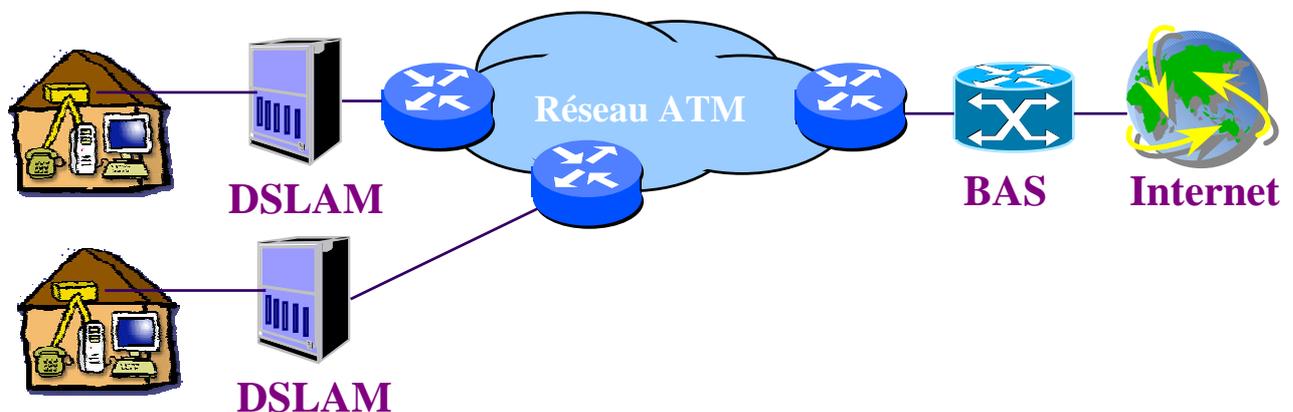

NOUVELLES TECHNOLOGIES RESEAUX

ADSL

Asymmetric Digital Subscriber Line

(ligne numérique à paires asymétriques)



HERVE Steve
PETAS Vincent
BOUZON Elodie

Informatique Réseaux 3^{ème} année



TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	3
2. HISTORIQUE	4
3. QUELQUES CHIFFRES.....	5
4. PRINCIPE DE L'ADSL.....	6
4.1. LA TECHNOLOGIE ADSL.....	6
4.2. PRESENTATION DE LA PAIRE DE CUIVRE.....	6
4.3. QU'EST-CE QUE L'ASYMETRIE ?	7
4.4. LES BANDES PASSANTES UTILISEES.....	8
4.5. LA NOTION DE DEBIT	8
4.6. A QUOI SERT UN FILTRE (SPLITTER).....	9
5. LES DIFFERENTES TECHNOLOGIES XDSL	10
5.1. LES SOLUTIONS SYMETRIQUES.....	10
5.1.1. <i>HDSL</i>	10
5.1.2. <i>SDSL</i>	11
5.2. LES SOLUTIONS ASYMETRIQUES.....	11
5.2.1. <i>RADSL</i>	11
5.2.2. <i>VDSL</i>	12
5.3. LE TABLEAU DE SYNTHESE.....	12
6. FONCTIONNEMENT DE L'ADSL.....	13
6.1. REPRESENTATION D'UNE CONNEXION A INTERNET	13
6.2. LES EQUIPEMENTS DE LA CHAINE ADSL	14
6.3. LES PROTOCOLES MIS EN JEU	15
6.3.1. <i>Modem USB</i> :.....	15
6.3.2. <i>Modem Ethernet</i>	17
7. LES TECHNIQUES DE CODAGE	19
7.1. LES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE	19
7.1.1. <i>FDM</i>	19
7.1.2. <i>TDM</i>	21
7.2. LES TECHNIQUES DE MODULATION	21
7.2.1. <i>DMT</i>	22
7.2.2. <i>CAP</i>	23
8. LE DEGROUPEMENT	25
8.1. LE DEGROUPEMENT PARTIEL.....	25
8.2. LE DEGROUPEMENT COMPLET.....	26
9. LES OFFRES D'ADSL.....	27
10. LES EVOLUTIONS DE L'ADSL	28
11. CONCLUSION.....	30
11.1. LES INCONVENIENTS	30
11.2. LES AVANTAGES.....	30
12. BIBLIOGRAPHIE	31
13. GLOSSAIRE.....	32



1. INTRODUCTION

Bien que l'ADSL ne soit pas encore déployé sur la totalité du territoire, il représente actuellement le meilleur rapport qualité/prix pour accéder en haut débit à Internet. Cela aussi bien pour les particuliers que pour les entreprises.

En effet, de part son débit, sa tarification et la permanence de la connexion, l'ADSL se positionne comme la technologie idéale pour connecter les réseaux locaux d'une PME/PMI à Internet, ou bien pour des particuliers.

Après une présentation exhaustive de l'ADSL et de certains dérivés, nous verrons le fonctionnement détaillé de cette technologie ainsi que les techniques de codage utilisées et les différents modes de dégroupage.

Enfin, nous terminerons par une étude comparative avec les avantages et inconvénients de l'ADSL, les différentes offres des Fournisseurs d'Accès Internet, et les évolutions futures de l'ADSL.



2. 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.

Les opérateurs se sont intéressés à cette technologie depuis quelques années pour deux raisons :

- Le problème des derniers kilomètres est la principale motivation du développement de l'ADSL. En effet, le déploiement massif de la fibre optique, jusque chez l'abonné, envisagé au début des années 1990, s'est révélé lourd et difficile. La fibre optique représentait finalement un investissement important, avec une rentabilité incertaine dans de nombreuses régions. Il fallait donc trouver une autre solution pour proposer des services assurant des hauts débits à moindre coût.
- Ensuite, la déréglementation en France comme aux Etats-Unis a mis fin aux monopoles en matière de téléphonie locale, ouvrant ainsi la compétition entre les câblo-opérateurs, les opérateurs longue distance et les fournisseurs d'accès Internet (FAI). Les opérateurs ont donc cherché des solutions pour répondre à la concurrence du câble. Pour les contrer, une seule solution : doper le réseau téléphonique existant.

C'est ainsi que vont naître les différentes offres ADSL.

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.

En quelques mois, la technologie ADSL a séduit un large public et compte 10 millions d'abonnés dans le monde.



3. QUELQUES CHIFFRES

En France :

L'ADSL couvre pas moins de 75% du territoire français à la fin de l'année 2003 et les objectifs pour 2004 sont d'atteindre les 90%.

France Telecom a dépassé son objectif fin 2003 qui prévoyait de couvrir 75% du territoire à la fin de 2004. Le gouvernement est très actif pour rendre « l'ADSL pour tous », et donc permettre à de nombreuses régions de se développer et ainsi permettre à la France de combler son retard par rapport à d'autres pays européens.

En octobre 2001, le nombre d'abonnés, en France, a été évalué à 300 000. Fin de l'année 2003, cette donnée a été réévaluée à dix fois plus qu'il y a deux ans, c'est à dire 3 millions d'abonnés. La France est au deuxième rang européen du nombre d'accès à Internet par l'ADSL, derrière l'Allemagne.

Il est à noter que dans le domaine du Haut débit, l'ADSL représente 89% du marché contre 11% pour le câble.

Dans le monde :

Dans le monde, ce n'est pas moins de 72 millions de personnes qui ont été recensées comme abonnés de l'ADSL contre seulement 10 millions en 2001. Cette progression fulgurante est plus importante que la téléphonie mobile, pourtant une référence sur le marché.

La Corée est un cas à part dans le marché mondial, c'est le pays où l'ADSL est le plus développé. Près de 21,3 lignes pour 100 habitants, alors que l'Allemagne, pourtant numéro 1 européen n'en a que 2,23 lignes pour 100 habitants. Deux raisons à ce développement : la Corée a un environnement propice à l'ADSL : la majorité de la population se concentre sur quelques mégapoles. De plus, les coréens sont très en avance en nouvelles technologies : ils sont fous de jeux vidéos, et ont donc besoin de hauts débits.

Pour les Etats-Unis, il utilise essentiellement le câble pour leurs accès hauts débits. En effet, 66% du marché est occupé par le câble contre 33% pour l'ADSL.

4. PRINCIPE DE L'ADSL

4.1. LA TECHNOLOGIE ADSL

L'ADSL, Asymmetric Digital Subscriber Line, en français Réseau de Raccordement Numérique Asymétrique, est une technologie permettant de faire passer de hauts débits sur la paire de cuivre utilisée pour les lignes téléphoniques de la Boucle Locale. La technique consiste à utiliser les fréquences supra vocales laissées libres par le service téléphonique traditionnel. L'opérateur de télécoms proposant le service ADSL installe du matériel dans ses répartiteurs (DSLAM) et un modem chez l'abonné. Les débits constatés sont de 10 à 25 fois plus élevés qu'un modem 56K classique.

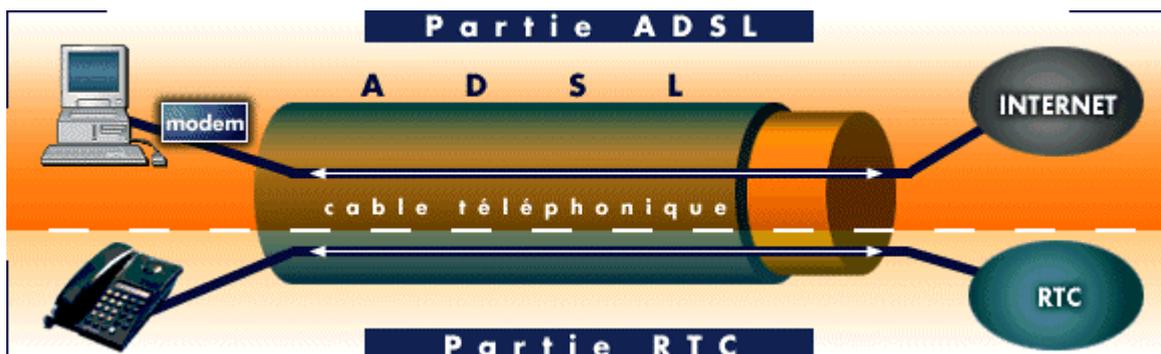
4.2. PRESENTATION DE LA PAIRE DE CUIVRE

Dans la chaîne qui relie l'internaute au reste du monde, le point faible se situe sur la partie reliant le modem du particulier au central téléphonique.

Cette jonction est constituée de fils de cuivre qui, croyait-on par méconnaissance, ne pouvait supporter des vitesses de communication dépassant quelques dizaines de Kb par secondes.

En fait, les possibilités des fils de cuivre étaient sous-utilisées car le réseau téléphonique a d'abord été conçu pour transporter de la voix et dans cette optique, la bande passante utilisée par les équipements de communication classiques est de l'ordre 3.3 KHz.

Or, les caractéristiques physiques des lignes d'abonnés permettent en réalité de supporter la transmission de signaux à des fréquences pouvant atteindre 1 Mhz .



Problèmes liés à la paire de cuivre :

Dans un réseau téléphonique, de multiples paires de fils téléphoniques sont regroupées dans un même câble. Les signaux créent des interférences magnétiques : c'est la diaphonie. De plus, souvent le réseau téléphonique est ancien et la paire de cuivre est dégradée. Ces problèmes limitent le débit obtenu.



4.3. QU'EST-CE QUE L'ASYMETRIE ?

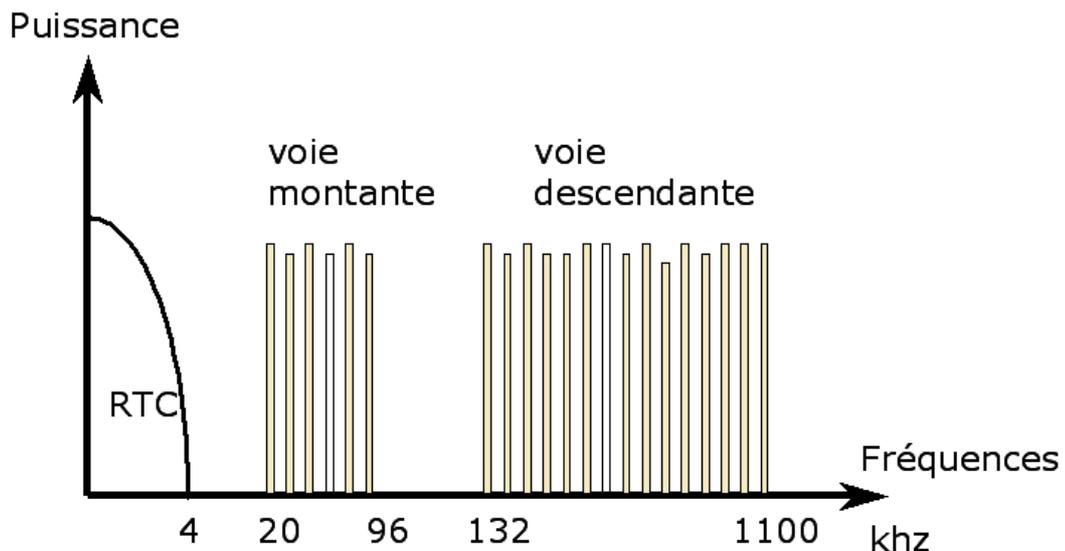
En étudiant différents cas de figures, on s'est aperçu qu'il était possible de transmettre les données plus rapidement d'un central vers un utilisateur que lorsque l'utilisateur envoie des informations vers le central, ceux-ci sont plus sensibles aux bruits causés par des perturbations électromagnétiques car plus on se rapproche du central, plus la concentration de 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.

4.4. LES BANDES PASSANTES UTILISEES

Voici les bandes de fréquence utilisées par l'ADSL :

- RTC : 300 – 3100 Hz
- ADSL Voie montante : 25 – 140 KHz
- ADSL Voie descendante : 140 KHz – 1,1 MHz



4.5. LA NOTION DE DEBIT

Techniquement, l'ADSL permet des débits de 8Mbps en voie descendante et de 1 Mbps 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.

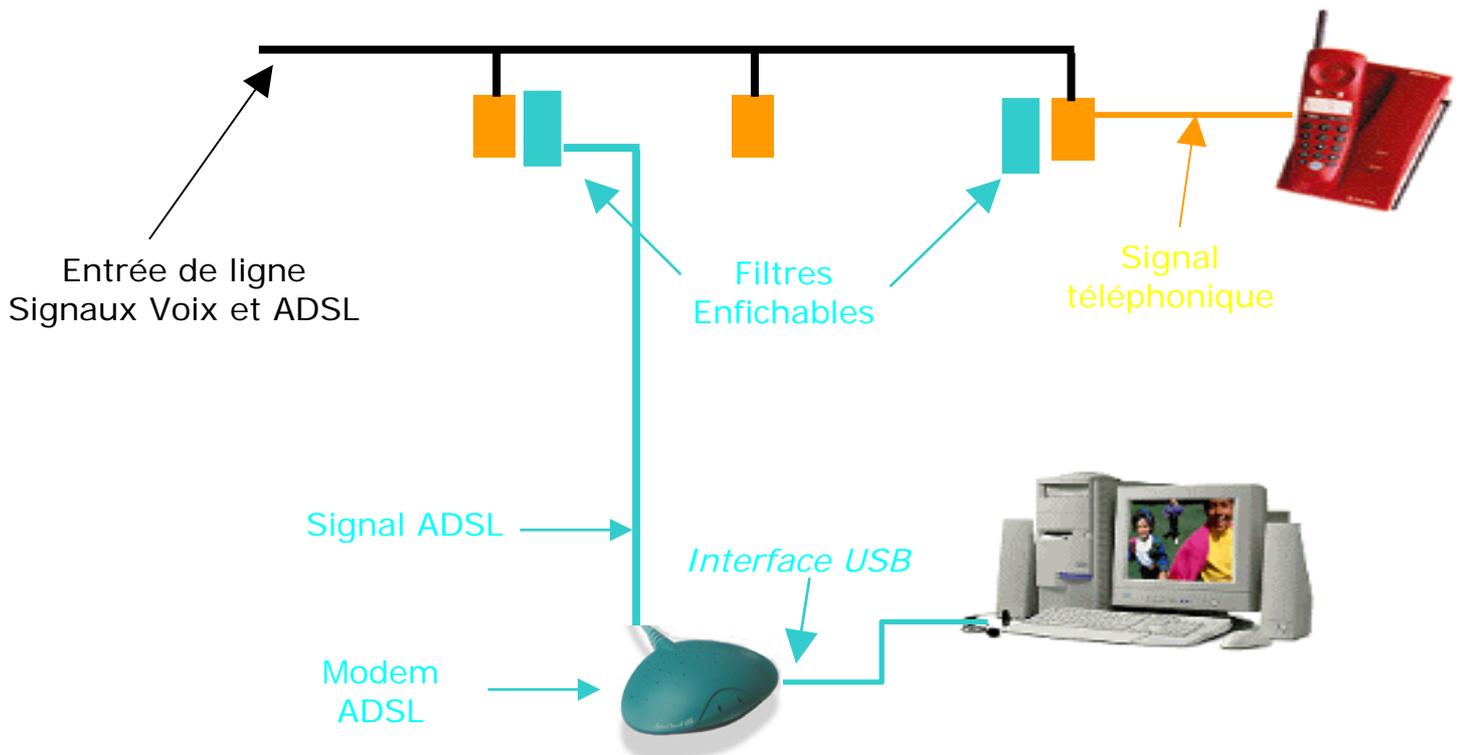
- **Le débit crête** : (qui peut aussi être appelé «Burst») : c'est le débit instantané que le client peut potentiellement atteindre pendant une durée limitée. Pour atteindre ce burst, il faut impérativement que le site qui concentre les flux en provenance des accès ADSL soit dimensionné afin d'absorber 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.

En France les offres ne dépassent pas aujourd'hui les 2Mbps. Pour le grand public, les offres commerciales vont de 128Kbps à 1Mbps

4.6. A QUOI SERT UN FILTRE (SPLITTER)

Présent 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.





5. LES DIFFERENTES TECHNOLOGIES XDSL

L'xDSL regroupent tout ce qui permet de faire passer des flots de données à grande vitesse sur de simples lignes téléphoniques. Il en existe différentes variantes :

- HDSL : High bit rate DSL
- SDSL : Single pair, ou symmetric DSL
- ADSL : Asymmetric DSL
- RADSL : Rate adaptative DSL
- VDSL : Very high DSL

Les différences essentielles entre ces technologies sont affaires de :

- vitesse de transmission
- distance maximale de transmission
- variation de débit entre le flux montant (utilisateur/réseau) et flux descendant (réseau/utilisateur)

Les technologies xDSL sont divisées en deux grandes familles, celles utilisant une transmission symétrique et celle utilisant une transmission asymétrique

5.1. LES SOLUTIONS SYMETRIQUES

5.1.1. HDSL

Cette technique consiste à diviser le tronc numérique du réseau, T1 aux Etats Unis, et E1 en Europe, sur plusieurs paires de fils (2 au lieu de 24 pour T1 et 3 au lieu de 32 pour E1). Ceci a été réalisé grâce à l'évolution de la théorie du signal permettant d'augmenter le nombre de bits par symbole transmis.

L'HDSL permet :

- d'écouler le trafic de façon symétrique mais nécessite deux ou trois paires de cuivre. Il alloue la même largeur de bande dans le sens montant que dans le sens descendant.
- d'avoir un débit de 2Mbps, ce dernier pouvant tomber à 384 kbps en fonction de la qualité de la ligne et de la distance (limitée à 4,5 km).



5.1.2. SDSL

Le précurseur de la technologie HDSL2 est le SDSL. Comme HDSL, SDSL supporte les transmissions symétriques sur T1 et E1, cependant, elle diffère d'HDSL par trois points importants :

- la transmission se fait sur une paire torsadée
- la longueur de la boucle locale est limitée à 3,6km
- le débit est limité à 768kbps

5.2. LES SOLUTIONS ASYMETRIQUES

5.2.1. RADSL

Avec RADSL (Rate Adaptive DSL), la vitesse de la transmission est adaptée de manière automatique et dynamique, selon la qualité de la ligne de communication. Aussi longtemps qu'il fut question de transfert de données vidéo, il fut hors de question de faire varier le débit. Dans ce cas précis, il est nécessaire de faire un traitement synchrone. Cependant, depuis l'échec du VDT (Video Dial Tone), qui a subi la concurrence de la TV câblée et par satellite, d'autres applications sont apparues :

- les architectures client/serveur
- l'accès aux réseaux à distance
- l'Internet et le multimédia

5.2.2. VDSL

VDSL est la plus rapide des technologies xDSL. Elle est capable de supporter, sur une simple paire torsadée, des débits :

- descendants de 13 à 52 Mbps
- ascendants de 1,5 à 2,3 Mbps

En revanche, la longueur maximale de la boucle est seulement de 1,3km

5.3. LE 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

6. FONCTIONNEMENT DE L'ADSL

6.1. REPRESENTATION D'UNE CONNEXION A INTERNET

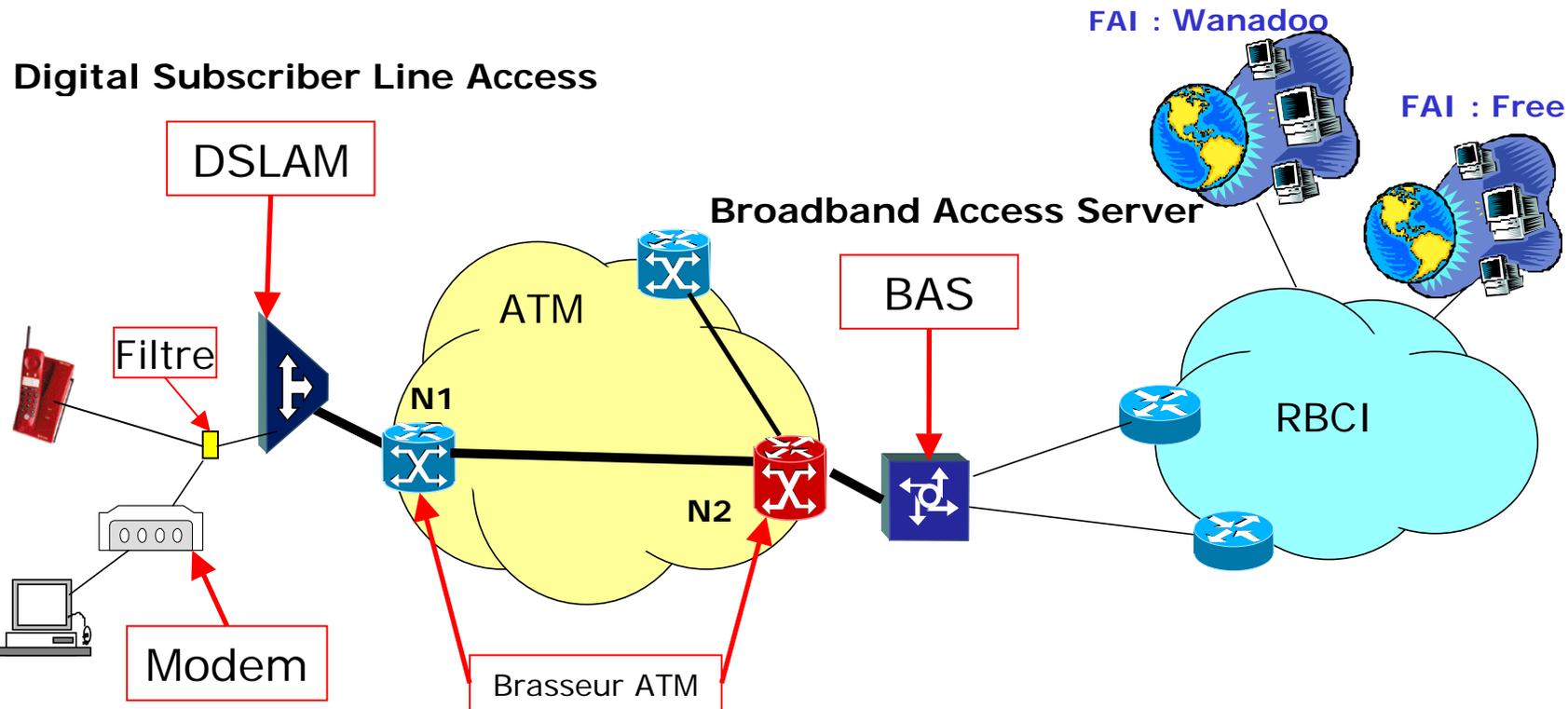
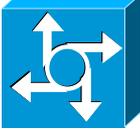


Figure : Connexion Internet : les équipement de la chaîne ADSL

La figure ci-dessus schématise une connexion Internet, de l'ordinateur jusqu'au fournisseur d'accès Internet.

L'accès du client final au réseau Internet sollicite différents équipements et réseaux : le modem, le filtre, le DSLAM, le réseau de collecte, le BAS, le RBCI et le FAI.

6.2. LES EQUIPEMENTS DE LA CHAINE ADSL

 FILTRE	Du côté de l'abonné, le filtre fait la différence entre la voix et les données numériques. Il sépare la bande passante réservée au service téléphonique grâce à un filtre passe-bas (<4kHz) de la bande passante utilisée pour la transmission ADSL grâce à un filtre passe-haut (>25kHz).
 MODEM	Le MOdulateur-DEModulateur module un ensemble de signaux de fréquence appartenant à une plage 26-1100 kHz pour transporter les données "internet" (sans interférer avec la bande de fréquence utilisée par la voie 0,3-3,4 kHz).
 DSLAM	<p>Le DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) est l'équipement relié au client ADSL via la paire de cuivre ADSL. Il récupère les flux "voie" et "internet". Les flux "voie" sont aiguillés vers le RTC et les flux "IP" vers le BAS en empruntant le réseau de collecte, le réseau ATM.</p> <p>Le DSLAM est capable de traiter de 800 à 2500 clients simultanément.</p>
 ATM	Le réseau ATM (Asynchronous Transfert Mode) est une technologie de réseau permettant de transférer sur une même ligne des données et de la voix. ATM est le réseau de collecte de la chaîne ADSL.
 RAS	<p>Le BAS (Broadband Access Server) est l'équipement qui permet au client d'accéder à une large bande passante.</p> <p>Il concentre le trafic remontant venant des DSLAM. Il est chargé de répartir les flux "internet" sur le réseau ATM en direction des DSLAM auxquels sont rattachés les clients. Il gère les connexions, l'allocation des adresses.</p> <p>Coté tronc IP, il analyse des paquets IP, et effectue le routage vers les fournisseurs d'accès via le Réseau Backbone de Collecte Interne (RBCI).</p> <p>Par ailleurs, le BAS est le point d'entrée vers les serveurs d'authentification, d'autorisation, de comptage et de taxation.</p>
 RBCI	Le Réseau Backbone de Collecte Interne (RBCI) permet d'acheminer les flux IP venant du BAS vers le FAI via des routeurs. Ceux-ci analysent l'en-tête des paquets inséré par le protocole IP (@ IP destination) afin de les aiguiller sur le port de sortie concerné. Le choix du port de sortie est réalisé par l'intermédiaire d'une table de routage.



6.3. LES PROTOCOLES MIS EN JEU

Pour faire communiquer les différents équipements intervenant dans la chaîne ADSL et pour établir une connexion Internet, il y a la mise en place d'encapsulations de protocoles du client vers le BAS. L'architecture présentée est celle actuellement utilisée dans le réseau France Telecom (qui est la plus répandue).

Malgré un principe de connexion identique comme l'élaboration d'une connexion PPP entre le client et le BAS, l'empilement des couches réseaux et les encapsulations de protocoles varient en fonction du type de modem (liaison entre l'ordinateur et le Modem).

Les deux schémas suivants représentent une communication WEB « classique » et plus particulièrement entre le client et le BAS. Elle met en œuvre les protocoles HTTP (Hyper Text Transfert Protocol) puis TCP (Transport Control Protocol) et IP (Internet Protocol).

Lors d'une connexion à Internet via l'ADSL (modem USB ou Ethernet), nous trouvons 4 équipements mis en jeux (Ordinateur client, modem, DSLAM, BAS) et 3 types de liaisons :

- Ordinateur client -> Modem
- Modem -> DSLAM
- DSLAM -> BAS

6.3.1. Modem USB :

Avec un modem USB, l'acheminement des données se fait comme suit :

- L'ordinateur envoie ses données au modem par le biais du protocole USB. Pour cela, il encapsule toutes les données (de la couche application à la couche liaison de données mais aussi la connexion PPP) pour les transmettre via l'USB au modem.
- Le modem récupère les données provenant de l'ordinateur et les désencapsule jusqu'au niveau 2 (protocole PPP) pour les encapsuler de nouveau dans le protocole AAL5 (Adaptation à l'ATM) puis dans ATM. Une fois cela réalisé, le modem transmet les données au DSLAM via la technologie ADSL.
- Le DSLAM récupère les données transmises via l'ADSL et remonte jusqu'au protocole ATM pour pouvoir adapter ces données au support physique reliant le DSLAM au BAS (souvent de l'ATM « pure » sur fibre optique par le biais du protocole TC/PM ou en étant encapsulé dans des trames STM pour aller sur le réseau SDH).
- Le BAS récupère ces données et remonte jusqu'à la couche 3 (PHY->ATM->AAL5->PPP->IP) afin d'adapter la transmission au réseau reliant le BAS au réseau de collecte. La majeure partie du temps ce réseau de collecte en sortie de BAS est en Fast Ethernet (100Mbit/s).

C'est ainsi que les données transmises entre le modem et le DSLAM sont de la forme :

Données->TCP->IP->PPP->AAL5->ATM->ADSL

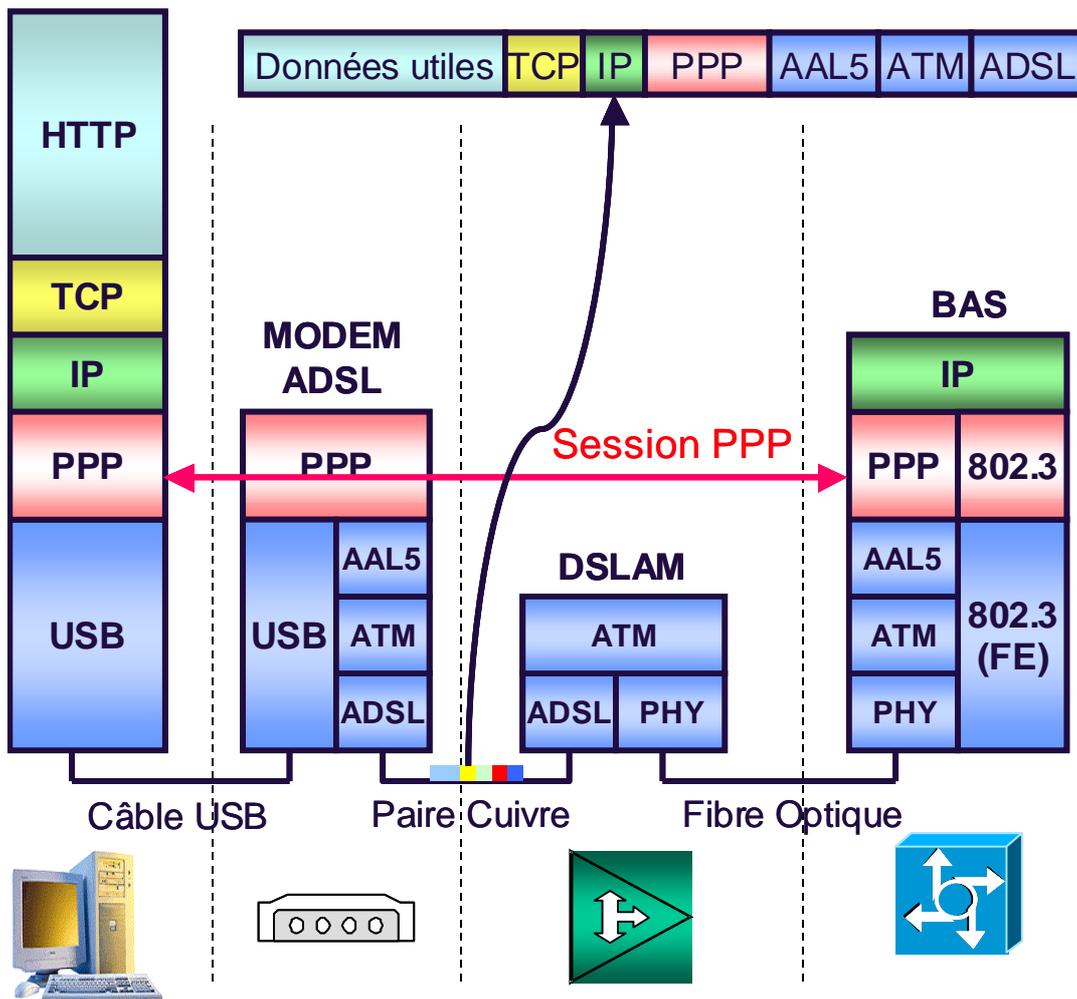


Figure : Liaison Internet avec un modem USB



6.3.2. Modem Ethernet

Avec un modem Ethernet, l'acheminement des données se fait comme suit :

- L'ordinateur envoie ses données au modem par le biais du protocole Ethernet. Pour cela, il encapsule toutes les données (de la couche application à la couche liaison de données mais aussi la connexion PPP par le biais du protocole PPPoE) pour les transmettre en Ethernet au modem.
- Le modem récupère les données provenant de l'ordinateur et les désencapsule jusqu'au protocole Ethernet pour les encapsuler dans le protocole LLC SNAP puis dans le protocole AAL5 (Adaptation à l'ATM) puis dans de l'ATM. Une fois cela réalisé, le modem transmet les données au DSLAM via la technologie ADSL.
- Le DSLAM récupère les données transmises via l'ADSL et remonte jusqu'au protocole ATM pour pouvoir adapter ces données au support physique reliant le DSLAM au BAS (souvent de l'ATM « pure » sur fibre optique par le biais du protocole TC/PM ou en étant encapsulé dans des trames STM pour aller sur le réseau SDH).
- Le BAS récupère ces données et remonte jusqu'à la couche 3 (PHY->ATM->AAL5->LLC SNAP->802.3->PPPoE->PPP->IP) afin d'adapter la transmission au réseau reliant le BAS au réseau de collecte. La majeure partie du temps ce réseau de collecte, en sortie de BAS, est en Fast Ethernet (100Mbit/s).

C'est ainsi que les données transmises entre le modem et le DSLAM sont de la forme :

Données->TCP->IP->PPP->802.3->LLC SNAP->AAL5->ATM->ADSL

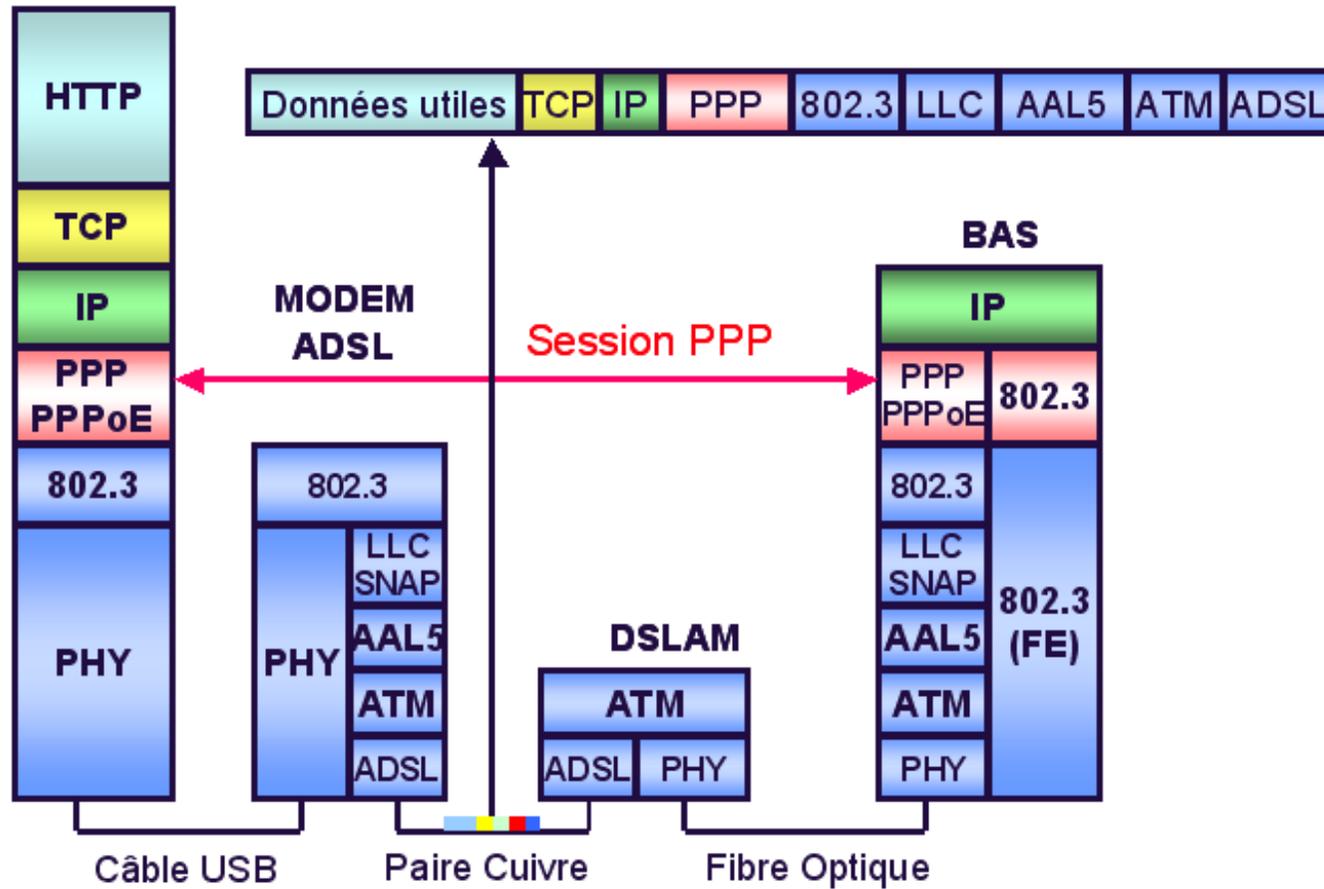


Figure : Connexion Internet avec un modem Ethernet

7. LES TECHNIQUES DE CODAGE

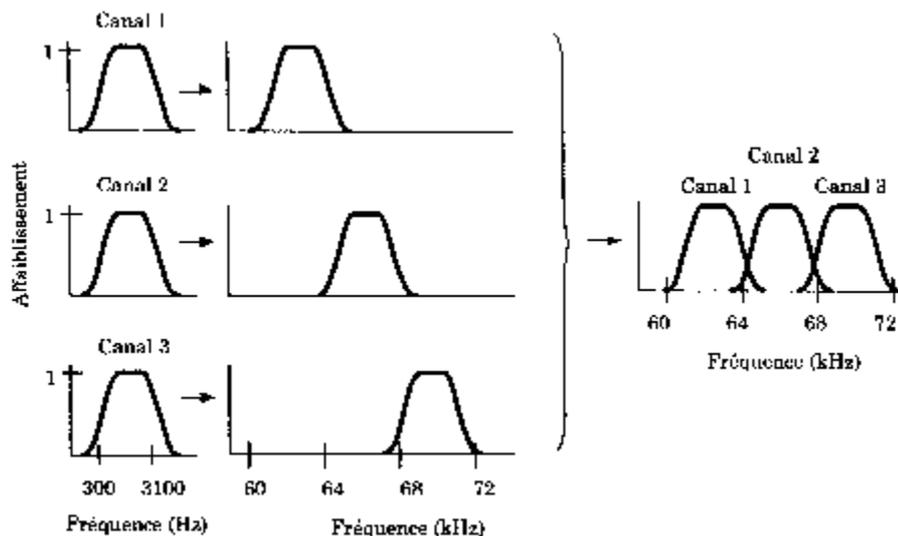
7.1. LES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE

7.1.1. FDM

FDM (Frequency Division Multiplexing) est une technique de multiplexage par répartition de fréquence (MRF). Elle est utilisée pour accroître les débits sur paires torsadées et plus particulièrement des lignes téléphoniques.

Le multiplexage fréquentiel consiste à partager la bande de fréquence disponible en un certain nombre de canaux ou sous bandes plus étroites et à affecter en permanence chacun de ces canaux à un utilisateur ou à un usage exclusif.

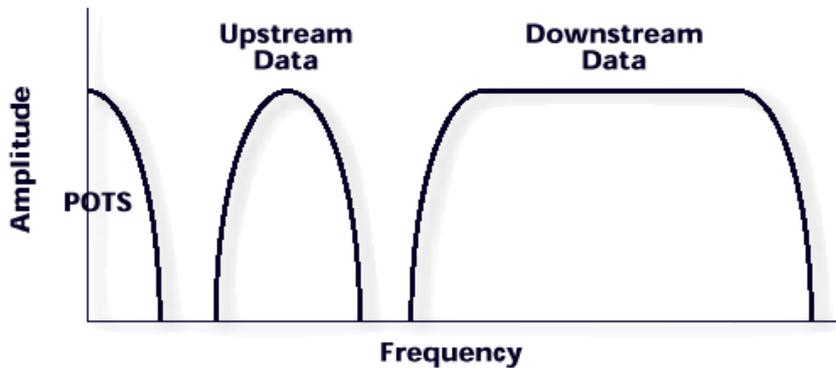
L'organisation du groupe primaire ou groupe de base utilisé en téléphonie est basée sur un multiplexage fréquentiel. Ce dernier consiste à regrouper 12 voix téléphoniques de 4000 Hz chacune (3000 Hz utilisables plus 2 espaces inter-bandes de 500 Hz) ce qui donne une largeur de bande de 48 kHz répartie entre 60 et 108 kHz.



Exemple de multiplexage fréquentiel de trois canaux téléphoniques

On trouve également un bon exemple de l'utilisation de FDM avec ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). ADSL est né de l'observation qu'une ligne téléphonique possède une bande passante d'environ 1 Mhz dans laquelle seule, une largeur de bande de 4 KHz est utilisée pour les communications téléphoniques. Il reste donc une bande passante importante disponible pour un autre usage. C'est un multiplexage en fréquence qui va permettre son utilisation :

Frequency Division Multiplexing



Multiplexage des fréquences en ADSL

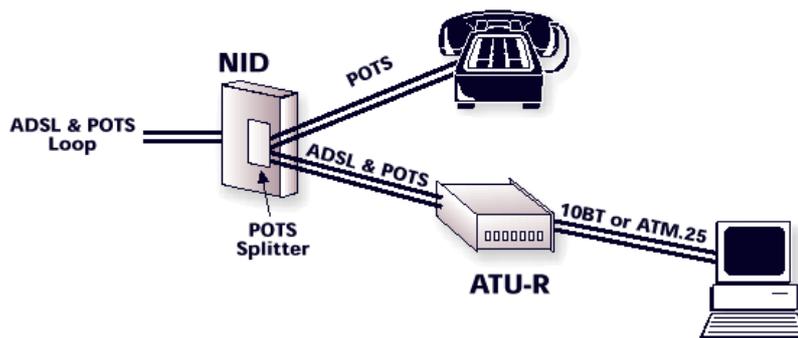
Une bande de 4 kHz est réservée pour la téléphonie classique (POTS : Plain Old Telephone Service)

Une bande est réservée pour le flux de données usager vers réseau. (Upstream Data : Voie montante).

Une bande est réservée pour le flux de données réseau vers usager. (Downstream Data : Voie descendante)

L'ensemble de la bande passante s'étend sur 1,1 MHz.

Le canal dédié au téléphone est séparé des canaux dédiés aux données par un filtre passe-bas (Splitter) passif. Le filtre envoie également l'intégralité du signal au modem ADSL (ATU-R : ADSL transceiver unit-remote). Celui-ci est doté d'un filtre passe-haut qui élimine le canal dédié au téléphone. Le signal est ensuite traité par la technologie DMT pour être transmis à l'équipement informatique via une liaison de type Ethernet 10BaseT ou ATM25.

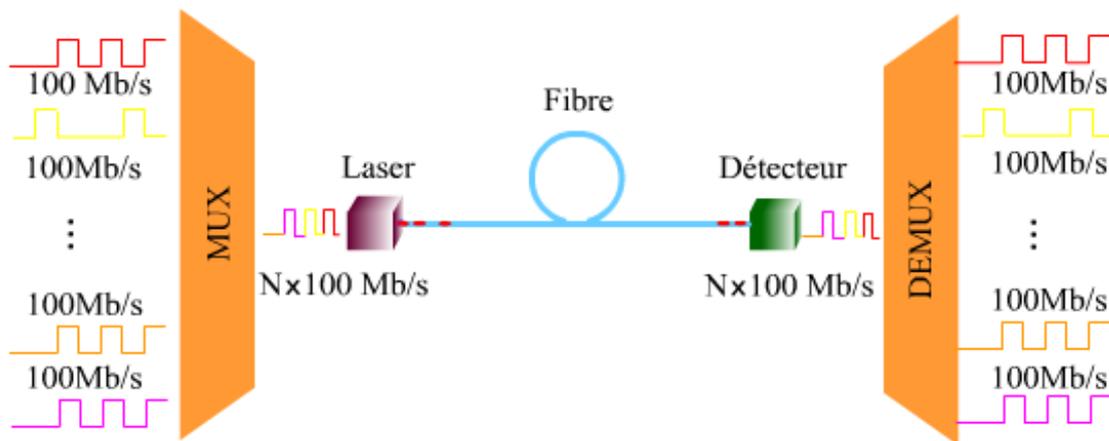


Séparation du téléphone et des données chez l'utilisateur en ADSL

7.1.2. TDM

La technologie TDM (Time Division Multiplexing ou Multiplexage Temporel) permet d'échantillonner les signaux de différentes voies à faibles débits et de les transmettre successivement sur une voie à haut débit en leur allouant la totalité de la bande passante.

On retrouve ce type d'utilisation sur les canaux T1 aux Etats-Unis qui regroupent par multiplexage temporel 24 voies à 64 Kbit/s en une voie à 1,544 Mbit/s ou sur les canaux E1 en Europe qui regroupent 30 voies analogiques en une voie à 2,048 Mbit/s.



Les différentes voies à faible débit (100Mb/s) sont adressées successivement sur le canal à haut débit ($N \times 100 \text{ Mb/s}$). Le "mélange" des voies faibles débit se fait par l'intermédiaire du multiplexeur temporel (MUX) les signaux sont récupérés ensuite grâce au démultiplexeur (DEMUX) qui fait l'opération inverse. Entre le MUX et le DEMUX, on retrouve le système optique de base (Laser-Fibre-Défecteur).

7.2. LES TECHNIQUES DE MODULATION

Le but des technologies xDSL est de doper la communication sur le réseau téléphonique existant. Il s'agit de mettre en œuvre de nouvelles techniques de traitement du signal permettant d'augmenter le débit. Pour l'ADSL, la clé réside dans la modulation.

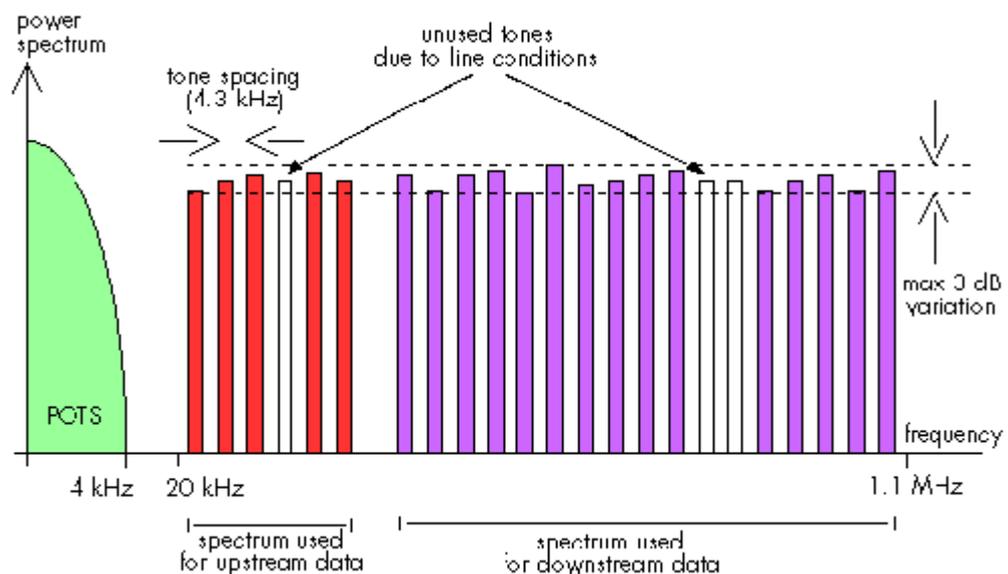
Il existe différentes façons de traiter la porteuse HF, en fonction de la donnée à transmettre; on utilise pour cela les techniques Carrier Amplitude/Phase Modulation (CAP) et Discret Multitone Modulation (DMT).

7.2.1. DMT

Le principe de DMT est de séparer la bande passante en 256 sous-bandes distinctes et de placer le signal digital sur des porteuses analogiques.

DMT utilise le spectre entre 26 KHz et 1.1 Mhz pour les données. Pour inclure le service POTS (Plain Old Telephone Service), DMT utilise le spectre de 0 à 4 KHz. Le spectre au-dessus de 26 KHz est divisé en 256 canaux.

DMT va en outre permettre d'adapter dynamiquement la capacité de chaque canal en fonction des caractéristiques de la ligne à ce moment. La bande passante restante sera utilisée pour la transmission des informations de contrôle propres à ADSL.



Utilisation de la bande passante par DMT

La division de la bande passante disponible en un ensemble de sous canaux indépendants, est la clé des performances obtenues par DMT.

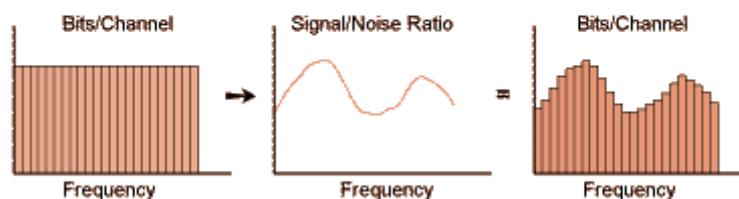
En mesurant la qualité de chaque sous canal et en allouant un nombre de bits par canal basé sur la qualité de ce canal, DMT optimise le signal transmis sur chaque ligne. Ainsi, DMT évite d'utiliser des zones de la bande passante où l'atténuation du signal est trop importante.

Quand un système DMT est en opération, la qualité de chaque sous-canal est constamment surveillé, et des ajustements sont réalisés sur la distribution des bits pour maintenir les performances désirées. Donc si la qualité d'un sous-canal se dégrade au point que les performances du système soient compromises, un ou plusieurs bits de ce sous-canal sont déplacés vers un canal qui peut transporter des bits supplémentaires.

La bande passante est divisée en un grand nombre de canaux indépendants, chacun pouvant supporter un nombre de bits proportionnel à son rapport signal/bruit.

L'adaptation de la charge est réalisée en augmentant ou diminuant simplement le nombre de bits supporté par chaque canal. Par exemple, en ADSL, la bande passante réservée aux transferts d'éléments autres que la voix et les informations de contrôle est divisée en 256 canaux indépendants. Chaque canal possède une bande passante de 4 KHz.

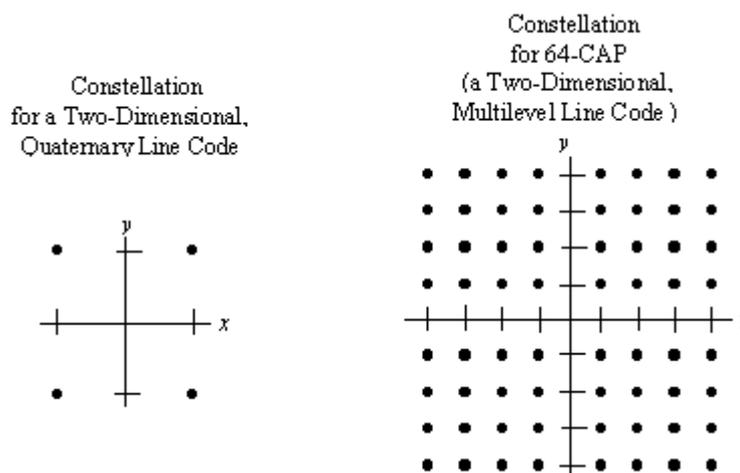
Donc théoriquement, le débit maximum d'informations "downstream", c'est à dire du serveur vers le client, est de $256 \text{ canaux} * 15 \text{ bits/canal} * 4 \text{ KHz} = 15 \text{ Mbps}$.



7.2.2. CAP

CAP utilise aussi bien la modulation de phase que la modulation d'amplitude.

L'ensemble des combinaisons de bits qu'on peut envoyer à un instant de modulation donné se nomme une constellation. Chaque combinaison possible de bits est représentée par un point de cette constellation. Ces combinaisons de bits sont obtenues par une combinaison de plusieurs valeurs d'amplitude possibles ainsi que par des décalages de phase. La figure ci-dessous donne un exemple de constellation pour un 2-CAP (un décalage de phase de 180° et un niveau d'amplitude) et un 64-CAP (décalages de phase de 90° et quatre niveaux d'amplitude).



Constellation pour un codage de ligne à 2-CAP et 64-CAP



Les émetteurs-récepteurs CAP peuvent utiliser des constellations multiples qui créent 2^n valeurs. Cependant en réaction aux différentes conditions de la ligne (bruit, défauts...), les algorithmes CAP peuvent étendre et contracter ces constellations (c-à-d N-CAP = 512-CAP, 64-CAP, 4-CAP, etc..). Cette capacité à changer la taille des constellations est une des deux façons utilisées par CAP pour s'adapter aux caractéristiques de la ligne. L'autre méthode est simplement de réduire la bande passante utilisée.

Contrairement à DMT, CAP ne subdivise pas la bande passante disponible au dessus des 4KHz en canaux étroits. CAP peut augmenter ou diminuer la largeur de bande qu'il utilise par incrément de 1Hz.

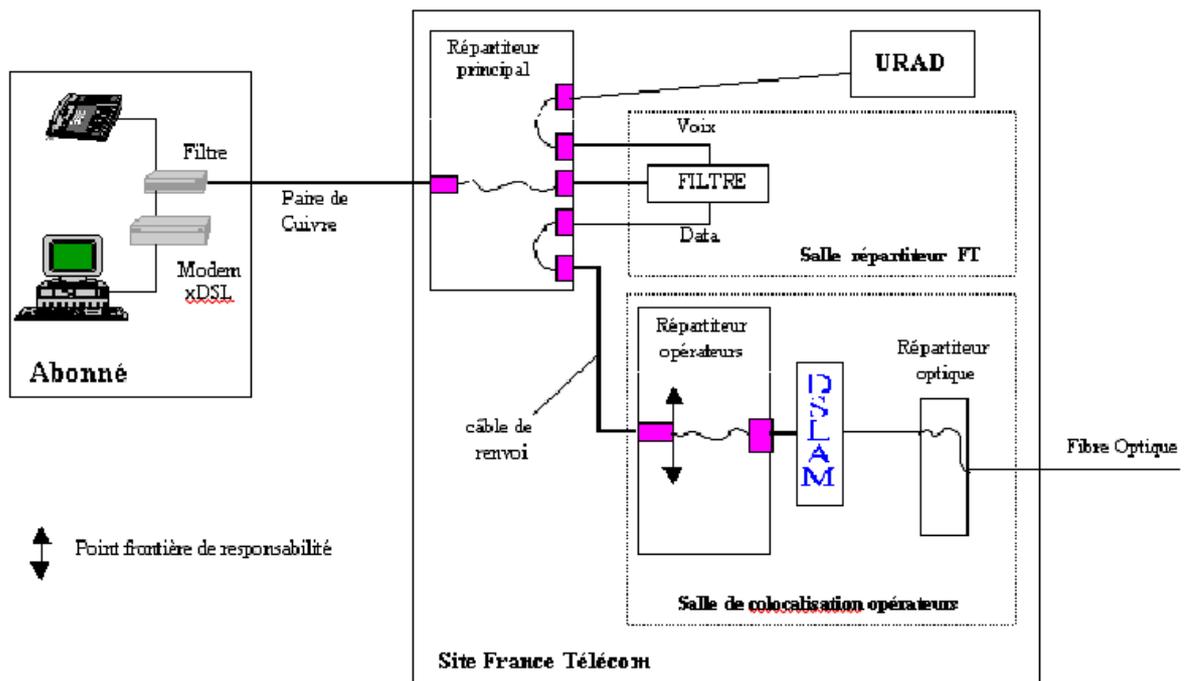
Dans les systèmes CAP, seulement deux canaux sont requis en plus de celui utilisé par le téléphone: "upstream" et "downstream". Ces canaux sont séparés par la technique de multiplexage FDM vu précédemment.

8. LE DEGROUPEGE

Le dégroupage de la boucle locale est un processus qui permet aux concurrents de France Télécom d'accéder aux lignes téléphoniques (la « paire de cuivre ») jusqu'à l'abonné et mettant fin au monopole de l'opérateur historique sur les communications locales. L'opérateur concurrent qui le désire peut sous-louer à France Télécom tout ou partie d'une ligne téléphonique et proposer ses propres services parmi lesquels on trouve le service téléphonique local traditionnel, mais aussi les accès haut débit DSL.

8.1. LE DEGROUPEGE PARTIEL

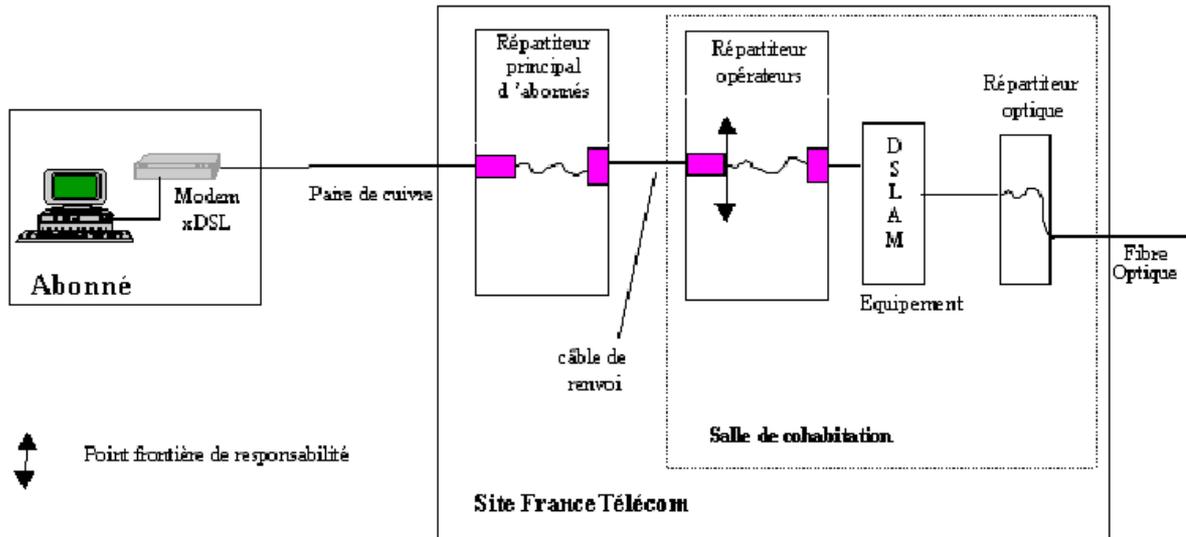
Le dégroupage " partiel ", ou accès partiellement dégroupé à la boucle locale, consiste en la mise à disposition de l'opérateur tiers de la bande de fréquence " haute " de la paire de cuivre, sur laquelle il peut alors construire, par exemple, un service ADSL. La bande de fréquence basse (celle utilisée traditionnellement pour le téléphone) reste gérée par France Telecom, qui continue de fournir le service téléphonique à son abonné, sans aucun changement induit par le dégroupage sur ce service



Ce schéma explique la répartition des différentes communications et les frontières de responsabilités entre France Telecom et les autres opérateurs. C'est-à-dire que la partie concernant l'ADSL est redirigée vers une salle de cohabitation où les autres opérateurs peuvent organiser comme ils veulent leurs équipements et leur réseau de collecte.

8.2. LE DEGROUPEMENT COMPLET

Le dégroupage " total ", ou accès totalement dégroupé à la boucle locale, consiste en la mise à disposition de l'intégralité des bandes de fréquence de la paire de cuivre. L'utilisateur final n'est alors plus relié au réseau de France Telecom, mais à celui de l'opérateur nouvel entrant



Ici, l'opérateur tiers a un contrôle total de la ligne du client. A lui de fournir les services et équipements qu'il désire.

9. LES OFFRES D'ADSL

De nombreux fournisseurs d'accès ont commercialisé une offre de service ADSL, mais le déploiement reste inégal sur l'ensemble du territoire. Certaines offres sont limitées à la région parisienne, d'autres FAI ont élargi leurs champs d'action. Le tableau ci-dessous présente un échantillon des offres actuelles pour les principaux opérateurs.

Fournisseur Accès Internet	Débits	Prix/Mois
Wanadoo eXtense	512/128	34,90€
	1024/128	44,90€
9Online	512/128	19,90€
	1024/256	24,90€
	2048/256	34,90€
AOL	512/128	34,99 €
Free Haut Débit	1024/128	29,99 €
Tiscali	512/128	20,00€
	1024/128	30,00€
Club Internet	512/128	29,90€
	1024/128	39,90€
Cegetel	512/128	26,90€
	1024/256	26,90€
	2048/256	36,90€
Freesurf	512/128	44,00€
	1024/128	79,00€
TELE2	512/128	24,95€
	1024/256	24,95€

Les différents fournisseurs d'accès se livrent une guerre des prix et de nombreuses baisses ont vu le jour en fin d'année. À l'origine de ce chamboulement de dernière minute: l'homologation, mi-décembre, de la baisse des tarifs de gros ADSL de France Télécom par le ministère de l'Industrie. C'est le développement du dégroupage, présenté dans le paragraphe précédent, qui a permis aux fournisseurs d'accès de s'affranchir de France Télécom et d'entamer une véritable politique tarifaire agressive.

10. LES EVOLUTIONS DE L'ADSL

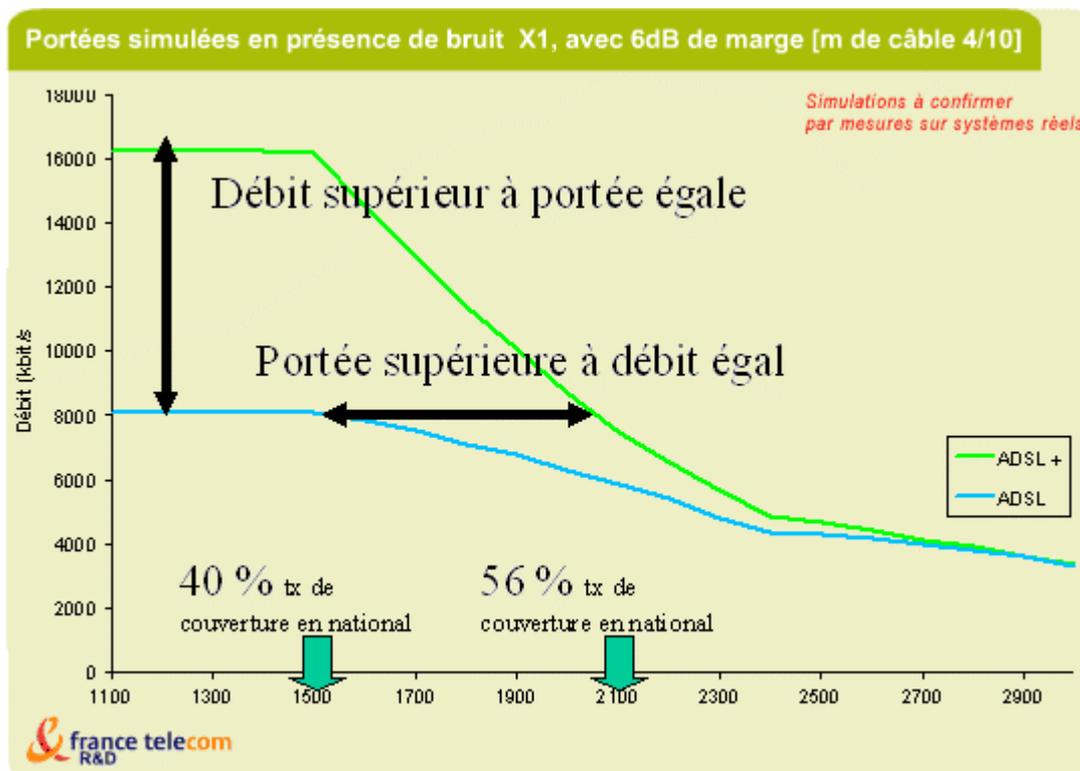
Les nouveaux services développés : la télévision via l'ADSL

France Télécom et TPS ont inauguré fin décembre leur offre commune de télévision par ADSL, qu'ils préparent depuis plusieurs mois. Leur concurrent est Free qui propose depuis début décembre un modem tout en un : un accès Internet, la téléphonie sur IP et la télévision pour un abonnement unique de 29,99 euros par mois.

L'ADSL2+ :

L'ADSL2+ est l'ADSL de deuxième génération. Le concept de cette nouvelle norme est de doubler le spectre de fréquence et donc la bande passante. Les équipements de la chaîne restent toutefois compatibles.

Là où l'ADSL permet pour l'instant un débit maximal de 8 Mbit/s pour la réception de données, c'est-à-dire en canal descendant (downstream), l'ADSL2+ autorisera un débit allant jusqu'à 16 Mbit/s pour les clients proches (environ 40 % des clients autour du central). Dans le sens remontant (upstream), le débit restera sensiblement le même, soit 1 Mbit/s.



Ce schéma permet de constater que les abonnés relativement proches du central noteront une amélioration sensible du débit ou de la portée en cas de raccordement ADSL2+.



- à portée égale, le débit de l'ADSL2+ sera supérieur ;
- à débit égal, la portée de la nouvelle norme sera supérieure permettant ainsi à un nombre accru d'abonnés de bénéficier d'une connexion à 8 Mbit/s, jusqu'ici réservée aux proches voisins des centraux.

Par contre, les abonnés les plus éloignés verront peu de différences avec l'ADSL. A ceci près toutefois, que l'optimisation des équipements et l'amélioration du dialogue entre les modems distants permettront d'augmenter la portée des lignes d'environ 10 %.

L'ADSL2+ est actuellement en cours d'adoption définitive à l'UIT. Sa commercialisation devrait intervenir courant 2004.



11. CONCLUSION

11.1. LES INCONVENIENTS

Voici la liste des inconvénients de la technologie ADSL :

- L'ADSL pas encore disponible dans la totalité du territoire (environ 75% du territoire français est couvert) ;
- Le débit affiché bien que plus rapide que par un modem 56k reste souvent théorique au vu des problèmes de diaphonie et de la qualité de la paire de cuivre ;
- Il est nécessaire de se situer dans une zone compatible et proche d'un centre. Les campagnes sont alors exclues de ce mode de communication. La dissipation d'énergie est à l'origine de cette contrainte ;
- En France, pour bénéficier de l'ADSL, il est nécessaire d'avoir un abonnement téléphonique.

11.2. LES AVANTAGES

L'ADSL présente de nombreux avantages par rapport à une connexion Internet classique :

- L'ADSL permet des débits beaucoup plus important ;
- La plupart des offres ADSL sont des offres Illimitées ;
- La connexion est permanente et la ligne téléphonique est libérée ;
- L'installation est facile : le client est en mesure de l'effectuer lui-même, cela ne nécessite pas d'intervention de la part du fournisseurs d'accès, elle est donc à moindre coûts ;
- Le haut débit a permis l'apparition de nombreux services : tels que la vidéo, la téléphonie sur IP, la télévision sur IP

Pour l'opérateur, l'ADSL ne nécessite pas un investissement trop onéreux, le dernier kilomètre par l'ADSL est moins cher que l'utilisation de la fibre optique. L'utilisation du réseau téléphonique existant permet d'envisager un grand nombre d'abonnés potentiels. L'ADSL est toujours en pleine expansion.



12. BIBLIOGRAPHIE

Principe ADSL & fonctionnement :

- www.dslvalley.com
- www.art-telecom.fr
- www.francetelecom.com
- Intranet France Telecom

Technique de codage :

- www.deptinfo.cnam.fr
- www.innopart.com



13. GLOSSAIRE

AA : *Access Adapter*, adaptateur d'accès au nœud central.

AAL5 : *ATM Adaptation Layer 5*, couche d'adaptation à l'ATM

ADSL : *Asymmetric DSL*, une des premières techniques DSL avec débits asymétriques.

ATM : *Asynchronous Transfer Mode* (mode de transfert asynchrone), technique de multiplexage et d'acheminement pour réseau multiservice à haut débit.

BAS : *Broadband Access Server*, serveur d'accès à la bande passante

CAP : *Carrierless Amplitude Modulation*, technique de modulation dérivée du MAQ (ou QAM, en anglais).

DMT : *Discrete Multitone*, technologie DSL qui divise le signal en 256 sous-canaux.

DSL : *Digital Subscriber Line*, ou xDSL, famille de technologies qui définit des transmissions à hauts débits sur la boucle locale reliant le central télécoms le plus proche à un abonné.

DSLAM : *Digital Subscriber Line Access Module*, équipement de concentration des accès xDSL

FAI : Fournisseur d'Accès Internet

FDM : *Frequency Division Multiplexing*, modulation séparant les signaux émis et reçus sur deux bandes de fréquence séparées (par opposition aux techniques à annulation d'écho).

HDSL : *High Bit Rate DSL*, technologie qui permet de transférer à 2 048 kbits/s sur une boucle locale sans répéteurs.

POTS : *Plain Old Telephone Service*, services téléphoniques analogiques de base (dans la bande passante 4 kHz).

RADSL : *Rate Adaptive DSL*, technologie qui supporte des applications à la fois symétriques et asymétriques avec des débits variables.

RTC : *Réseau Téléphonique Commuté*, réseau téléphonique classique.

SDSL : *Symmetric, ou Single-pair DSL*, extension du HDSL n'utilisant qu'une seule paire de fils.

VDSL : *Very High Rate DSL*, nouvelle technologie DSL qui autorise des débits de plus de 50 Mbits/s sur des distances très courtes.

xDSL : voir DSL.