

# Réseaux

## Chapitre 5 - Les réseaux xDSL

Claude Duvallet

Université du Havre  
UFR Sciences et Techniques  
25 rue Philippe Lebon - BP 540  
76058 LE HAVRE CEDEX  
Claude.Duvallet@gmail.com

## Plan de la présentation

- 1 Introduction à l'ADSL
- 2 La bande passante
- 3 La famille xDSL
- 4 DSLAM et dégroupage

## L'ADSL - Introduction (1/4)

- Pendant très longtemps, le trafic téléphonique était maîtrisé et prévisible :
  - faible consommation : quelques minutes par jour.
- Apparition de l'Internet en 1969 mais explosion de son expansion dans le milieu des années 90.
- Analogique - Numérique :
  - La voix est un signal analogique qui transporte des informations analogiques.
  - L'utilisation d'un modem pour se connecter à Internet utilise des signaux analogiques pour transporter des informations numériques.

## L'ADSL - Introduction (2/4)

- Analogique - Numérique (2/4) :
  - Il faut différencier l'information et le signal qui la transporte.
  - Le signal peut être soit numérique, soit analogique et l'information peut être soit numérique, soit analogique.
  - Une information est dite analogique si elle peut prendre toutes les valeurs entre un minimum et un maximum donnés. Exemple : la température ne peut passer de  $10^{\circ}$  à  $20^{\circ}$  sans prendre toutes les valeurs intermédiaires.
  - Une information numérique ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs autorisées, appelées « valeurs discrètes ». Il existe aussi un minimum et un maximum correspondants à la valeur autorisée la plus faible et à la valeur autorisée la plus forte.

## L'ADSL - Introduction (3/4)

- Analogique - Numérique (3/4) :
  - Une information numérique n'est pas forcément binaire, elle peut éventuellement prendre plus de deux valeurs discrètes.
  - Envoyer une information analogique par un signal analogique est devenu banal, en particulier lorsqu'il s'agit de la voix.
  - Envoyer de l'information numérique par un signal numérique l'est aussi mais envoyer de l'information analogique par un signal numérique l'est moins.
  - La transformation de valeurs analogiques en valeurs numériques est appelée quantification.
  - Lors de cette conversion, il y a toujours un bruit de quantification qui s'y glisse.
  - Le bruit désigne la présence d'informations supplémentaires indésirables.

## L'ADSL - Introduction (4/4)

- Analogique - Numérique (4/4) :
  - Exemple : un signal analogique qui prends des valeurs entre « 1 » et « 2 » est transformé en un signal qui ne prends que les valeurs « 1 » et « 2 ». Problème : comment convertir la valeur « 1,5 » ?
  - On va donc faire une approximation qui consiste à convertir toutes les valeurs supérieures à 1,5 vers 2 et celles inférieures vers 1. Simplement on ne distinguera plus les valeurs « 1,6 » et « 1,7 » surtout si on doit ensuite refaire une conversion dans l'autre sens. Un bruit a donc été introduit.
  - Solution pour réduire le bruit de quantification : introduire des états supplémentaires.  
Exemple : pour la conversion précédente, on introduit dix états et ainsi on peut différencier « 1,6 » et « 1,7 » mais on retombe dans le même problème avec « 1,65476 ».

## L'ADSL - Bande passante (1/6)

- Elle correspond à l'intervalle fréquentiel entre la plus petite fréquence utilisée et la plus grande.
- Les signaux de télévision utilisent couramment 6 MHz de bande passante. 1 MHz correspond à 1 million d'oscillations par secondes.
- L'information et le signal qui la transporte ont tous deux une bande passante.
- La bande passante du signal doit être supérieur ou égale à la bande passante de l'information. Dans le cas contraire, on dit l'information est limitée en bande passante et on doit généralement enlever l'information supplémentaire.
- Dans RTCP (Réseau Téléphonique Commuté Public), la bande passante se situe dans l'intervalle 300 Hz - 3400 Hz, cela correspond à 80% de la puissance de la voix humaine.

## L'ADSL - Bande passante (2/6)

- La limitation de la bande passante se fait par des filtres « passe bande ».
- La bande passante d'une ligne d'accès à Internet est de 64 Kbit/s donc si le débit du port série d'un ordinateur est de 128 Kbit/s, il faut ajouter un filtre « passe bande ».
- La non transmission de certains bits provoqueraient des erreurs de transmission c'est pourquoi on va stocker dans un buffer ces bits supplémentaires en attendant que la bande passante soit disponible.
- Un buffer va s'avérer utile lors que l'on va chercher à transmettre des données sur RTPC alors qu'il est conçu au départ pour transmettre de la voix.



## L'ADSL - Bande passante (3/6)

- Lors d'une conversation téléphonique, même les silences nécessitent une bande passante de 3,1 KHz pour sa transmission. La bande passante assignée à une conversation téléphonique ne peut pas être utilisée pour autre chose.
- Pour la transmission de données, il y a un flux constant d'informations de bout en bout, les informations étant organisées en paquets.
- Les transmissions se font en rafales : génération de paquets puis envoi, et ensuite plus de transmission pendant un certain temps.
- Le stockage des bits supplémentaires est donc intéressant puisque la ligne n'est pas utilisée en permanence et que l'on peut alors les transmettre à ce moment-là.
- Il faut augmenter la bande passante si le buffer est trop sollicité ou si l'on veut réduire le temps de transfert.

## L'ADSL - Bande passante (4/6)

- La transmission d'informations numériques sur RTCP (connexion à Internet par exemple) nécessite l'utilisation d'une interface spéciale.
- Cette interface est appelée « modem » pour modulateur / démodulateur.
- Il permet de moduler des informations numériques sur un signal analogique et à l'inverse de démoduler, c'est-à-dire de récupérer des informations numériques à partir d'un signal analogique.
- Le terme « large bande » (Broadband) :
  - L'ADSL est une méthode d'accès au réseau RTCP permettant de fournir un « accès large bande ».
  - Elle n'est pas la seule mais la mieux adaptée.
  - Ce terme s'applique aux liens de communication ayant un temps de latence inférieur à celui d'une liaison à 2 Mbit/s utilisée pour les communications vocales numériques.

## L'ADSL - Bande passante (5/6)

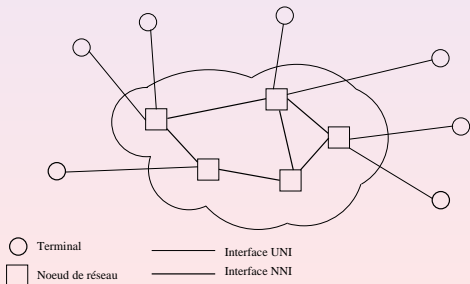
- Le terme « large bande » (Broadband) :
  - Le temps de latence peut être défini comme le retard dû au réseau.
  - Certaines applications (notamment le multimédia) ne peuvent supporter un retard trop important ni variable.
  - D'autres sont sensibles à la bande passante et plus elle sera importante plus les applications seront rapides.
- Le temps de latence (retard) est calculé lors de l'émission d'une trame en mesurant le temps écoulé entre le moment où le premier bit de cette trame entre dans le réseau et le temps où il ressort du réseau.

## L'ADSL - Bande passante (6/6)

- La bande passante s'exprime en bit par secondes et correspond au nombre de bits d'une trame divisée par le temps écoulé entre le moment où le premier bit de cette trame sort du réseau et le dernier bit en sort également.
- Dans ces définitions, on ne tient pas compte des éventuelles erreurs de transmission et des retransmissions qui allongent le temps de transfert.
- Couramment un accès large bande est un accès possédant une bande passante d'au moins 2 Mbit/s. L'ADSL peut atteindre 8 Mbit/s et d'autres technologies peuvent atteindre 50 Mbit/s.

## Le réseau téléphonique commuté public (RTCP) (1/2)

- RTCP est un réseau utilisant la commutation de circuit alors que TCP/IP utilise la commutation de paquets.
- Il est apparu un siècle avant le réseau Internet.
- Ce réseau est composé de nœuds et de terminaux. Un terminal n'est connecté qu'à un seul nœud alors qu'un nœud peut être connecté à plusieurs terminaux.



## Le réseau téléphonique commuté public (RTCP) (2/2)

- Les liens entre terminaux et nœuds sont appelés liens UNI (User Network Interface) et les liens entre les nœuds du réseau sont appelés NNI (Network Node Interface).
- Les liens UNI sont en réalité les lignes d'accès englobés sous le terme boucle locale. Il s'agit d'une liaison commuté qui permet de joindre n'importe qui en composant un numéro, éventuellement un fournisseur d'accès si l'on passe par un modem.
- Pour le RTCP, les liens NNI sont appelés artères de transmission.
- Les artères de transmission et les liens de la boucle locale sont divisés en « circuit » voix et en « canaux » voix. Deux canaux voix permettent la transmission dans les deux sens.
- Lorsque les deux canaux utilisent le même intervalle de fréquence, on parle de transmission « full duplex » alors que lorsqu'ils utilisent des intervalles différents on parle de transmission « half duplex ».

## La famille xDSL (1/4)

- Utilisation des paires de cuivre existantes au niveau de la boucle locale.
- Objectifs principaux
  - réutilisation maximale de la boucle locale analogique,
  - compatibilité ascendante des équipements (possibilité de continuer à utiliser des téléphones analogiques).
- Les technologies sont apparues avec le RNIS qui a été créé pour introduire la numérisation de bout en bout du RTCP.
- RNIS fut donc le premier service DSL fonctionnant à 144 Kbit/s en full duplex au moyen de deux canaux B à 64 Kbit et d'un canal D à 16 Kbit/s. Ceci est valable pour des services destinés aux abonnés résidentiels.
- Les nouvelles technologies DSL appelées xDSL (où x représente une lettre de l'alphabet) offrent des services beaucoup plus intéressant que RNIS.

## La famille xDSL (2/4)

- Certaines de ces technologies sont qualifiées de duplex ce qui signifie que le débit est identique dans les deux sens de transmission, on emploie aussi le terme « symétrique ».
- Le terme « asymétrique » signifie donc que les débits sont différents dans les deux sens de transmission.
- De nombreux services fonctionnent en mode asymétriques : vidéo à la demande, accès internet, etc.
- Certains membres de la famille xDSL sont asymétriques : ADSL, RADSL, VDSL.
- HDSL (High Rate DSL) et HDSL2 sont des technologies symétriques. Les débits montants et descendants sont de 1,5 Mbit/s aux États-Unis (système T1) et de 2 Mbit/s pour la plupart des autres pays (système E1). Ces technologies sont utilisées pour des besoins propres aux opérateurs ou pour fournir à leurs clients des liaisons permettant d'interconnecter des réseaux LAN ou WAN.



## La famille xDSL (3/4)

- SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line) était au départ une variante très prometteuse de HDSL qui devait être plus performante. Ce n'est pas le cas car elle est capable de fournir des débits de 1,5 Mbit/s ou 2 Mbit/s mais sur des distances beaucoup plus petites.
- Certaines technologies xDSL sont asymétriques ce qui peut être un inconvénient si l'on souhaite mettre en place un serveur WEB, il est alors préférable d'utiliser la technologie HDSL ou HDSL2.
- Les technologies ADSL (Asymmetric DSL) et RADSL (Rate Adaptative DSL) sont devenue très proche en termes de débits et de distances maximales d'utilisation ce qui rends quasi inutile leur distinction.
- Elles offrent des débits allant de 1,5 à 8 Mbit/s dans le sens descendant et de 16 à 640 Kbit/s dans le sens montant.
- La technologie IDSL (ISDN DSL) s'appuie sur le RNIS et fonctionne à un débit de 144 Kbit/s dans les deux sens.

## La famille xDSL (4/4)

- La technologie VDSL (Very High Speed DSL), d'ordinaire considérée comme asymétrique, a été conçue au départ avec une option symétrique.
- Les débits proposés ne peuvent être supportés sur des lignes de cuivre de longueur importante et la plupart des liaisons VDSL sont supportées par une portion de la liaison en fibre optique.
- Les débits offerts sont de 13 Mbit/s à 52 Mbit/s dans le sens descendant et de 1,5 Mbit/s à 6 Mbit/s dans le sens montant.
- Il existe d'autres technologies dans la famille DSL telles que :
  - MDSL (Multispeed DSL) qui est une nouvelle technologie développée par très peu de constructeur,
  - CDSL (Consumer DSL) qui possède des performances en termes de débits et distance plus faible que l'ADSL ou RADSL.

## HDSL et HDSL2 (1/5)

- Il s'agit d'une technologie de transfert symétrique (même débit dans le sens montant et descendant).
- Elle a été développée à partir des années 1990 en utilisant les lignes T1 (aux Etats-Unis) et E1 (en Europe).
- Les systèmes T1 et E1 sont utilisés par les opérateurs de télécommunications depuis le milieu des années 80 pour répondre à la demande croissante d'accès haut débit de la part de leurs clients.
- Ils offrent 24 (T1) et 30 (E1) canaux à 64 Kbit/s qui sont configurés comme une seule liaison de 1,544 Mbit/s (T1) ou 2,048 Mbit/s.
- 80% de ces liaisons sont supportées par une double paire de cuivre.
- De nombreuses faiblesses sont présentes dans ces systèmes, principalement à cause de l'âge de la technologie qui les supporte.

## HDSL et HDSL2 (2/5)

- Ne pouvant améliorer les conditions de transmission des lignes, il fallait donc adapter les équipements à ces conditions.
- Les modems adaptent leur débit en fonction de la ligne qu'ils utilisent.
- HDSL permet d'appliquer cette approche aux systèmes E1 et T1 et ne nécessite ni répéteur ni condition particulière de transmission.
- HDSL permet un coût d'installation moindre et des performances en termes de fiabilité et de taux d'erreurs proches de celles de la fibre optique ou du moins supérieurs aux liens T1 et E1.
- La transmission des données se fait au moyen de trames HDSL. Une trame HDSL est envoyée toutes les 6 ms soit 167 trames par seconde.
  - elle se compose d'un symbole 2B1Q de synchronisation sur 14 bits,
  - le reste de la trame est composé de 48 blocs HDSL numérotés de B01 à B048.

## HDSL et HDSL2 (3/5)

- Pour fournir un service HDSL, seuls deux équipements sont nécessaires, le HTU-C (T1) ou le LTU (E1) du côté fournisseur et le HTU-R (T1) ou le NTU (E1) du côté abonné.
- Les distances maximales d'utilisation varient entre 2,7 et 8 km en fonction du diamètre des câbles utilisés.
- Il est possible d'utiliser des répéteurs qui doublent la distance maximale d'utilisation.
- Les équipements HDSL distants installés chez les clients sont alimentés en énergie par le fournisseur de service par un courant de faible intensité transmis sur la liaison.

## HDSL et HDSL2 (4/5)

- HDSL peut être utilisée partout où T1 ou E1 le sont pour supporter des services tels que :
  - Accès internet.
  - Réseau locaux équipés de câble en cuivre.
  - Extension et connexion de réseaux locaux à des anneaux en fibre optique.
  - Vidéo conférence.
  - etc.
- HDSL est très largement utilisé pour fournir des accès Internet rapides aux serveurs WEB de particuliers ou d'entreprises hébergés dans leurs propres locaux.

## HDSL et HDSL2 (5/5)

- HDSL peut aussi être utilisé pour interconnecter des agences ou succursales distantes.
- HDSL2, à l'inverse de HDSL, a été rigoureusement normalisée avec trois objectifs principaux :
  - distance d'utilisation sans répéteurs de 3,6 km ;
  - compatibilité spectrale ;
  - interopérabilité entre équipements de différents constructeurs.
- Peu à peu, HDSL et HDSL2 sont remplacées par ADSL 2, SDSL et VDSL 2.

## ADSL - Architecture (1/2)

- L'ADSL est une des technologies xDSL les plus avancées en termes de spécifications et de normalisation.
- Une particularité de l'ADSL est qu'elle permet de supporter la transmission de la voix analogique.
- Un équipement spécifique, le splitter, permet de transporter sur les liens ADSL les fréquences inférieures à 4 KHz, correspondantes à la voix, du commutateur d'abonnés jusqu'au client.
- De nombreux services, fournis par l'ADSL, sont directement accessibles sans passer par le commutateur d'abonnés et les artères de transmission du RTCP.
- De nombreuses liaisons ADSL peuvent être gérées par un seul nœud de réseau ou nœud d'accès appelé DSLAM (DSL Access Multiplexer).
- Du côté client, il est nécessaire de disposer d'un modem ADSL. Un équipement splitter permet de séparer le service voix du service donnée.



## ADSL - Architecture (2/2)

- Du côté fournisseur, la ligne ADSL est connectée à un DSLAM qui est relié à des routeurs TCP/IP ou des commutateurs ATM. Un splitter est aussi utilisé pour diriger la voix vers le commutateur d'abonnés.
- La couche fixe de l'ADSL a été normalisée en 1995 par l'ANSI dans le document T1.413-1995.
- La norme ADSL permet de fixer la modulation et la structure des trames ADSL.
- Les produits ADSL implémentent les modulations CAP (Carrierless Amplitude/Phase), QAM (Quadrature Amplitude Modulation) et DMT (Discrete Multitone Technology).
- Quelle que soit la modulation utilisée, les deux câbles de la ligne fonctionnent en full duplex.

## ADSL - Système et Interface

- L'ADSL est une technologie de transmission de trames. Les flux de bits à l'intérieur des trames peuvent être divisé en un maximum de 7 « canaux de support ».
- Les 4 premiers (AS0, AS1, AS2, AS3) ne transmettent que dans le sens descendant en mode simplex.
- Les 3 canaux suivants (LS0, LS1, LS2) fonctionnent en mode bidirectionnel.
- Quatre classes de transport pour les canaux de support du sens descendant ont été définies avec des débits multiples de 1,536 Mbit/s (1,536 ; 3,072 ; 4,608 ; 6,144).
- Il existe des super trames ADSL constitués de 68 trames ADSL et permettant de réaliser des fonctions particulières. Elles sont envoyés toutes les 17 millisecondes.

## VDSL - Very High-speed Digital Line Subscriber

- Il s'agit de la technologie offrant le plus haut débit de toutes les technologies xDSL. Le débit du flux descendant peut aller de 13 Mbit/s à 55 Mbit/s selon la distance. Quant au flux montant, son débit varie entre 1,5 Mbit/s et 26 Mbit/s.
- Dans certaines configurations, cette technologie peut être symétrique.
- Elle utilise une méthode de multiplexage fréquentiel.
- L'architecture de VDSL est assez similaire à celle de l'ADSL. La principale différence réside dans la présence d'un équipement supplémentaire appelé ONU (Optical Network Unit). Cet équipement est relié au fournisseur de service par une liaison numérique supportée par de la fibre optique.
- Cette technologie fait le pari que les paires de cuivre constituant la boucle locale seront bientôt remplacées par de la fibre optique.

## DSLAM - Digital Subscriber Line Access Multiplexer (1/2)

- Cet équipement est utilisé pour supporter les technologies HDSL, SDSL, ADSL, etc.
- Le DSLAM peut s'interfacer, coté réseaux externes, avec des commutateurs ATM, des routeurs IP, des réseaux LAN ou des serveurs SDV (Switched Digital Server).
- Dans sa configuration de base, il peut être un nœud d'accès ADSL.
- Il est installé chez les opérateurs de télécommunications et doit dans tous les cas être connecté au RTCP pour pouvoir fournir les services de voix.
- Le DSLAM n'est ni un commutateur, ni un routeur mais un multiplexeur/démultiplexeur. Sa fonction principale est de combiner des flux de bits provenant des abonnées et de diviser le flux de bits provenant des différents serveurs afin de les acheminer vers le bon destinataire.

## DSLAM - Digital Subscriber Line Access Multiplexer (2/2)

- L'agrégation du trafic effectué selon la méthode du multiplexage temporel appelé Time Division Multiplexing (TDM).
- Un équipement DSLAM possède de nombreuses fonctionnalités comme la gestion de priorités de trafic, le lissage de trafic et des fonctionnalités de Cross-Connect.
- Le DSLAM est généralement placé à proximité d'un commutateur d'abonnés.
- La connexion de la boucle locale au DSLAM est réalisée grâce à des cartes qui sont spécifiques à chaque technologie xDSL.
- Dégroupage : certaines lignes peuvent être gérées par d'autres opérateurs que l'opérateur historique. Le DSLAM devant être situé à proximité d'un commutateur d'abonnés, il faut donc gérer des colocalisations d'équipements.

## Le dégroupage ADSL (1/3)

- Dégroupage de la boucle locale :
  - la boucle locale correspond à la partie du réseau de télécommunication qui va de la prise téléphonique de l'abonné jusqu'au répartiteur situé dans les locaux de France Télécom.
  - Le dégroupage de la boucle locale consiste pour l'opérateur historique (FT) à permettre aux opérateurs alternatifs de gérer de bout en bout le réseau qui le relie à ses clients.
  - L'opérateur alternatif loue la gestion de la boucle locale à FT.
  - L'opérateur alternatif doit placer ses équipements de transmission à l'extrémité de la boucle locale, pour pouvoir relier les lignes à son propre réseau (colocalisation dans les locaux FT).
- Utilité du dégroupage :
  - Le dégroupage donne aux opérateurs alternatifs un accès direct à l'utilisateur final.
  - Ils sont donc en mesure de contrôler de bout en bout le réseau et par conséquent de fournir un service différencié.
  - Cela permet une plus grande concurrence.

## Le dégroupage ADSL (2/3)

- Danger du dégroupage :
  - Pas d'investissements de la part des opérateurs alternatifs dans la boucle locale puisqu'ils utilisent les lignes de FT.
  - L'opérateur historique est rémunéré pour son entretien des lignes mais pas pour l'amortissement de ses investissements.
  - ⇒ D'autres projets de desserte par Boucle Local Radio, par courants porteurs ou par fibres optiques ne dépassent pas le stade des expériences.
- Deux possibilités de dégroupage :
  - Le dégroupage "total" 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 FT mais uniquement à celui de l'opérateur alternatif qu'il a choisi.
  - Le dégroupage "partiel" consiste en la mise à disposition de la bande de fréquence "haute" de la paire de cuivre qui peut servir à la construction d'un service ADSL. La bande de fréquence "basse" est utilisée pour le téléphone et demeure gérée par FT.

## Le dégroupage ADSL (3/3)

- Dégroupage et ADSL :
  - La technologie ADSL permet d'utiliser la paire de cuivre classique simultanément pour le téléphone et une connexion Internet Haut Débit.
  - Elle tire parti des fréquences qui étaient restées inutilisées (supérieures à 4000 Hz).
  - Le téléphone utilise les fréquences basses.
  - Le modem ADSL permet de faire la séparation entre les deux types de fréquences et par conséquent de les utiliser simultanément.
  - C'est cette séparation des fréquences qui permet de mettre en œuvre le dégroupage partiel en laissant l'opérateur alternatif gérer les fréquences hautes quand France Télécom continue de gérer les fréquences basses.



## L'ADSL en action

- La vidéo comme service ADSL : le Forum ADSL a défini plusieurs services vidéo que pourrait fournir l'ADSL :
  - La diffusion TV : débit en sens descendant de 6 à 8 Mbit/s et en sens montant de 64 Kbit/s.
  - La vidéo à la demande : débit en sens descendant de 1,5 à 3 Mbit/s et en sens montant de 64 Kbit/s.
  - L'enseignement à distance : débit en sens descendant de 1,5 à 3 Mbit/s et en sens montant de 64 à 384 Kbit/s.
  - L'achat à distance : débit en sens descendant de 1,5 Mbit/s et en sens montant de 64 Kbit/s.
  - Le service d'information : débit en sens descendant de 1,5 Mbit/s et en sens montant de 64 Kbit/s.
  - Les jeux vidéo : débit en sens descendant de 64 Kbit/s à 2,8 Mbit/s et en sens montant de 64 Kbit/s.
  - La vidéo conférence : débit en sens descendant de 384 Kbit/s à 1,5 Mbit/s et en sens montant de 384 Kbit/s à 1,5 Mbit/s.