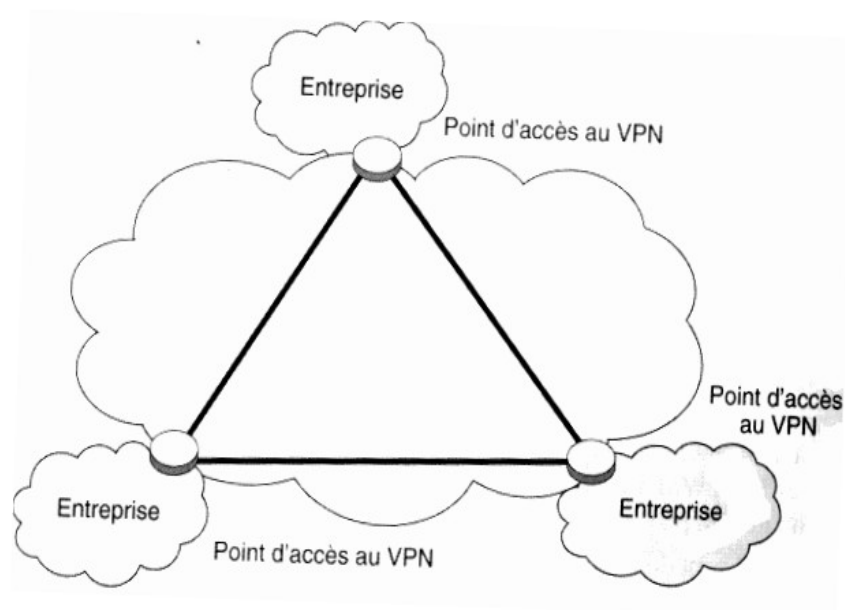
Le numéro de réseau sera utilisé (et non l'adresse physique) pour acheminer le datagramme qui de proche en proche parviendra de cette manière au routeur desservant la machine destinataire.

V.5 Réseaux virtuels

Les VPN (Virtual Private Network) sont des liaisons à bande passante réservée et isolée des autres flux, définie par l'opérateur du réseau, sur une artère à capacité suffisante.

V.5.1 Les VPN de niveau 2

Les premiers VPN d'entreprise mis en place étaient de niveau 2. Leur rôle était de transporter des trames d'un port d'entrée à un port de sortie, comme illustré à la figure suivante :



VPN de niveau 2

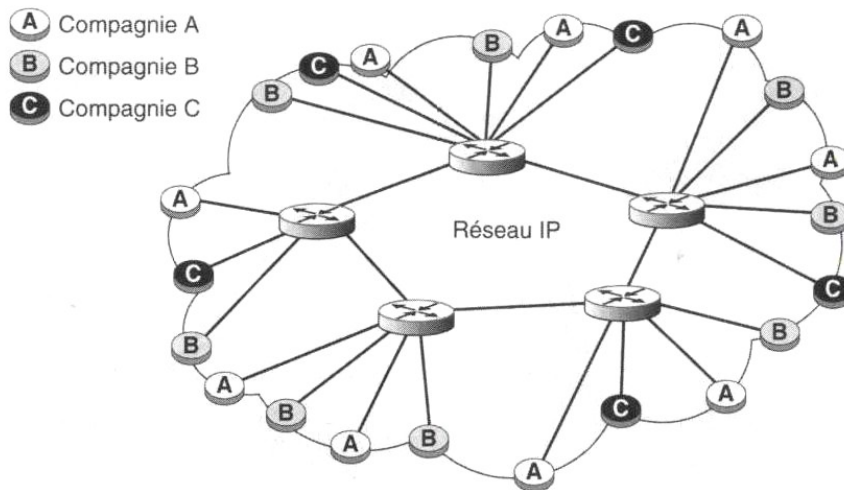
Dans ce type de VPN, les trois accès à l'utilisateur sont interconnectés par des circuits virtuels permanents de niveau trame, qui peuvent provenir d'un relais de trames ou d'un réseau ATM. Les fonctions de filtrage, pour ne laisser entrer que les trames des utilisateurs du VPN, sont assurées par les points d'accès appartenant à l'entreprise. L'opérateur ne fait que fournir les circuits virtuels qui acheminent les paquets IP encapsulés dans les trames LAP-D d'un relais de trames ou des cellules d'un réseau ATM.

La gestion du VPN est généralement effectuée par l'opérateur et non plus dans le réseau du client.

V.5.2 VPN de niveau 3 : VPN IP

Le niveau paquet (couche 3 du modèle OSI) étant aujourd'hui au niveau IP, les VPN de niveau 3 sont appelés VPN-IP. Cette génération de VPN, datant également du début des années 2000, permet de rassembler toutes les propriétés que l'on peut trouver dans réseaux intranet et extranet, notamment le système d'information d'une entreprise distribuée. La solution IP permet d'intégrer à la fois des terminaux fixes et des terminaux mobiles.

Les points d'accès des VPN se communiquent entre eux par l'intermédiaire de ces tunnels chiffrés.



VPN-IP

Les sociétés A, B et C ont des VPN de niveau IP. Leurs points d'accès sont des routeurs IP, qui permettent de laisser entrer et sortir de l'entreprise les paquets IP destinés aux autres succursales de la société.

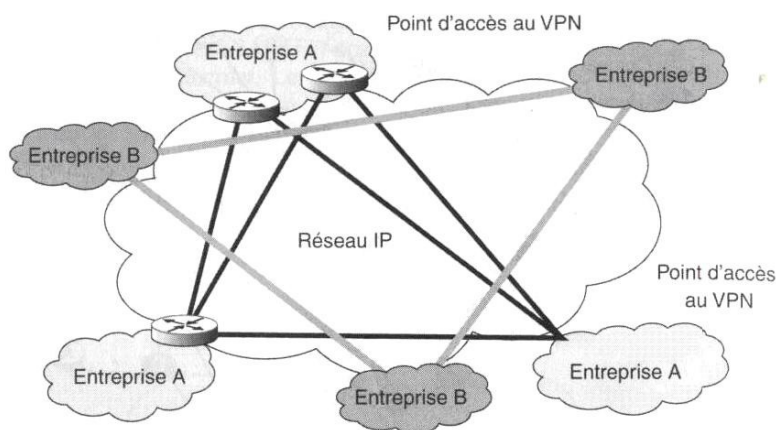
Les clients d'un même VPN utilisent le réseau IP pour aller d'un point d'accès à un autre point d'accès appartenant au VPN. La qualité de service et sécurité sont prises en charge par l'utilisateur. Comme la sécurité est un élément essentiel de ces réseaux, la première génération de VPN-IP a utilisé le protocole IPsec (Internet Protocol Security) pour réaliser les communications.

Les points d'accès des VPN se communiquent entre eux par l'intermédiaire de ces tunnels chiffrés.

V.5.3 VPN-MPLS (VPN-MultiProtocol Label-Switching)

Une grande tendance de ce début des années 2000 en matière de VPN est l'utilisation des réseaux MPLS. En effet, on trouve dans MPLS une souplesse intéressante, qui permet à la fois des fonctionnalités de niveau 2 et de niveau 3 (du modèle OSI). C'est la raison pour laquelle on appelle parfois ces réseaux privés virtuels des VPN de niveau 2,5.

MPLS met en place des tunnels, appelés LSP (Label-Switched Path), qui ne sont autres que des circuits virtuels. Dans la figure ci-dessous une des deux entreprises possède un point d'accès sur lequel arrivent deux LSP, provenant de deux autres sites, pour des raisons de fiabilité : si l'un des points d'accès tombe en panne, le second continue à offrir le service. La restriction fondamentale de ce modèle réside dans la scalabilité, ou passage à l'échelle, qui est extrêmement coûteuse.



VPN-MPLS

Une deuxième solution de VPN-MPLS, appelée peer mode, rend possible le passage à l'échelle en autorisant facilement une augmentation du nombre de sites à interconnecter. Ce modèle doit permettre à l'opérateur de VPN d'augmenter considérablement le nombre de VPN pour atteindre plusieurs centaines de milliers de sites, si nécessaire.

Cette solution combine les apports de plusieurs technologies :

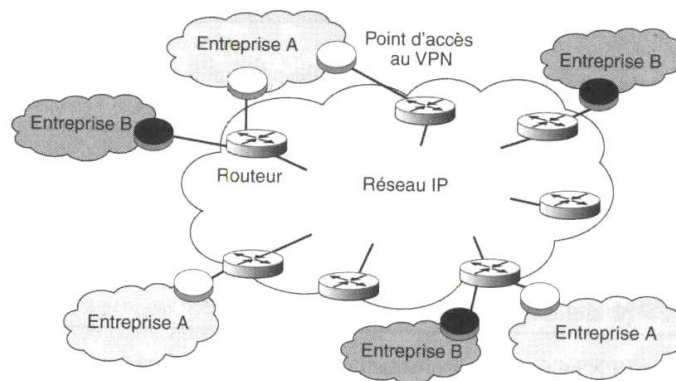
- Les informations de routage sont distribuées partiellement.
- Les tables de routage sont multiples.
- Les adresses utilisées sont du nouveau type VPN-IP.

L'algorithme de routage le plus classique dans les VPN-MPLS utilise le protocole BGP (Border Gateway Protocol).

Quatre étapes définissent la distribution des éléments de routage :

- Les informations de routage proviennent du client et sont envoyées vers le point d'accès de l'opérateur. Au point d'entrée de l'opérateur, ces informations de routage sont exportées dans l'algorithme BGP de l'opérateur.
- Au point de sortie, les informations BGP sont rassemblées pour être transmises vers l'utilisateur.
- Au point de sortie, les informations de routage sont exportées vers l'utilisateur sous une forme propre à l'utilisateur.

Cette solution permet de transporter sur un VPN-MPLS/BGP les informations d'un point du VPN vers n'importe quel autre point du VPN. Grâce à ce mécanisme, des tables de routage spécifiques peuvent être mises en place pour chaque VPN.



Réseau privé virtuel

V.6 IP Mobile

Le protocole IP est de plus en plus souvent présenté comme une solution possible pour résoudre les problèmes posés par des utilisateurs mobiles. Le protocole IP Mobile peut être utilisé sous IPv4, mais le manque d'adresse potentiel complique la gestion de la communication avec le mobile. IPv6 est préférable, du fait de son grand nombre d'adresses disponibles, ce qui permet de donner des adresses temporaires aux stations en cours de déplacement.

Le fonctionnement d'IP Mobile est le suivant: une station possède une adresse de base; un agent lui est attaché, qui a pour rôle de suivre la correspondance entre l'adresse de base et l'adresse temporaire; lors d'un appel vers la station mobile, la demande est acheminée vers la base de données détenant l'adresse de base ; grâce à l'agent, il est alors possible d'effectuer la correspondance entre l'adresse de base et l'adresse provisoire et d'acheminer la demande de connexion vers le mobile.

Cette solution est semblable à celle utilisée dans les réseaux de mobiles, qu'il s'agisse de la version européenne GSM ou américaine IS 95.

La terminologie employée dans IP Mobile est la suivante :

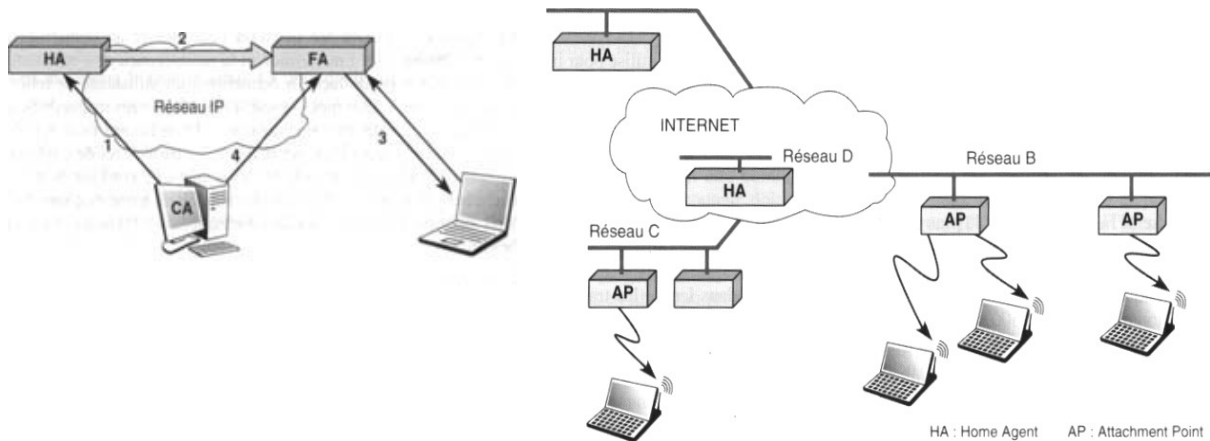
- nœud mobile : terminal ou routeur qui change son point d'attachement d'un sous réseau à un autre sous réseau.
- Home agent, ou agent home : routeur du sous réseau sur lequel est enregistré le nœud mobile.
- Foreign agent, ou agent foreign : routeur du sous réseau visité par le noeud mobile.

L'environnement IP Mobile est formé de trois fonctions relativement disjointes :

- La découverte de l'agent (Agent Discovery) : lorsque le mobile arrive dans un sous réseau, il recherche un agent susceptible de le prendre en charge.
- L'enregistrement : lorsqu'un mobile est hors de son domaine de base, il enregistre sa nouvelle adresse (care-of-address) auprès de son agent home. Suivant la technique utilisée, l'enregistrement peut s'effectuer soit directement auprès de l'agent home, soit par l'intermédiaire de l'agent forein.

•

Les figures suivantes illustrent les schémas de communication pour les versions IPv4 et IPv6.



HA : Home Agent

FA : Foreign Agent

CA : Care-of-Address

AP : Attachment Point

IP Mobile pour IPv4 et IP Mobile pour IPv6

L'Internet qui est le réseau opérant sous IP, reste le modèle le plus intéressant et possédant encore un domaine très large pour des recherches pouvant satisfaire la loi de l'offre et de la demande, de plus en plus exigeant des clients accompagnés par la concurrence au sein des opérateurs de télécommunications.

Dans ce monde en pleine mutation, l'avenir des opérateurs dépend notamment de la pertinence de leurs choix en matière de réseaux. Pour cela ils ont besoin d'une architecture de référence à moyen terme pouvant servir de guide à leurs évolutions. L'architecture de référence NGN semble pouvoir répondre à ces exigences, une architecture se basant sur une évolution vers le tout-IP.

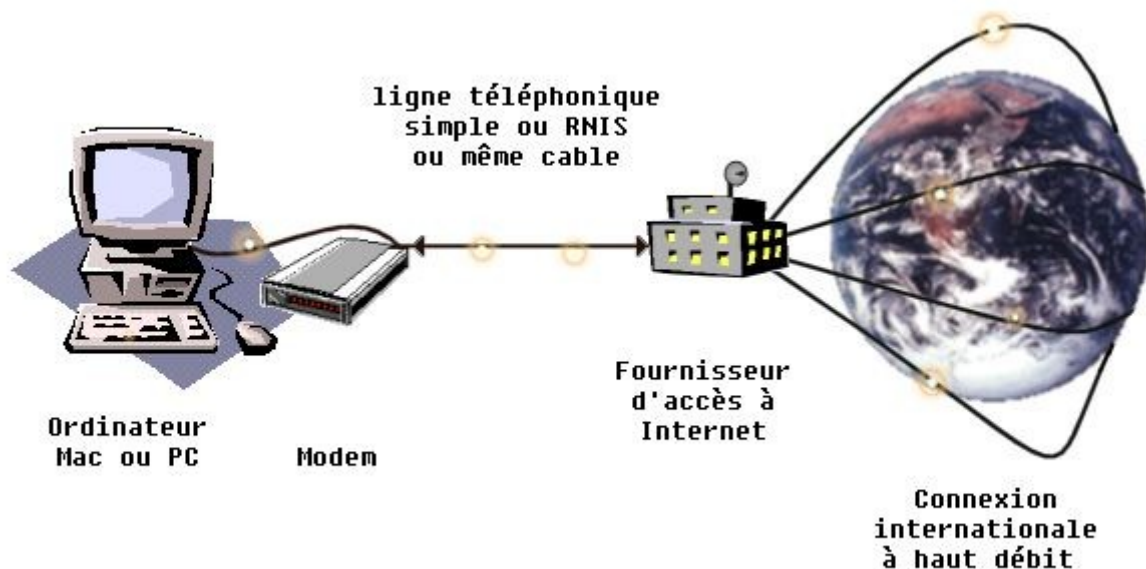
Chapitre 5

LES TECHNOLOGIES xDSL et ADSL

V.1 Se connecter à l'Internet

Pour se connecter à l'Internet, il faut disposer :

- d'un ordinateur et son système d'exploitation installé avec les logiciels adaptés
- d'une ligne téléphonique (RTC ou RNIS) ou d'une liaison par câble ou hertzienne
- d'une interface (interne ou externe) téléphonique : MODEM, carte R.N.I.S. ou autres
- d'un accès chez un fournisseur d'accès (provider en anglais)



Connexion d'un monoposte

- Le réseau téléphonique commuté est un moyen de communication pratique pour de petites applications interactives, comme celle qu'il faut construire. Nous allons voir un certain nombre de caractéristiques du RTC public utilisé pour le transfert de données numériques. Ce réseau qui est actuellement un des plus utilisés par les particuliers pour se relier entre eux ou à Internet. Il s'agit d'un réseau commuté, c'est à dire que lorsque la liaison est établie, on a l'impression d'avoir une ligne point à point. C'est très pratique pour la communication vocale ; ça évite d'avoir à recomposer le numéro du correspondant à fois que l'on veut prendre la parole.

- Le modem est le périphérique utilisé pour transférer des informations entre plusieurs ordinateurs (2 à la base) via les lignes téléphoniques.

- FAI signifie littéralement *Fournisseur d'accès à Internet*. On l'appelle aussi provider, mot provenant de l'appellation anglaise ISP, qui signifie *Internet Service Provider* (traduction: *Fournisseur de services Internet*). C'est un service (la plupart du temps payant) qui vous permet de vous connecter à Internet. Enfin, le fournisseur d'accès Internet est un intermédiaire (connecté à Internet par des lignes spécialisées) qui va vous procurer un accès à Internet par son biais, grâce à un numéro que vous composez grâce à votre modem, et qui permet d'établir une connexion.

V.2 Les problèmes de l'Internet

La connexion à Internet par l'intermédiaire du modem classique occupe la totalité de la ligne téléphonique c'est-à-dire qu'on ne peut pas téléphoner et se connecter à Internet en même temps. De plus, l'accès à Internet est trop lent, par exemple, la consultation d'un mail ou le téléchargement d'un fichier prend plusieurs minutes. Tous ces délais prolongent la durée de connexion et elle finit par vous coûter très cher, malgré les efforts des FAI qui essaient de vous proposer les meilleurs tarifs. En bref, l'ancien Internet que vous avez peut-être chez vous, est trop lent. Il est très cher par rapport à ce qu'il vous permet de faire. Pour palier à ces inconvénients, plusieurs systèmes ont été imaginés. Parmi eux, les technologies xDSL.

V.3 Les technologies xDSL

V.3.1 Généralités

Les technologies xDSL (Digital Subscriber Line) sont divisées en deux groupes selon l'utilisation de la transmission symétrique ou asymétrique. On parle de liaison symétrique quand le débit utilisé par le lien montant est identique à celui utilisé par le lien descendant. Cette famille reprend les technologies HDSL et SDSL. On parle de liaison asymétrique quand le débit utilisé par le lien montant est inférieur à celui utilisé par le lien descendant. Cette famille reprend les technologies ADSL, RADSL, VDSL.

La liaison xDSL est une liaison point à point établie via une ligne téléphonique entre le «NT» (Network Termination) chez l'utilisateur et le «LT» (Line Termination) installé chez le fournisseur de service.

On parlera de flux montant vers le «LT » pour la communication émise par l'utilisateur. Le flux descendant représente le trafic en provenance du «LT» vers l'utilisateur. Certaines technologies DSL permettent également l'utilisation d'un canal téléphonique (POTS = Plain Old Telephone Service).

Il existe plusieurs technologies xDSL correspondant à une utilisation et à des caractéristiques techniques différentes. Les clefs de différenciation utilisées sont :

- La vitesse de transmission
- La distance maximale du lien
- Le caractère symétrique ou asymétrique du lien

V.3.2 HDSL (High Bit Rate DSL)

Cette technologie symétrique est à la base de toutes les autres technologies DSL. Elle a vu le jour au début des années 90 (aujourd'hui sa standardisation n'est pas encore achevée).

Basée sur trois paires (de câbles) torsadées, HDSL permet d'offrir un débit de 2Mbps dans les deux sens.

Comme toutes les technologies DSL, cette dernière est très sensible à la qualité du câble sur le dernier tronçon entre le «LT » et le client final. La norme définit que la longueur du dernier tronçon devra être incluse entre 3 et 7 km suivant le diamètre du fil, et le débit pourra varier entre 2Mbps (Megabits/seconde) et 380 kbps (kilobits/seconde). HDSL permet de conserver la ligne ouverte en permanence mais n'offre pas la possibilité simultanée d'utilisation d'un canal de téléphonie.

V.3.3 SDSL (Single Pair DSL)

Cette technologie est également une technologie symétrique. La majorité des maisons étant aujourd'hui connectées par une seule paire torsadée (câble), une technologie a été mise au point afin d'offrir du haut débit sur une paire torsadée unique. Toutefois cela s'est fait au détriment de la distance maximale du dernier tronçon. Le débit maximal SDSL, pour un dernier tronçon de 7 km, est de 128 kbps (kilobits par seconde).

Cette technologie a servi de base au développement de la norme HDSL2, laquelle offre le même confort que la norme HDSL mais sur une seule paire torsadée. A terme, SDSL pourrait disparaître au profit de HDSL

Downstream [Kbit/s]	: Upstream [Kbit/s]	: Distance [km]
128	128	7
256	256	6.5
384	384	4.5
768	768	4
1024	1024	3.5
2048	2048	3

Distances et débits d'une liaison SDSL

V.3.4 ADSL (Asymmetric DSL)

Cette technologie existe également depuis le début des années 90. Elle fût initialement mise au point pour supporter l'image télévisée sur réseau téléphonique. Dans ce cadre, le débit du canal montant était réduit par rapport au canal descendant qui supportait le transport de l'image (technologie asymétrique). Le développement d'Internet dont la majorité du trafic répond aux mêmes besoins, c'est-à-dire peu de trafic en provenance de l'utilisateur pour un retour d'information important, a détourné cette technologie de son but premier.

Le standard finalisé au milieu des années 90 est basé sur :

- Un canal montant offrant un débit maximal de 800 kbps.
- Un canal descendant offrant un débit maximal de 8192 kbps.
- Un canal téléphonique analogique ou RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Service).

Suivant la longueur et la qualité du câble du dernier tronçon entre le central et l'utilisateur final, les débits suivants sont offerts :

Downstream [Kbit/s]	: Upstream [Kbit/s]	: diamètre du fil [Mm]	: Distance [km]
2048	160	0.4	3.6
2048	160	0.5	4.9
4096	384	0.4	3.3
4096	384	0.5	4.3
6144	640	0.4	3.0
6144	640	0.5	4.0
8192	800	0.4	2.4
8192	800	0.5	3.3

Distance et débit d'une liaison ADSL

V.3.5 RADSL (*Rate Adaptive DSL*)

Cette technologie asymétrique basée sur ADSL n'est pas encore standardisée. Le débit de transmission est géré durant toute la communication afin d'offrir dynamiquement la vitesse optimale sur la ligne de raccordement. RADSL promet des débits descendants de 600 kbps à 7 Mbps et des débits montants de 128 kbps à 1 Mbps pour un tronçon final de 5,4 km maximum.

V.3.6 VDSL (Very high bit rate DSL)

En cours de standardisation, cette technologie «hybride», est utilisable en mode symétrique ou asymétrique et peut nécessiter l'utilisation de fibres optiques pour le transport des données. Initialement prévue pour le transport de l'ATM (Asynchronous Transfer Mode), cette technologie est la plus performante puisque capable de supporter des débits montants allant jusqu'à plus de 55 Mbps.

V.3.7 Tableau de synthèse

Technologie	Définition	Mode de transmission	Débit Download	Débit Upload	Distance maximale
HDSL	High data rate DSL	Symétrique	1.544 Mbps 2.048 Mbps	1.544 Mbps 2.048 Mbps	3.6 km
HDSL 2	High data rate DSL 2	Symétrique	1.544 Mbps	1.544 Mbps	3.6 km
SDSL	Single line DSL	Symétrique	768 Kbps	768 Kbps	3.6 km
ADSL	Asymmetric DSL	Asymétrique	1.544-9 Mbps	16-640 Kbps	5.4 km
RADSL	Rate Adaptive DSL	Asymétrique	0.6-7 Mbps	0.128-1 Mbps	5.4 km
VDSL	Very high data DSL	Asymétrique	15-53 Mbps	1.544-2.3 Mbps	1.3 km

Tableau de synthèse

Comme nous avons vu dans le début de ce paragraphe, la technologie DSL se divise en deux groupes : celle utilisant la transmission symétrique et celle utilisant la transmission asymétrique. Dans le cadre de l'Internet où la vitesse de transmission du serveur vers l'utilisateur doit être importante, l'ADSL est la solution la plus appropriée pour répondre aux besoins des internautes ; non seulement en raison de l'asymétrie mais comparée à la VDSL, cette dernière présente un problème majeur à cause de la distance qui sépare les usagers et le central. Enfin, l'ADSL offre un débit important que le RADSL en canal descendant pour une même distance.

V.4 La Technologie ADSL

V.4.1 Historique

La technologie ADSL a été développée dans le laboratoire américain BellCore en 1987. France Télécom R&D (à l'époque appelé C.N.E.T) a réalisé une première mondiale en expérimentant fin 1996 des services de télévision numérique en ADSL sur ATM.

En 1994, les équipes de recherche de France Télécom réalisent les premières évaluations en laboratoire et de 1996 à 1999 des expérimentations sont faites dans plusieurs régions de France. Fin 1999, la commercialisation en France de l'ADSL débute sur Paris, Lyon, Lille, Strasbourg. Les offres commerciales se développent également dans les autres pays.

V.4.2 Principe de fonctionnement

a- Haut débit avec le paire de cuivre

Le développement rapide des technologies de l'information a fait apparaître de nouveaux services gourmands en capacité de transmission. L'accès rapide à Internet fait partie de ces nouveaux services que l'utilisateur désire obtenir à son domicile ou à son bureau.

Dans ce contexte, nous avons constaté qu'on ne peut pas atteindre de haut débit avec l'Internet classique via la ligne téléphonique. En effet, quand on utilise un modem pour une connexion RTC (Réseau Téléphonique Commuté), le signal émis par celui-ci n'exploite pas la bande de fréquence laissée libre sur le fil de cuivre mais juste celle utilisée également par le téléphone (la bande passante du fil de cuivre est de l'ordre de 1 MHz). En conséquence, il utilise la même bande de fréquence que la voix pour traverser les filtres du central téléphonique.

Or, comme ce signal est beaucoup plus lourd que celui émis pour faire circuler le son de la voix, son débit est donc très limité sur ce type de connexion. L'ADSL est donc la solution la plus appropriée pour palier à cet inconvénient.

L'ADSL est une technologie permettant de faire passer de haut débit sur la paire de cuivre utilisée pour les lignes téléphoniques de la boucle locale. Dans cette technique, la paire de cuivre est en fait prévue pour faire circuler beaucoup plus d'information que dans le cadre d'une conversation téléphonique normale. Pour cela, le signal émis par le modem utilise toute la bande de fréquence disponible sur la paire torsadée du RTC, ce qui rend le débit beaucoup plus important.



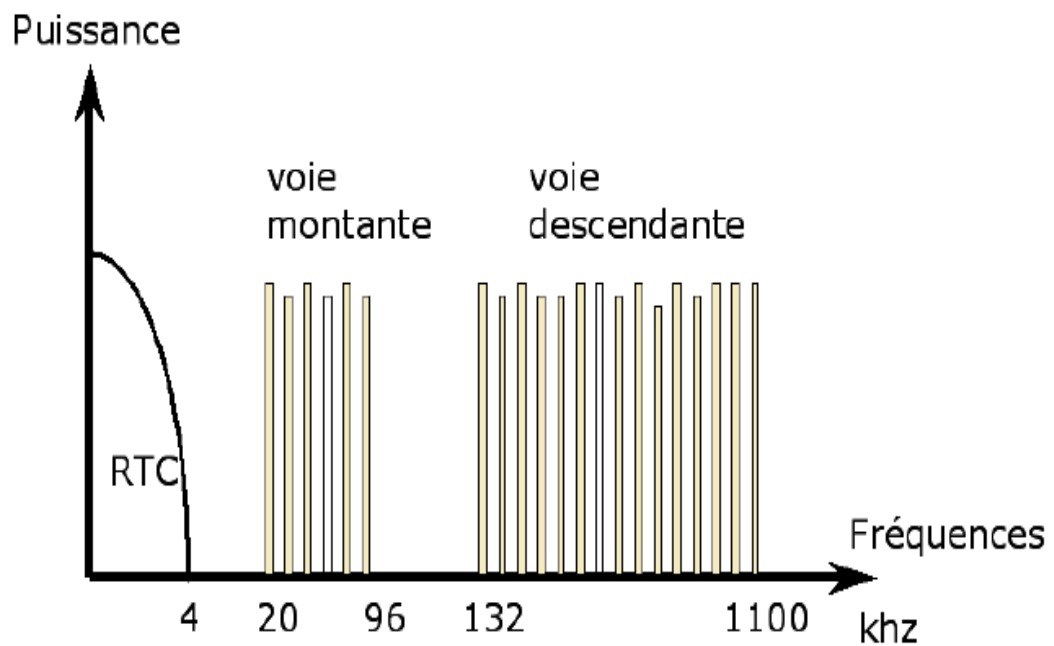
Présentation de l'ADSL

En étudiant différents cas de figures, on s'est aperçu qu'il était possible de transmettre les données plus rapidement d'un central vers un utilisateur (canal descendant) que lorsque l'utilisateur envoie des informations vers le central (canal montant), ceux-ci sont plus sensibles aux bruits causés par des perturbations électromagnétiques car plus on se rapproche du central, plus la concentration du câble augmente et donc ces derniers génèrent plus de diaphonie. L'idée est donc d'utiliser un système asymétrique, en imposant un débit plus faible de l'abonné vers le central.

b- Les bandes passantes utilisées

Voici les bandes de fréquence utilisées par l'ADSL :

- RTC : 300 – 3400 Hz
- ADSL Voie montante : 25 – 140 KHz
- ADSL Voie descendante : 140 KHz – 1,1 MHz



Utilisation de la bande passante

c- La notion de débit

Techniquement, l'ADSL permet des débits de 8Mbits/s en voie descendante et de 1 Mbit/s en voie montante. Pour pouvoir bénéficier de tels débits il faut être très proche du central. On utilise les termes suivants :

- **Le débit ascendant**

C'est le débit offert de l'abonné vers le serveur (jusqu'à 640 Kbit/s).

- **Le débit descendant**

C'est le débit offert dans l'autre sens (jusqu'à 8Mbit/s).

Sur ces deux débits se greffent deux autres caractéristiques :

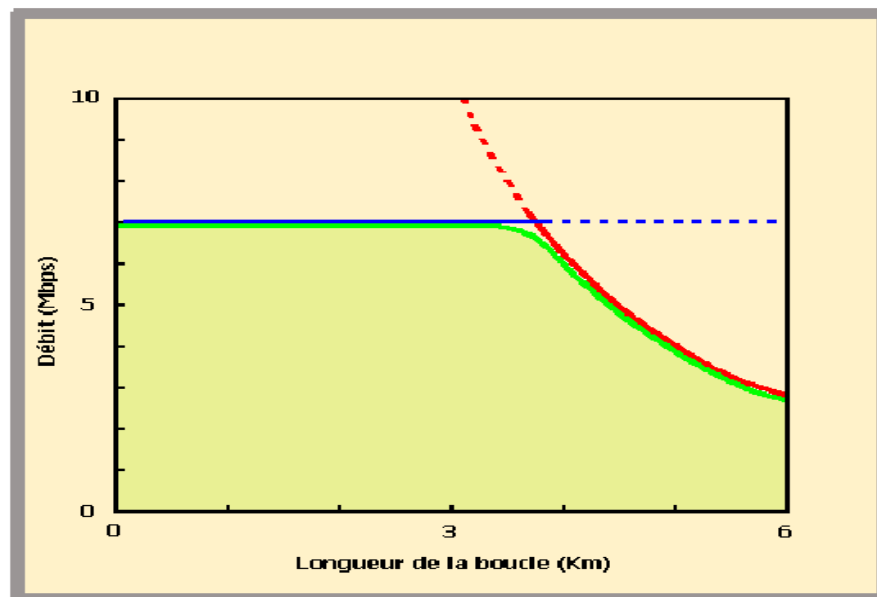
- **Le débit minimum garanti**

Il définit le débit que l'on garantit au client 100% du temps. Ce débit est garanti de bout en bout sous réserve du respect de certaines règles de dimensionnement du site central.

- **Le débit crête** : (qui peut aussi être appelé «Burst») :

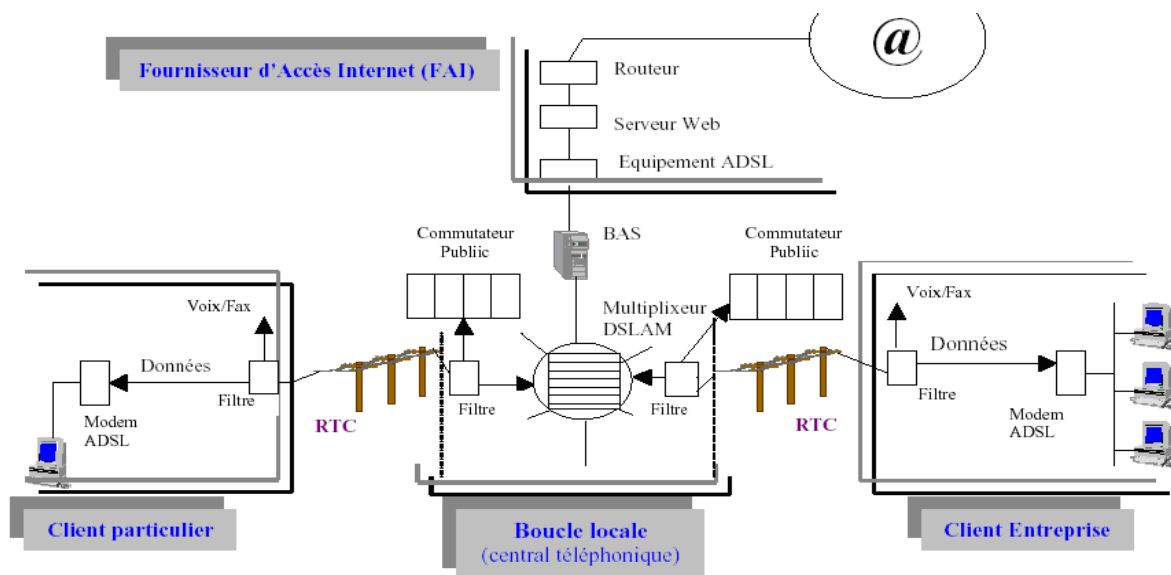
C'est le débit instantané que le client peut potentiellement atteindre pendant une durée limitée. Pour atteindre ce burst, il faut impérativement que le site qui concentre les flux en provenance des accès ADSL soit dimensionné afin d'absorber les burst.

Cependant ces débits ne sont pas fixes pour tous et dépendent de l'éloignement de l'abonné par rapport à son commutateur de rattachement. Pour obtenir une qualité de service satisfaisante, la distance séparant ces deux derniers doit être de moins de 3 kilomètres, même si elle est envisageable jusqu'à 6 kilomètres.



Débit en fonction de la longueur de la boucle

d- Les caractéristiques d'une liaison ADSL



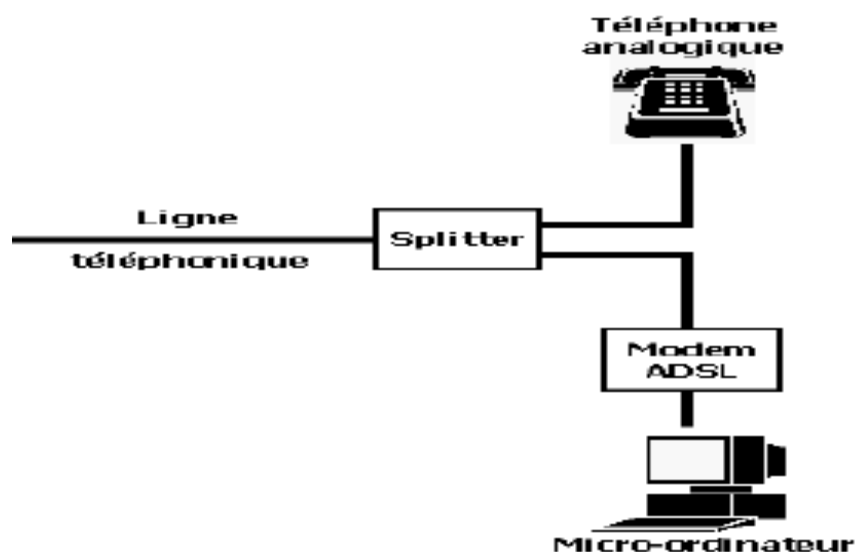
Architecture d'une liaison ADSL

L'ADSL est l'une des déclinaisons techniques des technologies xDSL qui exploitent les derniers kilomètres du RTC, entre le centre local de commutation et les habitations ou les bureaux.

Une liaison ADSL se caractérise par l'installation, du côté client, d'un modem ADSL et un "splitter", et du côté du central de l'opérateur, d'un DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer). En sus, chaque poste client doit être équipé d'une carte Ethernet. Le modèle ADSL repose sur une architecture fonctionnelle à deux niveaux: le premier est le transport de données au protocole ATM (entre le modem ADSL et le serveur BAS), le deuxième est l'acheminement des flux de données IP par des circuits ATM (entre les modems ADSL des clients et les BAS) vers des routeurs IP.

e- Raccordement chez l'abonné

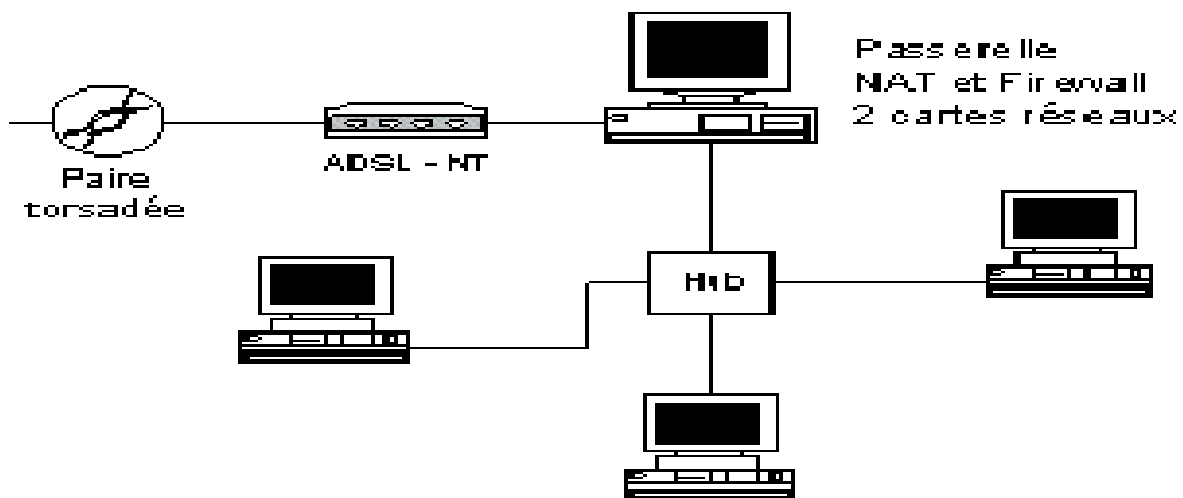
A l'arrivée de la ligne téléphonique, on installe un filtre chargé de séparer les basses fréquences (du continu à 4kHz) à destination du téléphone et les hautes fréquences à destination du modem ADSL.



Raccordement chez l'abonné

f- Raccordement de quelques ordinateurs

Si on désire raccorder quelques ordinateurs sur une même liaison, il est nécessaire de prévoir un dispositif de translation d'adresse NAT (*Network Adresse Translation*) qui est chargé de partager la connexion Internet entre les différentes machines.

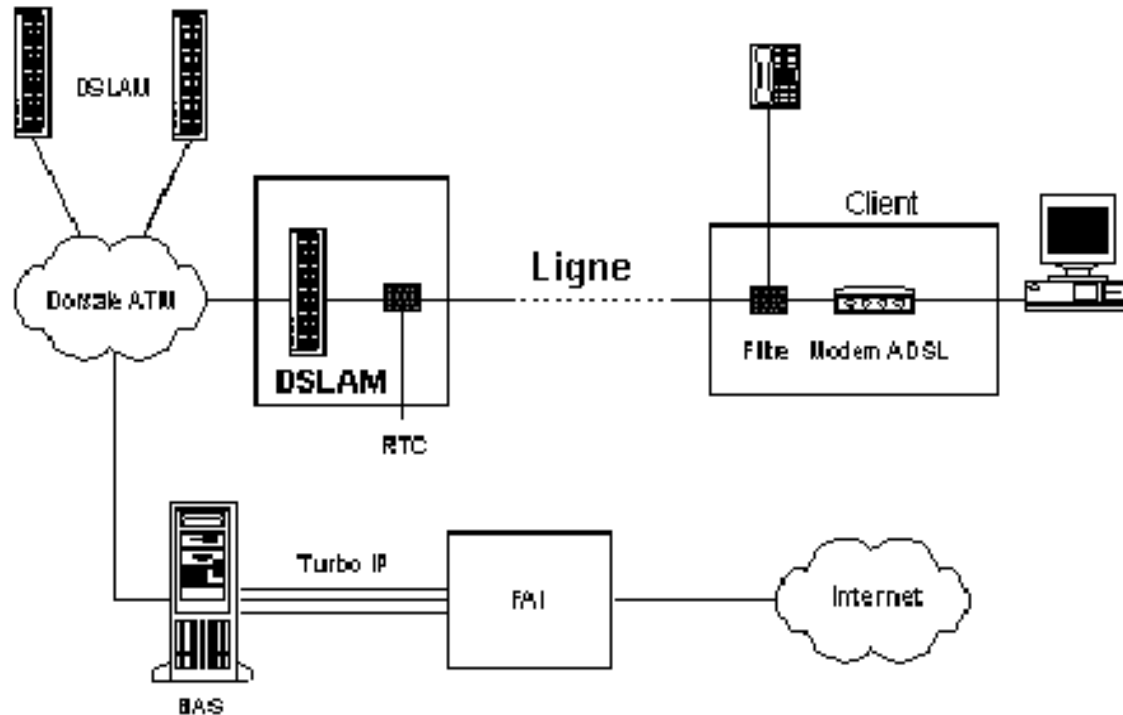


Réseau avec passerelle et hub

Raccordement de quelques ordinateurs

g- Raccordement chez l'opérateur

L'arrivée de la ligne de l'abonné est dirigée vers un filtre. La partie basse fréquence rejoint le répartiteur téléphonique et la partie haute fréquence un DSLAM (*DSL Access Multiplexer*) celui-ci contient en entrée un modem ADSL par abonné et permet de relier plusieurs abonnés vers une dorsale ATM (éventuellement SDH). Plusieurs DSLAM sont reliés sur un même BAS (*Broadband Access Server*), un serveur RADIUS (*Remote Access Dial In User Server*) relié au BAS autorise la mise en place de la liaison de l'abonné. L'ensemble des équipements DSLAM et BAS d'une même région s'appelle une plaque



Raccordement chez l'opérateur

V.4.3 Les équipements de la chaîne ADSL

a- Le DSLAM

Le DSLAM est l'équipement qui fait la liaison entre les lignes téléphoniques des abonnés à Internet et le réseau de l'opérateur auquel il appartient.

Le DSLAM ou Digital Subscriber Line Access Multiplexer est un équipement qui se trouve au niveau des centraux téléphoniques (aussi appelés NRA pour Noeuds de Raccordement Abonnés). Elle rassemble le trafic d'un grand nombre de lignes ADSL pour l'envoyer vers le

réseau de l'opérateur Internet (d'où le terme de multiplexeur), et inversement vis à vis de chaque abonné, le DSLAM apparaît comme un modem.

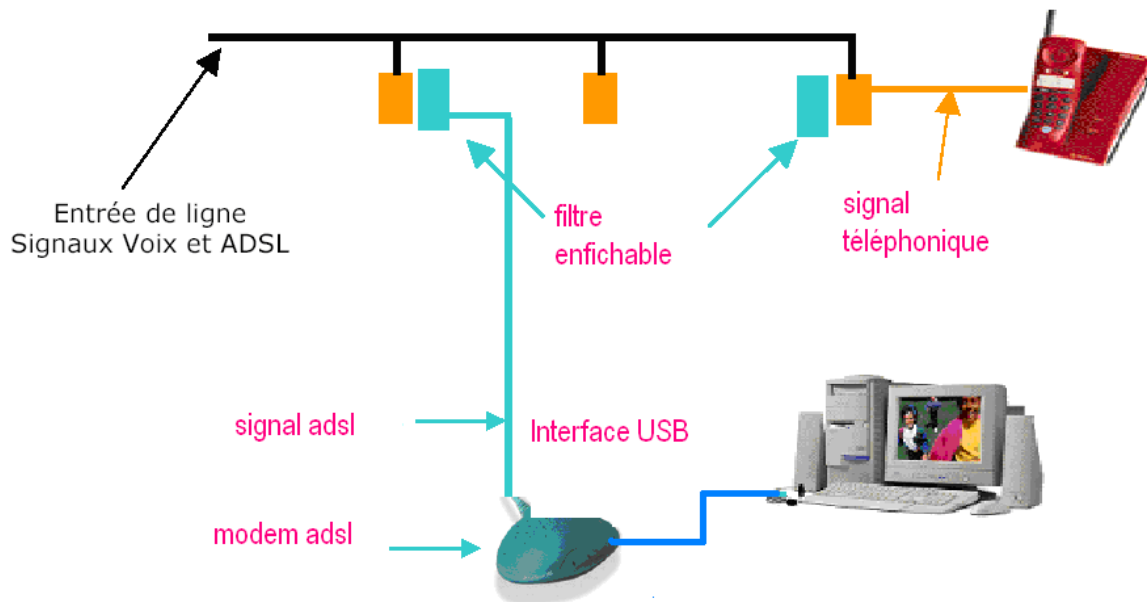
b- Le BAS (Broadband Access Server)

C'est un équipement dont la fonction est de gérer le transport de données en mode ATM pour accéder à l'Internet par l'ADSL. Un BAS gère donc le trafic de l'ensemble des lignes ADSL situées dans les zones couvertes par le central ADSL qui lui sont connectés. Il est chargé aussi de faire la première authentification de l'utilisateur et de rediriger son trafic vers le serveur du FAI.

c- Le splitter

Présent du côté client et commutateur, il se présente sous forme d'un coffret qui peut être fixé au mur. Côté client il permet de séparer les fréquences téléphoniques des fréquences transportant les données, autrement dit, il offre une prise pour le téléphone et une pour le modem ADSL. Au centre, il permet de diriger les flux de données vers le DSLAM et le flux voix vers le réseau RTC.

C'est un filtre passe-bas qui a pour rôle de laisser passer uniquement le signal téléphonique vers les terminaux téléphoniques (le filtrage des hautes fréquences des signaux ADSL se fait quant à lui dans le modem). Pour que le téléphone puisse recevoir son alimentation en courant continu, le filtre doit offrir une bonne conduction des basses fréquences.



Présentation d'un splitter

d- Le modem ADSL

Le modulateur-démodulateur module un ensemble de signaux de fréquence appartenant à une plage 26 à 1100 kHz pour transporter les données « Internet » (sans interférer avec la bande de fréquence utilisée par la voix). Lorsqu'une information part de l'ordinateur, le rôle du modem est de transformer les données numériques de l'ordinateur en données analogiques pouvant circuler sur les lignes téléphoniques : il s'agit de la modulation. Dans l'autre sens, lorsque cette information arrive à l'ordinateur, le modem effectue la transformation inverse, de l'analogique vers le numérique. Il s'agit de la démodulation.

V.4.4 Normalisation de l'ADSL

- L'ETSI a repris la norme ANSI T1 413. Cette norme prévoit que le système puisse acheminer le téléphone analogique, les accès de base RNIS, un ou plusieurs canaux bidirectionnels à moyen débit (quelques centaines de Kbit/s) et enfin un ou plusieurs canaux unidirectionnels en direction de l'abonné (quelques Mbit/s).

L'ETSI a spécifié les normes suivantes :

- Transmission des systèmes ADSL : TS 101 388 réf : DTS/TM-06006
- Interfaces pour les systèmes ADSL : réf : DES/ TM-06010
- Caractéristiques et performances des systèmes ADSL : ETR 328 réf : DTR/TM 06001

- En décembre 1994, un forum sur l'ADSL s'est formé pour promouvoir cette technologie. Ce forum est composé d'environ 300 membres regroupant les représentants des fournisseurs de services Internet, les opérateurs, les constructeurs d'équipements et les fabricants des semi-conducteurs. Il spécifie les architectures, les protocoles et les interfaces réseaux des systèmes ADSL ainsi que les applications supportées.

- En plus, la commission d'étude 15 de l'UIT-T a également plusieurs recommandations ADSL :

G.992.1 (ex G.dmt)	Systèmes ADSL « plein débit » avec modulation DMT
G992.2 (ex G.lite)	Systèmes ADSL « version allégée » sans filtre d'aiguillage
G994.1 (ex G.hs)	Procédures d'initialisation de la communication entre systèmes ADSL
G996.1 (ex G.test)	Méthode de tests permettant de valider la conformité d'un équipement ADSL
G997.1 (ex G.ploam)	Procédures pour l'administration, la gestion et la maintenance des systèmes ADSL

Les normes ADSL

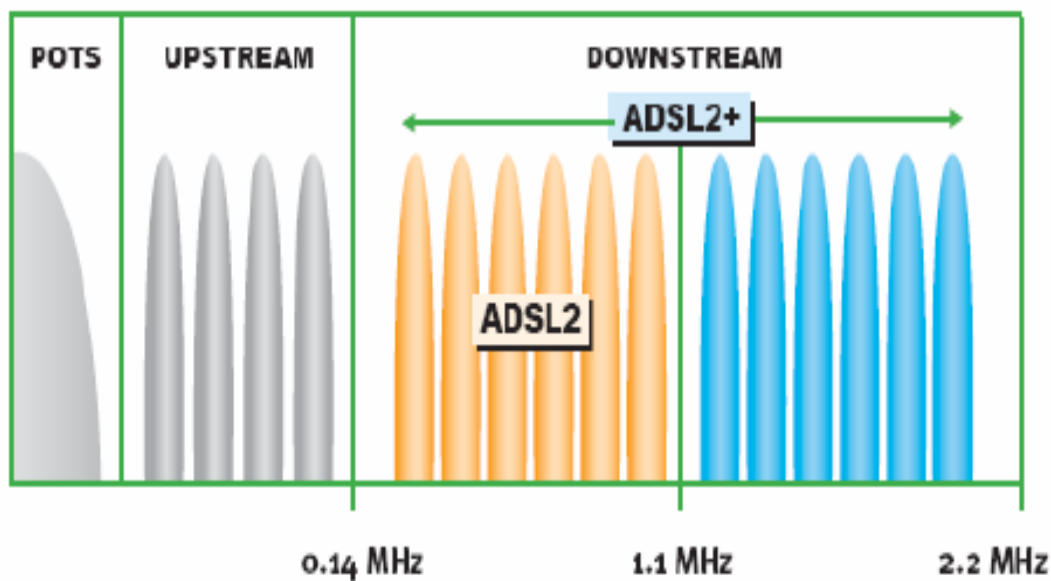
- La naissance du standard ADSL2 fut en 2002 et le standard fut ensuite modifié en 2003. Les normes ITU G.992.3 et G.992.4 découlent de ces modifications. ADSL2 est la modification simple de ADSL avec l'ajout de fonctionnalités utiles pour le fournisseur et qui améliore l'interopérabilité avec le réseau extérieur. Les performances de l'ADSL2 sont supérieures grâce à l'amélioration de l'efficacité de la modulation. La réduction d'entête des paquets entraîne un gain de l'encodage. ADSL2 utilise une modulation à quatre amplitudes, 16 états et 1 bit de modulation d'amplitude quadratique (QAM). ADSL2 a réduit la grosseur de l'entête des paquets avec un nombre programmable de bits d'entête. L'ADSL est fait de sorte que l'entête occupe 32 Kbps d'un paquet. ADSL2 peut varier de 4 à 32 Kbps par paquets. La diminution des bits d'entête à bas débit permet une augmentation des bits de données. Ainsi, nous avons plus de bits de données, ce qui augmente le débit du trafic utile. Donc si l'entête occupe 4 Kbps, il reste 28 Kbps pour les données utiles qui sont ajoutés au reste de la bande passante.

Voici les différentes améliorations qui ont été apportées sur les équipements :

- Coupure de puissance de retour aux extrémités pour éliminer le bruit dû à l'écho
- Déterminer le pilote de tonalité pour éliminer les canaux vides dus à des fins de ligne non terminées et l'interférence de bande étroite due à la radio AM.
- Le contrôle de certains états d'initialisations par le récepteur et le transmetteur pour optimiser le traitement de signal en ces deux équipements.
- Déterminer la porteuse utilisée pour le message d'initialisation du récepteur pour éliminer les canaux vides à des fins de ligne non terminées et l'interférence bande étroite due à la radio AM.
- Amélioration du canal d'identification pour traiter le domaine du temps du récepteur pendant la découverte des canaux et la phase d'initialisation du transmetteur.

- Désactiver la tonalité pendant l'initialisation pour activer l'éliminateur l'interférence des fréquences radio.

- Le standard ADSL2+ s'est joint à la famille en 2003 en tant que G.992.5. La recommandation ADSL2+ a doublé la largeur de bande pour le trafic en amont, ADSL2+ est la modification de ADSL2 avec l'ajout de largeur de bande pour améliorer l'interopérabilité avec le réseau extérieur sur les courtes distances. Elle a aussi des améliorations du côté des interférences spectrales entre les paires de fils. En doublant la largeur de bande pour le trafic en amont, on double la vitesse de transfert allant jusqu'à 1,5 Km. ADSL2 utilise la bande de fréquence jusqu'à 1.1 MHz. ADSL2+ utilise donc la bande jusqu'à 2.2 MHz. Le résultat est remarquable sur les courtes boucles. Une autre propriété très utile pour la réduction de l'interférence, est de déplacer la partie du trafic en amont de 1.1 à 2.2.



Spectre de fréquence ADSL2+

Il y a aussi d'autres techniques pour optimiser le réseau ADSL en joignant les paires et en offrant au client une ligne double ADSL2+. Cette technique consiste à joindre deux liens ADSL2+ pour un client sur 2 paires de fils de cuivre. Ces services seraient pour des services vidéo ou autres services qui demandent plus de débit.