

RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Cycle de formation continue pour la promotion au grade

Ingénieur Technicien en Télécommunications

LE HAUT DEBIT SUR DES RESEAUX ETENDUS GRACE AUX TECHNOLOGIES xDSL ET RESEAUX HYBRIDES HFD

Elaboré par :

FAKHFAKH MORCHED
BOUDABBOUS NABIL

Encadré par :

M^{me} MNIF AMNA

Année universitaire : 2001/2002

AVANT - PROPOS

Ce projet constitue un ouvrage de récapitulation et de synthèse, traitant les nouvelles techniques d'accès qui favorisent l'utilisation des hauts débits.

Ces techniques innovantes constituent des sujets de recherche concernant :

- Les techniques de modulation pour les technologies xDSL. En effet les modems classiques atteignent actuellement des vitesses de 56 Kbit/s, et cela reste très en dessous de ce que nécessite un vrai service multimédia. Les problèmes de connectiques, de coût, et de maintenance pour la fibre optique.

Cette orientation est concrétisée en trois étapes :

1. Une étape qui présente une étude détaillée des technologies xDSL : facteurs limitatifs, avantages, types de modulations utilisées et différentes architectures.
2. Une étape d'étude des réseaux de distributions par fibre optique, et repère les contraintes techniques rencontrées sur terrain.
3. Une étape qui se penche sur l'étude des réseaux hybrides fibre et DSL et tire les avantages de ces deux technologies pour favoriser l'utilisation des hauts débits avec le moindre coût.

Par cette approche, ce document invite les opérateurs des télécoms à investir dans les technologies hybrides fibre et DSL (HFD).

RESUME

L'accès aux services de voix, de transferts de données, d'images, et Internet peut utiliser tous les réseaux de télécommunications existants. Ainsi, ces services sont apparus sur le réseau téléphonique, sur l'infrastructure télévision, sur la fibre optique, et sur les communications par satellites ... Aujourd'hui, ces accès se réalisent essentiellement par le réseau téléphonique commuté (*RTC*) avec des débits relativement faibles (maximum de 56 Kbit/s) ou par le réseau numérique à intégration de services (*RNIS*).

D'autres technologies pourront être mobilisées pour favoriser le développement du haut débit, telles que les technologies xDSL (*Digital Subscriber line*) qui utilisent le réseau téléphonique commuté pour la transmission de données à haut débit.

Ces technologies présentent un triple avantages : la conservation de l'installation existante (la paire de cuivre), un accès haut débit permanent à Internet, et la possibilité de téléphoner tout en se connectant à Internet, et elles se présentent sous plusieurs variantes :

- HDSL : High data rate DSL (permet des débits symétriques de 2 Mb/s dans les deux sens).
- SDSL : Single pair, ou symmetric DSL (comme l'HDSL, mais sur une seule paire de **Cuivre**).

- ADSL : Asymmetric DSL (permet des débits asymétriques, descendants de 6 Mb/s et ascendants de 768 Kbit/s).
- RADSL : Rate adaptative DSL (permet des débits asymétriques).
- VDSL : Very high DSL (évolution de l'ADSL qui permet des débits descendants de 52 Mb/s et ascendants de Mbit/s).

Les différences essentielles entre elles sont :

- vitesse de transmission ;
- distance maximale de transmission ;

- variation de débit entre le flux montant (utilisateur/réseau) et flux descendant (réseau/utilisateur) ;
- capacité ;
- types de modulation et codage utilisées CAP, DMT, MAQ, DWMT, codage 2B1Q.

Les technologies xDSL sont divisées en deux grandes familles, selon qu'elles utilisent la transmission symétrique ou la transmission asymétrique.

Les réseaux d'accès à fibres optiques permettent d'interconnecter des sites publics et privés grâce à des configurations différentes comme FTTB, FTTC, FTTH, FTTN, FTTO. Ils concernent essentiellement les grandes entreprises et les grands établissements publics. Le nombre des sites équipés est limité vu que Les coûts d'investissements sont importants et la mise en place des réseaux nécessite des grands travaux de génie civil.

Les technologies émergentes fibre optique et DSL (HFD) favorisent l'utilisation des technologies xDSL, elles consistent à approcher les unités d'accès DSL (DSLAM) aux zones de trafics denses.

Le raccordement entre les différentes DSLAM est réalisé à travers une fibre optique en anneau double pour des raisons de sécurité, et celui des DSLAM au réseau backbone, par des équipements SDH appropriés.

Pour réaliser une connexion entre les lignes d'abonnés et le backbone, il faut installer deux « super modems » aux extrémités. C'est ainsi que les abonnés peuvent accéder à des débits très élevés et profiter des services multimédia.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	1
RESUME	2
INTRODUCTION GENERALE	9
Chapitre 1. L'ETUDE DES TECHNOLOGIES xDSL	11
1.1. Introduction	11
1.2. Comparaison des différents types DSL	12
1.3. Facteurs limitatifs	13
1.3.1. Perturbations électromagnétiques	13
1.3.2. Affaiblissement	14
1.3.3. Distorsion de phase	14
1.3.4. Diaphonie	14
1.3.5. Réflections	14
1.3.6. Désadaptation	15
1.3.7. Pupinisation	15
1.4. Avantages	16
1.4.1. Temps	6
1.4.2. Prix	16
1.4.3. Asymétrie	16
1.4.4. Multiplexage des connexions	16
1.4.5. Pas de surcharge du réseau téléphonique	16
1.4.6. Ligne téléphonique libre	16
1.4.7. Ligne dédiée	16
1.5. Techniques de modulations utilisées	17
1.5.1. FDM et annulation d'écho	17

1.5.1.1. Le multiplexage en fréquence FDM	17
1.5.1.2. L'annulation d'écho	18
1.5.2. Codage 2B1Q	18
1.5.3. Modulations CAP et DMT	19
1.5.3.1. Modulation du MAQ	19
1.5.3.2. Modulation CAP	20
1.5.3.3. Modulation DMT	21
1.5.3.3.1. Les sous-canaux	21
1.5.3.3.2. Le codage	23
1.5.3.3.3. Explications mathématiques	23
1.5.3.3.4. Avantages et inconvénients de la DMT	24
1.5.4. Modulation DWMT	24
1.6. Différentes technologies xDSL	25
1.6.1. Principe des technologies xDSL	25
1.6.2. Technologie IDSL (ISDN sur Ligne d'abonné Numérique)	26
1.6.2.1. Protocole IDSL	27
1.6.2.2. Protocole LAP D	27
1.6.2.3. La trame LAP D	27
1.6.3. Technologie ADSL	28
1.6.3.1. Codage ADSL	29
1.6.3.2. Structure d'une trame ADSL	30
1.6.3.3. Structure de la super-trame ADSL	32
1.6.3.4. Canaux ADSL	32
1.6.3.4.1. Transport unidirectionnel	33
1.6.3.4.2. Transport bidirectionnel	34
1.6.3.4.3. Options de transport pour l'ensemble des canaux de transport	34
1.6.3.4.4. Les données de contrôle de l'ADSL (overhead)	34
1.6.3.5. Les modes de distribution ADSL	34
1.6.3.5.1. Mode synchrone au niveau du bit	35
1.6.3.5.2. Mode paquet	35
1.6.3.5.3. Mode paquet de bout en bout	36
1.6.3.5.4. Le mode ATM	36

1.6.3.6. Fonctions des modems ADSL	36
1.6.3.6.1. Bloc du modem ADSL simplifié en émission	36
1.6.3.6.2. Bloc du modem ADSL simplifié de la réception	38
1.6.3.6.3. Bloc du modem ADSL	39
1.6.3.7. Fonctions des splitters	40
1.6.3.8. Configuration ADSL pour les services à haut débit	41
1.6.3.8.1. Mode paquet TCP/IP de bout en bout	42
1.6.3.8.2. Paquets IP et trames PPP	43
1.6.3.8.3. PPP présentation Générale	43
1.6.3.8.4. PPP et la couche physique	44
1.6.3.8.5. Encapsulation	44
1.6.3.9. Autres solutions ADSL	45
1.6.3.9.1. ADSL Lite	45
1.6.2.9.2. RADSL	45
1.6.4. Technologie HDSL: High bit rate Digital Subscriber Line	45
1.6.4.1. Présentation de la technologie HDSL	45
1.6.4.2. Configuration de HDSL	46
1.6.4.3. Codage 2B1Q	46
1.6.4.4. Principe mis en jeu dans les liaisons HDSL	46
1.6.4.5. Schéma synoptique du modem HDSL	47
1.6.4.5.1. Tramage HDSL	47
1.6.4.5.2. Transceiver HDSL	47
1.6.4.5.3. Transmission sur E1/T1	48
1.6.4.5.4. Contrôleur 10 BT	48
1.6.4.5.4.1. Le protocole Ethernet	48
1.6.4.5.4.2. Norme 802.3	48
1.6.4.5.4.3. Format de la trame 802.3	49
1.6.4.5.4.4. Méthode d'accès CSMA/CD	49
1.6.4.5.5. Le bloc de gestion (CPU)	49
1.6.4.6. Autre solution HDSL	50
1.6.5. Technologie VDSL	50
1.6.5.1. Principe du VDSL	50

1.6.5.2. Codage VDSL	5 1
1.6.5.3. Normalisation	5 1
1.6.5.4. Séparation des canaux	5 1
1.6.5.5. Contrôle d'erreur vers l'avant	5 2
1.6.5.6. Multiplexage ascendant	5 2
1.6.5.7. VDSL : débits et modes de transport	5 3
1.7. Synthèses des technologies xDSL	5 4
1.8. xDSL face à la solution ATM	5 4
1.8.1. Introduction	5 4
1.8.2. Rappel sur ATM	5 4
1.8.3. Caractéristiques d'ATM	5 5
1.8.4. Intérêts d'ATM	5 5
1.8.5. Inconvénients d'ATM	5 6
1.9. Multiservices et ATM	5 7
1.9.1. Architecture utilisant le mode ATM	5 7
1.9.2. ATM : ce qui nous intéresse pour l'ADSL et VDS	5 8
1.10. Architecture d'un point d'accès - multiplexeur - DSLAM	5 8
1.11. Conclusion	5 9
 Chapitre 2. LE RESEAU DE DISTRIBUTION EN FIBRE OPTIQUE	 6 0
2.1. Introduction	6 0
2.2. Application de la fibre optique en télécommunications	6 0
2.3. Réseaux à fibres optiques	6 1
2.4. Exemples de réseau de raccordement par fibre optique	6 1
2.4.1. Réseau maillé	6 1
2.4.2. Réseau en anneau	6 1
2.4.3. Réseau arborescent	6 2
2.4.4. Réseau en étoile	6 3
2.5. Architecture du réseau de distribution en fibre optique	6 4
2.5.1. Organisation	6 4

2.6. Différentes configurations du RDFO	67
2.6.1. FTTN (Fiber To The Node)	67
2.6.2. FTTC (Fiber To The Curb)	67
2.6.3. FTTH (Fiber To The Home)	68
2.6.4. FTTB (Fiber To The Building)	69
2.7. Contraintes rencontrées sur terrain	69
2.8. Conclusion	70
 Chapitres 3. LES RESEAUX HYBRIDES	 71
3.1. Introduction	71
3.2. Architecture hybride fibre optique et DSL (HFD)	71
3.2.1. Description fonctionnelle du réseau	72
3.3. Conclusion	73
 Chapitre 4. ETUDE DE CAS	 74
4.1. Introduction	74
4.2. Planification	74
4.3. Emplacement des nœuds d'accès et choix de l'itinéraire	75
4.4. Dimensionnement de support de transmission	75
4.4.1. Débits des services	76
4.4.2. Débits utiles pour les foyers	77
4.5. Dimensionnement des supports physiques	79
4.6. Etablissements des plans itinéraires	79
 CONCLUSION GENERALE	 81
 BIBLIOGRAPHIE	 83
 ANNEXE 1	 84
ANNEXE 2	89

INTRODUCTION GENERALE

Le besoin sans cesse croissant des utilisateurs de hauts débits a poussé les constructeurs de matériels télécoms à approfondir leurs recherches dans les techniques des réseaux d'accès afin de satisfaire cette demande de manière optimale.

Il y a quelques années, personne n'aurait pu imaginer les débits extravagants que nécessiteraient les diverses applications actuelles, ce qui fit penser à tout le monde qu'ISDN serait l'unique accès aux technologies futures. En tenant compte de l'évolution des applications, *m* s'est très vite aperçu qu'une connexion ISDN était payée cher pour un débit relativement faible.

Les nouvelles techniques de transmission numérique sur paires de cuivre xDSL (*Digital Subscriber Loop*) sont des solutions qui permettent de répondre à la demande de services large bande. L'idée du xDSL consiste à tirer parti des énormes progrès de la micro-électronique pour exploiter totalement les possibilités des paires de cuivre. De cette manière la transmission peut atteindre de très hauts débits.

L'avantage de ces technologies est qu'elles utilisent les lignes de téléphone déjà installées, mais ceci a nécessité un développement énorme dans les technologies de modulation. Cependant, nous savons que les modems classiques (V33, V33bis, V90, ...) ont atteint leur limite en ce qui concerne leur débit.

Le réseau de distribution par fibre optique (*RDFO*) est une solution attrayante, et doit répondre à la demande croissante de capacité quels que soient les types de services utilisés, et des liaisons optiques jusqu'au domicile (*FTTH*) ou jusqu'au coffret (*FTTB*) commencent d'être installées.

C'est ainsi que le secteur de télécommunication a bénéficié d'une forte priorité d'investissement et d'organisation pour lui permettre de fournir la possibilité d'accéder à toutes les catégories des demandeurs de service des télécommunications.

Pour satisfaire les besoins des clients, les télécoms ont introduit des techniques de pointes, tels que les commutateurs numériques, la technologie SDH (*Synchronous Digital*

Hierarchy (voir annexe)), et des nouvelles techniques d'accès qui répondent aux besoins actuels et seront prêts à recevoir les applications à large bande.

Ce projet se penche principalement sur la partie « nouvelles techniques d'accès ».

Dans ce contexte, nous avons étudié les techniques xDSL comme nouvelles techniques de transmission. Une étude bibliographique faisant l'objet de cette partie permet de présenter une description détaillée de différentes dérivées de cette famille.

De ce fait, à travers cette étude, nous allons essayer de définir les principales caractéristiques de chaque technologie DSL : mode de transmission, mode de fonctionnement, codage, etc...

En seconde étape, nous avons aussi étudié la Fibre Optique comme réseau de distribution (*RDFO*), cette partie permet de présenter une description générale de la Fibre Optique : les différentes configurations du RDFO. Et selon l'avantage et l'inconvénient de chacune des technologies xDSL et RDFO, il paraît que la solution hybride fibre et fil de cuivre est la plus **adéquate**.

Cette idée est concrétisée par une étude d'un cas pratique.

Chapitre 1

ETUDE DES TECHNOLOGIES xDSL

1.1. Introduction

Les progrès technologiques actuels ont créé de nombreux nouveaux services dans le domaine des télécommunications. Il s'agit de la vidéo à la demande, téléachat, téléenseignement, World Wide Web rapide, courrier électronique, etc. Les critères que de tels services peuvent exiger sont :

- Large bande passante
- Fiabilité
- Omniprésence

La contrainte la plus importante de bon fonctionnement de ces services est la large bande passante et le débit élevé. Plusieurs solutions sont envisageables : la fibre optique, les réseaux sans connexion Wireless (satellite et terrestre). Mais ces solutions ne sont pas retenues, et avec l'apparition des technologies xDSL les choses ont évolué de façon sensible et la paire de cuivre est susceptible de connaître une seconde jeunesse et d'apparaître comme le média le plus universel pour faire le haut débit.

Tous les types de DSL fonctionnent selon le même principe, ils utilisent les mêmes lignes de cuivre mais à des fréquences supérieures pour la transmission des données numériques.

La bande de la boucle locale dépasse le un MHz lorsque la paire de cuivre est en bon état et que sa longueur ne dépasse pas quelques kilomètres. Cette bande de fréquence assez large peut être divisée en plusieurs canaux, et permet donc d'envoyer des données numériques grâce aux modems xDSL, et de la voix analogique sur les mêmes paires de cuivre et simultanément. On peut aussi utiliser toute la bande dans les deux directions.

1.2. Comparaison des différents types DSL

La recherche dans le domaine des réseaux à haut débit ne date pas d'hier ; En effet, vers la fin des années 80 on a pu entrevoir, grâce aux avancées technologiques, des débits pouvant côtoyer ceux des systèmes T 1. Ce projet fut appelé HDSL (*High speed Digital Subscriber Line*). L'HDSL donne la possibilité de transmettre de l'information à des débits proche des débits des systèmes T 1, avec l'avantage de ne pas devoir mettre des répéteurs sur la ligne. Dans les années 90, on découvrit qu'il était possible de faire un système similaire mais asymétrique.

L'ADSL (*Asymétrique Digital Subscriber Line*) permet d'avoir une bande passante plus grande dans un sens au détriment de l'autre. Cette technique était tout à fait adaptée à la VoD (*Voice on Demand*). Toutes ces technologies différentes par le nombre des paires téléphoniques utilisées, le choix des fréquences porteuses et le type de modulation utilisée.

Technologie	Débit optimal descendant : montant	Nombre de paires	Portée optimale
ADSL Asymétrique DSL	8 Mbit/s : 768 KM/s	1	2500 m
HDSL High speed DSL	2 Mbit/s : 2 Mbit/s	2 ou 3	2500 m
VDSL Yen High speed DSL	12Mbit/s : 12 Mbit/s	1	800 m
	25 Mbit/s : 25 Mbit/s	1	500 m
	12 Mbit/s : 2 Mbit/s	1	1500 m
	25 Mbit/s : 2 Mbit/s	1	1000 m
	52 Mbit/s : 2 Mbit/s	1	300 m
SDSL Symétrie DSL	2 Mbit/s : 2 Mbit/s	1	2400 m
IDSL ISDN comme DSL	128Kbit/s: 128 KM/s	1	4500 m

Tableau 1.2.1 - Différents types DSL

1.3. Facteurs limitatifs

Malgré l'existence de nouveaux réseaux qui offrent le haut débit tel que la fibre optique et le câble coaxial dont les contraintes techniques (affaiblissement, perturbation électromagnétique) sont meilleures, nous continuons d'utiliser la paire de cuivre, et pour s'en convaincre, il suffit simplement de comparer les caractéristiques de diverses lignes de transmission :

Ligne	Type	Bande passante	Perturbation EM	Affaiblissement
Fibre optique	Multimode	10- 100GHZ	Pas sensible	Pas sensible
Fibre optique	Gradient d'indice	100 - 1000 MHZ	Pas sensible	Pas sensible
Câble coaxial	75 Ω	~400K MHZ	Peu sensible	Peu sensible
Câble coaxial	50 Ω	~100MHZ	Peu sensible	Peu sensible
Paire torsadée	STP	300 MHZ	Peu sensible	Peu sensible
Paire torsadée	UTP5	100 MHZ	Sensible	Sensible
Paire torsadée	UTP4	20 MHZ	Sensible	Sensible
Paire torsadée	UTP3	16 MHZ	Sensible	Sensible
Paire torsadée	UTP2	10 MHZ	Sensible	Sensible
Paire torsadée	UTP 1	3 100 HZ	Sensible	Sensible

Tableau 1.3.1 - Les caractéristiques des différents médias

L'utilisation des paires torsadées pour la transmission à haut débit est limitée en raison des contraintes suivantes :

1.3.1. Perturbations électromagnétiques

Les perturbations électromagnétiques sont dues aux inductions à haute fréquence (foudre, émetteurs radio, circuits logiques, ...) ou à basse fréquence (harmoniques de la tension d'alimentation, traction électrique, moteurs, ...).

1.3.2. Affaiblissement

L'affaiblissement augmente en fonction des paramètres suivants :

- Résistivité du conducteur.
- Longueur de la ligne.
- Diminution du diamètre des conducteurs.
- Environ proportionnel à la racine carrée de la fréquence.

1.3.3. Distorsion de phase

Le temps de propagation du signal augmente environ proportionnellement avec la racine carrée de sa fréquence et entraîne une distorsion des signaux transmis. Par conséquent, des interférences inter symboles vont se produire. Rappelons qu'elles peuvent entraîner des problèmes de synchronisation et de reconnaissance d'états. La distorsion de phase peut être corrigée par l'ajout d'un égaliseur.

1.3.4. Diaphonie

Le phénomène de diaphonie provient d'une fuite d'énergie entre deux émetteurs ou deux lignes adjacentes, provoquée par des phénomènes de couplage magnétiques et capacitifs dus aux effets de proximité entre les paires. La diaphonie augmente avec la fréquence (environ 5dB par octave), ce qui représente un handicap pour les technologies xDSL hauts débits.

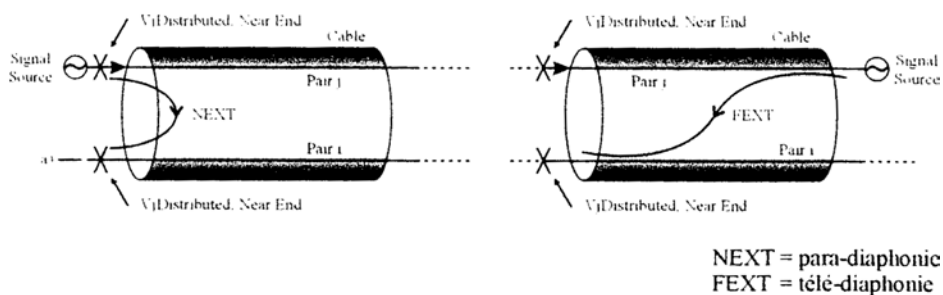


Figure 1.3.2 - La para-diaphonie et la télé-diaphonie sur une paire torsadée

1.3.5. Réflexio

Le phénomène de réflexion qui perturbe les signaux de transmission est dû aux impédances caractéristiques différentes des câbles de transmission (câble constitué de plusieurs tronçons).

1.3.6. Désadaptation

Elle provient des différences d'impédances entre les équipements terminaux et la ligne, et provoque des réflexions sur les lignes de transmission. Il en résulte une transmission imparfaite de la puissance du signal et des réflexions qui polluent les lignes. Les lignes sont mises à disposition par les opérateurs téléphoniques qui ne veulent absolument pas détériorer leur qualité de service. Pour ce faire, ils exigent une adaptation quasi parfaite, ce qui impose d'énormes contraintes aux fabricants d'équipements (en particulier pour les concepteurs de filtres).

1.3.7. Pupinisation

L'affaiblissement et la distorsion de phase peuvent être compensés dans la bande de fréquences comprises entre 300 et 3400 Hz par l'insertion d'inductances, généralement de 88 mH, situées à des intervalles réguliers. Cette méthode, appelée pupinisation, a été largement utilisée dans les réseaux analogiques.

Elle limite la fréquence de coupure aux environs de 4 à 7 KHz, rendant les lignes inutilisables pour les applications requérant des fréquences plus élevées. Où cela est nécessaire, les opérateurs retirent les inductances afin de pouvoir utiliser les câbles pour les raccordements de base ISDN et xDSL.

De plus, les caractéristiques des câbles peuvent également varier en fonction de la météo (humidité, température, ...).

En conclusion, nous pouvons admettre qu'aux hautes fréquences, les problèmes liés aux distances sont les plus contraignants (affaiblissement, diaphonie, distorsion de phase). Aux basses fréquences, ce sont les difficultés liées aux bruits impulsionnels qui dominent. En conséquence, les paires torsadées téléphoniques sont utilisables sans trop de difficulté jusqu'aux environs de 1 MHz. Au-delà, leur utilisation devient délicate et elle nécessite des systèmes de transmission très performants.

1.4. Avantages

1.4.1. Temps

Vu la disponibilité du réseau en fil de cuivre partout, l'installation des modems xDSL ne nécessite que quelques heures. Par contre la fibre optique et le coax sont plus complexes à installer et nécessite beaucoup plus de temps.

1.4.2. Prix

Le prix d'une ligne en paire de cuivre est beaucoup moins coûteux que celui en fibre optique ou câble coaxial.

1.4.3. Asymétrie

L'xDSL permet de donner un débit aux canaux descendants supérieur à celui des canaux ascendants.

1.4.4. Multiplexage des connexions

L'xDSL permet à plusieurs stations d'utiliser la même ligne, tout en conservant de bonnes performances.

1.4.5. Pas de surcharge du réseau téléphonique

Les transmissions xDSL ne passent pas au travers des switchs téléphoniques.

1.4.6. Ligne téléphonique libre

Lors de transmissions ADSL VDSL, le canal standard (réservé au téléphone, fax, ...) reste libre.

1.4.7. Ligne dédiée

L'xDSL offre une ligne dédiée à chaque utilisateur. De ce fait, la sécurité est nettement supérieure.

	<i>Prix</i>	<i>Temps pour V installation</i>
Fibre	> 20 000 \$ / mile	Mois
Coaxial	> 10 000 \$ / mile	Mois
Cuivre avec répéteur	~ 5 000 \$ / mile	Semaines
xDSL	~ 500 \$ / mile	Heures

Tableau 1.4.1 - Tableau comparatif (prix et temps) entre les différents types de câble

1.5. Techniques de modulations utilisées

Les techniques de modulations doivent garantir une utilisation efficace de la bande de fréquences et permettre le transport de débits élevés sur de grandes distances. Ces techniques doivent également diminuer la sensibilité des signaux aux perturbations. Citons quelques techniques : OOK, PSK, MSK, QPSK, QAM, CAP, ...

Chaque type de technologie xDSL utilise une ou plusieurs techniques de modulations : la modulation FDM (*Frequency Division Multiplexing*), DMT (*Discrete MultiTone*) et la QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) qui seront explicitées dans ce qui suit.

1.5.1. FDM et annulation d'écho

La technologie utilisée au niveau de la séparation des canaux est de type FDM ou annulation d'écho. Pour créer les canaux multiples, les modems xDSL divisent la largeur de la bande disponible d'une ligne téléphonique suivant deux types : multiplexage à division de fréquence (*FDM*) ou annulation d'écho.

1.5.1.1. Le multiplexage en fréquence FDM

Le multiplexage en fréquence FDM assigne une bande pour des données ascendantes et une bande différente pour les données descendantes. La voie d'accès descendante est alors multiplexée temporellement en un ou plusieurs canaux à vitesse réduite, la voie d'accès ascendante est également multiplexée dans les canaux à vitesse réduite correspondants.

Il évite la diaphonie en permettant au récepteur d'ignorer totalement la gamme de fréquences que son propre émetteur envoie sur la ligne, et il diminue la totalité de la bande disponible dans l'un ou l'autre sens de communication

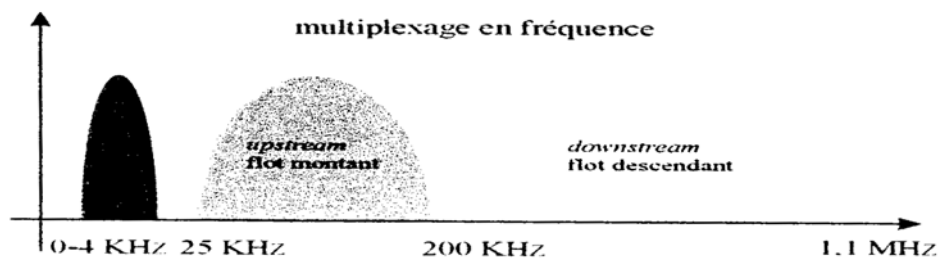


Figure 1.5.1 - Bandes passantes ADSL : multiplexage de fréquences

1.5.1.2. L'annulation d'écho

L'annulation d'écho assigne la bande ascendante pour superposer le descendant et sépare les deux au moyen d'annulation locale d'écho, une technique utilisée dans les modems V.32 et V.34. Elle élimine la possibilité qu'un signal reflété dans une direction soit interprété comme un «émetteur» dans le sens opposé, et elle valide les fréquences possibles à utiliser, ce qui maximalise la performance, elle est toujours faible aux effets de diaphonie où un récepteur capte des signaux qui sont transmis sur la bande adjacente.

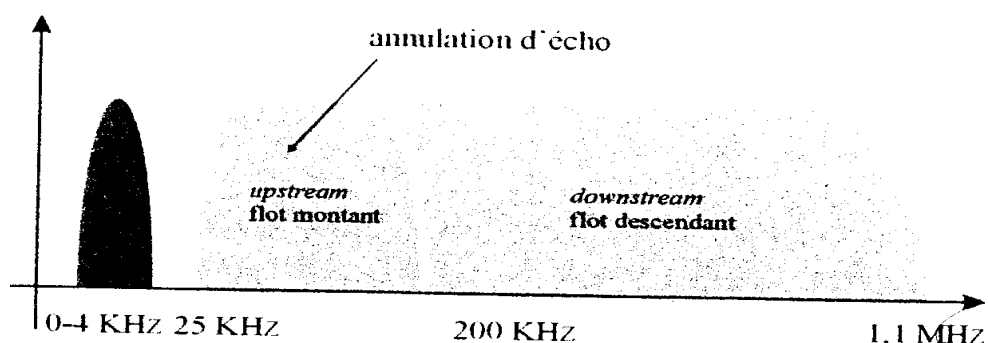


Figure 1.5.2 - Bandes passantes ADSL avec superposition et l'annulation d'écho

1.5.2. Codage 2B1Q

Le codage 2B1Q est utilisé pour les liaisons HDSL. Avec deux bits consécutifs, on forme un symbole dibit. Il faut donc coder quatre symboles dibits possibles en bande de base (on parle aussi de "codes en ligne").

Pour ce faire, on associe chaque dicit à un niveau particulier d'une impulsion pouvant prendre quatre niveaux électriques ; On sort alors de la logique binaire. On transcrit ainsi deux éléments binaires (2B) en un élément quaternaire (1Q). Le code en ligne 2B1Q fait correspondre à un groupe de deux éléments binaires un créneau de tension, dit symbole quaternaire, pouvant endosser quatre valeurs différentes. Dans l'exemple de la figure 1.5.3, la séquence binaire 100111110010010 émise sera codée en ligne sous la forme des symboles quaternaires +3-1+1 + 1 +3-1-3 + 3 -1.

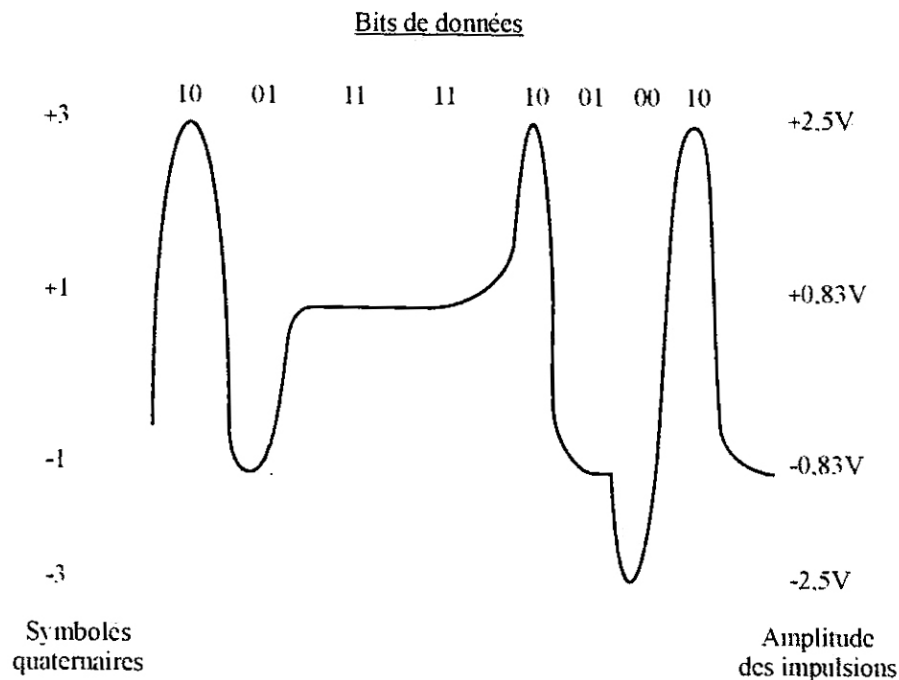


Figure 1.5.3 - Le code en ligne 2B1Q

1.5.3. Modulations CAP et DMT

Certaines technologies xDSL utilisent communément les techniques de modulations CAP (*Carrierless Amplitude and Phase modulation*) ou DMT (*Discrete Multitone Transmission*). Toutes deux utilisent la modulation QAM mais diffèrent dans la manière de l'appliquer.

1.5.3.1. Modulation du MAQ

La modulation QAM (*quadrature amplitude modulation*) utilise deux porteuses en quadrature qu'elle combine par addition pondérée en fonction du signal binaire à transmettre. Plus simplement, elle permet de coder des symboles binaires dans le module et la phase d'un signal porteur.

Imaginons que nous désirerions coder des symboles binaires de 4 bits à l'aide d'une modulation QAM, il y a donc 16 (2^4) symboles possibles.

Afin de représenter le module et la phase correspondant à chaque symbole, nous représentons chaque symbole par un nombre complexe (bien entendu, le module et la phase de ce nombre complexe correspondent au module et la phase qui code le symbole en question).

On appelle l'ensemble des nombres complexes codant tous les symboles ***l'encodeur en constellation de la QAM***

Tableau de codage

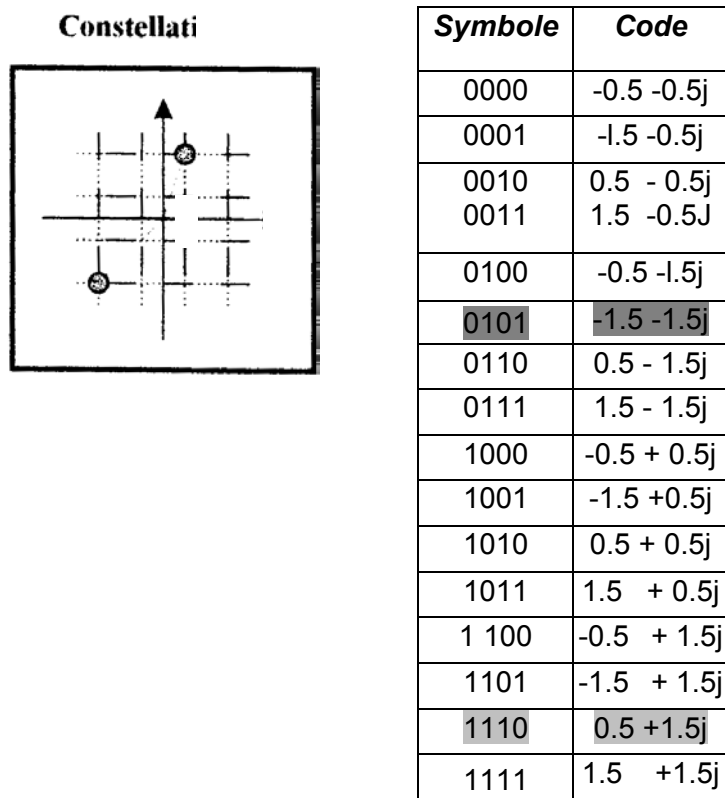


Figure 1.5.4 – Exemple d'une constellation et d'un codage

1.5.3.2. Modulation CAP

Le codage CAP module une seule porteuse supprimée avant la transmission, d'où le qualificatif de carrierless, puis reconstruite par le modem récepteur. Ce principe offre une large densité des séquences binaires par symboles.

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. 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'est à dire : 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.

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

Dans les systèmes CAP, seulement deux canaux sont requis en plus de celui utilisé par le téléphone : "montant" et "descendant".

1.5.3.3. Modulation DMT

La modulation DMT est développée par les laboratoires Bell. Cette technique permet d'utiliser la même paire de cuivre pour l'émission et la réception des signaux.

La bande passante de 0 à 1,104 MHz est divisée en 256 sous-canaux de 4,3125 KHz. La capacité de chacun des sous-canaux est de 32 Kbits/s.

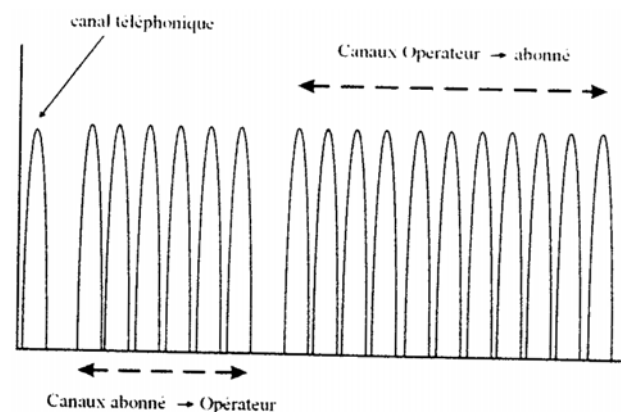


Figure 1.5.5 - Codage DMT

1.5.3.3.1. Les sous-canaux

Lorsque la liaison est mise en service, le bruit et l'atténuation de chaque sous-canal sont testés. Le débit optimal peut ainsi être atteint dans chaque sous-canal en fonction de ses

Caractéristiques propres. Donc chaque sous-canal codera un nombre plus ou moins grand de bits en fonction de ces propres caractéristiques. Il existe également une procédure "allégée" permettant de remettre à jour périodiquement ou lorsque le taux d'erreur augmente, le bruit et l'atténuation de chaque sous-canal. Ceci permet de suivre l'évolution des caractéristiques de la ligne au cours du temps.

Ce procédé maximise la performance de la transmission (minimise la probabilité de bits erronés lors de la transmission).

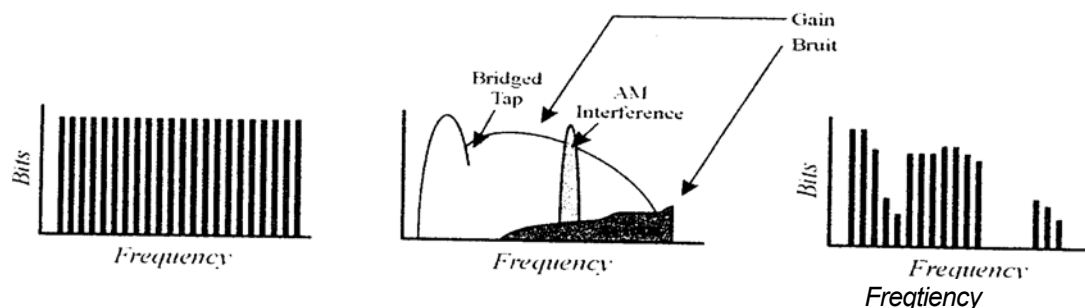


Figure 1.5.6 - Spectre général d'une paire torsadée

On remarque nettement que le nombre de bits que code chaque sous-canal dépend de son atténuation et de son bruit. Un sous-canal peut coder de 0 à 8 bits selon une constellation. La bande passante traditionnelle (pour les transmissions téléphoniques) se distingue très bien comme étant la meilleur (300-3400 Hz).

Ensuite, l'atténuation ainsi que le bruit augmentent avec la fréquence. Le bruit provient surtout de la diaphonie. On remarque principalement trois zones de sous-canal de mauvaise qualité.

Dans les basses fréquences : Les basses fréquences sont coupées par les séparations galvaniques.

Bridged Tap : Perturbations introduites par des tronçons de ligne plus du tout utilisés et non déconnectés du réseau.

AM : Les interférences des ondes radio peuvent également perturber une ligne.

Les procédures d'analyse de ligne transmettent en boucle une séquence de bits connus par le destinataire. Ce dernier adapte son filtre de façon à diminuer l'erreur de transmission de chaque boucle. Ces procédures ont à disposition une durée limitée pour analyser la ligne. Si cette limite est dépassée, l'analyse se termine même si les filtres ne sont que partiellement adaptés.

Certains sous-canaux ne sont pas utilisés pour le transport de l'information utile, ils ont donc une fonction particulière :

Les sous-canaux de 1 à 6 (de 0 à 25,875 KHz) sont utilisés pour le transport de la voix. Nous savons bien qu'en téléphonie, la voix n'utilise que la bande 300 à 3400 Hz, il en résulte une séparation assez importante (22,475 KHz) entre la voix et les données ADSL.

Avec une telle séparation en fréquence, la conception des filtres ADSL (séparant les données standard téléphoniques aux données ADSL) en est donc simplifiée. Le sous-canal (64 à 276 KHz) est réservé comme signal pilote.

1.5.3.3.2. Le codage

Chaque sous-canal code ses informations selon une modulation QAM, indépendamment des autres sous-canaux. Donc pour un sous-canal donné, la fréquence des porteuses de la QAM correspond à sa fréquence.

Nous avons vu précédemment que chaque sous-canal codait plus ou moins de bits de (0 à 8) en fonction de sa qualité, il en résulte des constellations de 0 à 256 symboles.

1.5.3.3.3. Explications mathématiques

Nous supposons l'envoi d'un unique message. De plus nous ignorons les sous-canaux qui ont des fonctions spéciales.

Premièrement, chaque sous-canal doit coder un nombre (connu) de bits du message selon la modulation QAM. Pour ce faire, à chaque sous-canal est associé un nombre complexe donné par la constellation et les bits d'information qu'il doit coder.

Rappelons qu'un sous-canal correspond à une bande de fréquence dans laquelle sera codée de l'information propre à cette bande de fréquence donc propre à ce sous-canal. Chaque nombre complexe (= codage de l'information du sous-canal) aura une fréquence porteuse afin de transmettre l'information. Par conséquent, l'ensemble des nombres complexes en fonction de leur fréquence porteuse représente le spectre de notre message codé par l'ensemble des sous-canaux ***qui correspond à une trame !***

La Figure « 1.5.7 » représente le codage d'un sous-canal, il est clair qu'il faut d'abord coder les n sous-canaux avant de faire la IFFT. La IFFT de tous les nombres complexes $X(i)$ nous donne le signal temporel qui code l'information de tous les sous-canaux

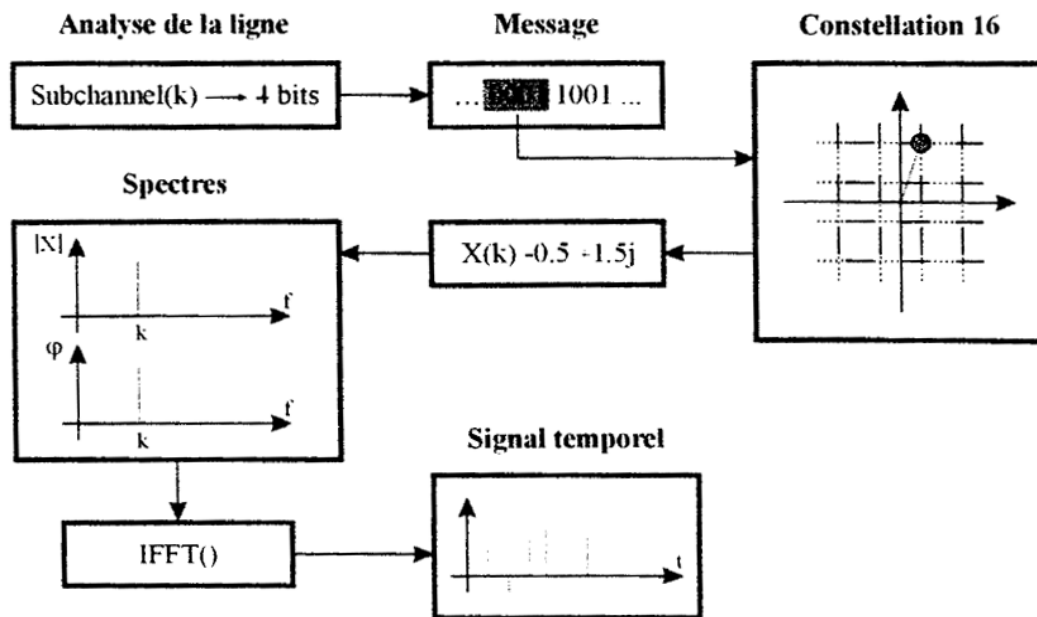


Figure 1.5.7 - Modulation DMT

1.5.3.3.3. Avantages et inconvénients de la DMT

La technique DMT présente une excellente immunité aux perturbations et à la diaphonie. En plus, elle est particulièrement bien adaptée aux applications à débit variable. Cependant, elle requiert une puissance de calcul élevée. Néanmoins avec les performances des processeurs actuels, cet inconvénient n'a plus beaucoup d'importance. La modulation correspond à une IFFTO et bien entendu, la démodulation à une FFTO.

1.5.4. Modulation DWMT

La modulation DWMT est en cours de développement pour des produits symétriques à hauts débits.

Les gains de DWMT sont de 45 dB au-dessous du lobe principal tandis que les gains d'FDM et de DMT sont seulement 13 dB en baisse, ainsi une puissance de sous-canal de DWMT de 99,997% réside dans le lobe principal tandis que seulement environ 91% puissance de FDM et de DMT de sous-canal résident dans le lobe principal.

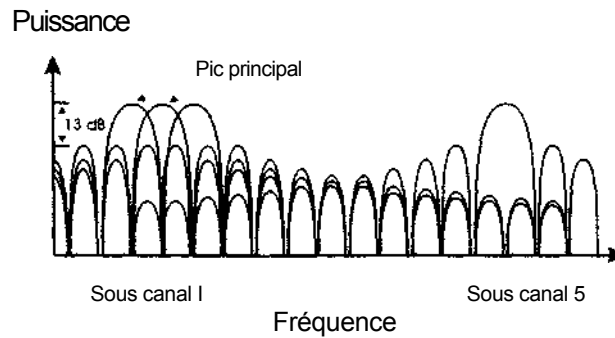


Figure 1.5.8 - Codage DWMT

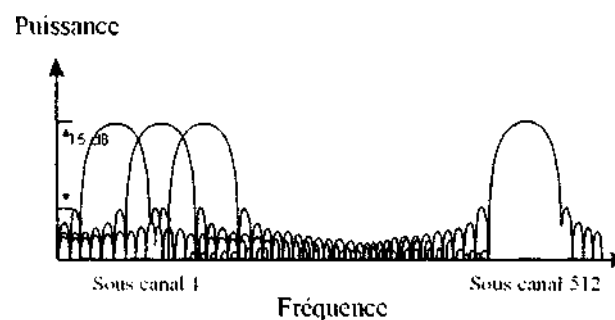


Figure 1.5.9 - Codage DWMT

L'isolement spectral supérieur de la modulation DWMT fournit les avantages suivants : La modulation DWMT a moins de temps système de transmission que FDM ou DMT. Il n'y a plus de temps détruit entre les symboles ou l'égalisation coûteuse de tranches de temps. • DWMT peut mettre à jour le débit supérieur dans les environnements de bruit à bande étroite typiques de ADSL.

1.6. Différentes technologies xDSL

1.6.1. Principe des technologies xDSL

La raison pour laquelle les modems xDSL ne peuvent travailler que sur des distances courtes est l'affaiblissement du signal dû à la longueur de la ligne. Ce problème n'existe pas avec des modems ordinaires car ils utilisent la fréquence de la voix (0-3400 Hz).

Pour la technologie xDSL les fréquences sont élevées et le facteur linéique aussi. Comme le démontre la formule qui donne la tension du signal sur la ligne

$$V(l) = e^{-\gamma(l) * l} * V_0$$

où γ = facteur linéique

Formule 1.6.1

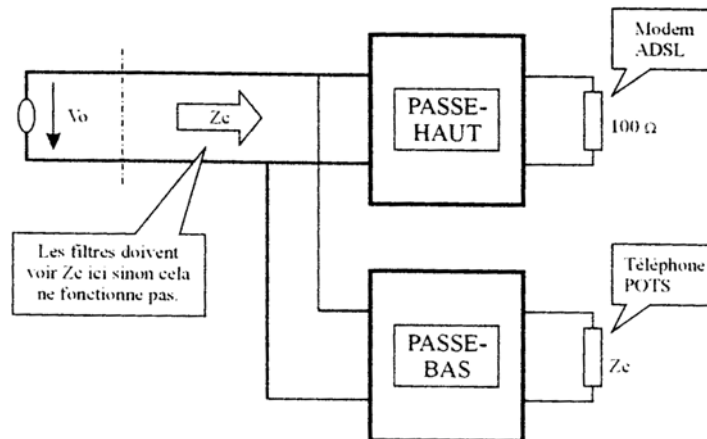


Figure 1.6.1 - Principe des technologies xDSL

1.6.2. Technologie IDSL (ISDN sur Ligne d'abonné Numérique)

La technologie IDSL est une technique destinée pour les petites et moyennes entreprises. Elle utilise le codage 2B1Q, comme celui qui est utilisé sur ISDN (*Réseau Numérique à intégration de services*). Mais il est utilisé seulement pour les données.

IDSL utilise les codes de transmission BRI du (ISDN) et offre un choix de bande passante : 64 Kbps, 128 Kbps, et même 144 Kbps, qui sont symétriques.

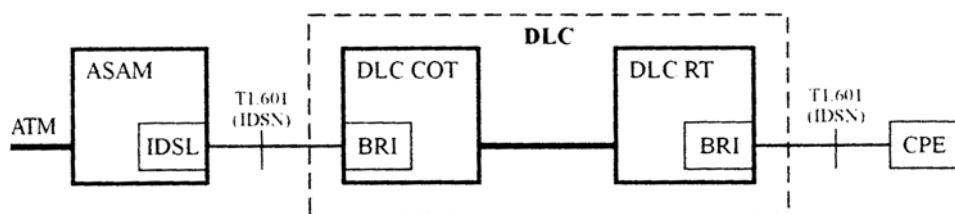


Figure 1.6.2 - Interface de la ligne IDSL

La technologie IDSL offre plusieurs avantages pour l'abonné :

- L'abonné est toujours en connexion.
- Il transmet les données sur un circuit dédié qui est différent de celui de l'ISDN qui utilise le réseau PSTN.
- Souvent, le service IDSL est facturé sur une base mensuelle comparée à l'ISDN qui est par paquet ou minute. Cela donne un coût mensuel prévisible à votre organisation.
- IDSL utilise les lignes ISDN et POTS existantes qui sont disponibles aujourd'hui dans la plupart des régions.

1.6.2.1. Protocole IDSL

IDSL utilise les mêmes protocoles qu'ISDN.

1.6.2.2. Protocole LAP D

D'après la recommandation 1411 du CCITT Le LAP D (*Link Access Protocol on D channel*) a pour objet de définir l'échange de trames entre entités : usager/réseau, usager/régie, régie/réseau, il utilise le service de niveau 1, c'est le canal D, Il a les fonctions d'enveloppe HDLC, détection d'erreurs par FCS (*frame checking séquence*), contrôle de flux, multiplexage de plusieurs liaisons sur canal D, et multiservices.

Le canal D peut transporter des trames de signalisation (messages de niveau 3), de données, et de gestion (terminaux et réseaux pour se reconnaître).

Ces trames sont identifiées dans le champ adresse par un S API (*Service Access Point Identifier*) qui identifie le type de trafic.

1.6.2.3. La trame LAP D

La structure générale des trames LAP D comprend, dans l'ordre, les champs : **fanion, adresse, commande, information, contrôle d'erreur et fanion.**

Le champ adresse est constitué de deux octets qui identifient la liaison de données sur la quelle les trames sont émises ou reçues.

Le premier octet contient l'identification du point d'accès aux services de la couche 2 (SAPI : *identificateur du point d'accès au service*), et indique implicitement le type d'information porté par la trame.

Les valeurs de SAPI utilisées aujourd'hui sont :

- SAPI = 0 : trame de signalisation
- SAPI = 16 : trame de données en mode paquet
- SAPI = 63 : trame de supervision

Le deuxième octet du champ adresse contient l'identification du terminal (TEI) qui permet de distinguer les liaisons de données multiplexées et de diriger les trames vers un équipement

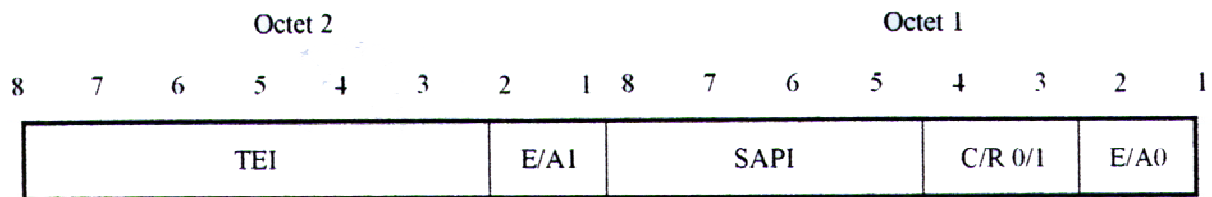


Figure 1.6.3 - Structure du champ adresse du LAP D

Le Protocole LAP D est unique pour les communications vocales, données (et télématique) images, vidéo. Il définit les codages et les procédures pour l'établissement et la rupture de communications, le transfert de données de compatibilité, et la suspension et reprise d'appels.

1.6.3. Technologie ADSL

La caractéristique la plus importante de l'ADSL est le fait qu'il supporte le service analogique de voix et le service de données simultanément. Un dispositif spécial appelé « filtre » impose la voie analogique de 4 KHz entre le commutateur et l'équipement analogique de l'abonné.

Les services de données sont accèdes en dehors du commutateur RTC, résolvant ainsi le problème d'encombrement du commutateur. Beaucoup de liaisons ADSL sont gérées par un nœud d'accès aux services installé dans le central de télécommunications. Ce nœud d'accès est appelé DSLAM (*DSL module d'accès*).

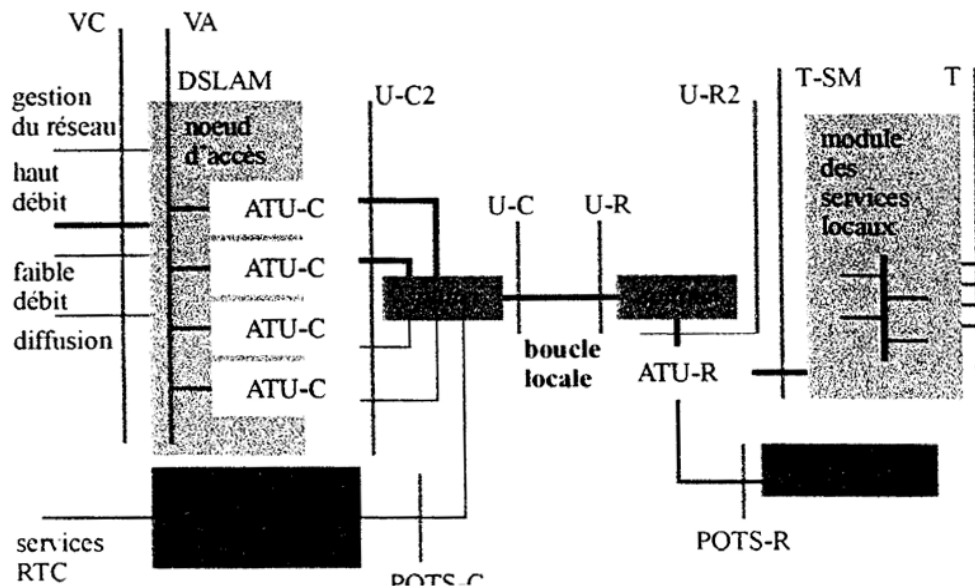


Figure 1.6.4 - Structure élémentaire d'un système ADSL

• Acronymes de la famille ADSL

- ATU-C (ADSL Termination Unit - Central office) : unité de transmission ADSL, côté réseau
- ATU-R (ADSL Termination Unit - Remote) : unité de transmission ADSL, côté abonné
- DSLAM DSL : multiplexeur d'accès au DSL
- POTS-C : interface entre RTC et splitter, coté réseau (POTS - *plain old téléphone service*)
- POTS-R : interface entre RTC et splitter, côté abonné
- T-SM : T-interface terminale de l'abonné
- U-C : interface U sur la boucle locale côté réseau
- U-C2 : interface U sur le splitter côté réseau
- U-R : interface U sur la boucle locale côté abonné
- U-R2 : interface U sur le splitter côté abonné
- VA : interface sur ATU- C, côté nœud d'accès de ATU - C
- VC : interface du fournisseur des services côté nœud d'accès

1.6.3.1. Codage ADSL

Dans les produits ADSL on utilise plusieurs techniques de codage de ligne :

- La modulation d'amplitude et de phase sans porteuse - CAP (carrierless amplitude/phase modulation),
- La modulation d'amplitude en quadrature (MAQ),
- La technologie de multitonnalité discrète - DMT (*discrète multitone*).

La norme ADSL applique la technique DMT avec l'annulation d'écho ou de multiplexage en fréquence.

1.6.3.2. Structure d'une trame ADSL

Les données à transmettre sont groupées en trames de 246 us, soit 4000 trames par seconde. 69 trames sont regroupées pour former une multitrame de 17 ms.

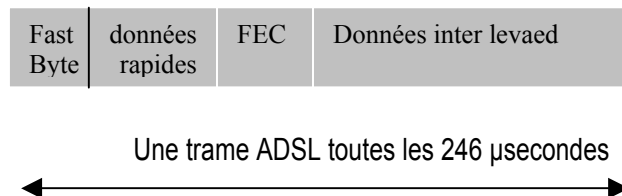


Figure 1.6.5 - Trame ADSL

Chaque trame est composée des champs suivants :

- Fast Byte:

Cet octet contient les données de détection d'erreurs (CRC : *Cyclic Redundancy Check*) de la partie Fast Data.

- Fast Data (données rapides) :

Ce champ sert au transport des données sensibles au retard. L'équipement traite ces données dans des files d'attente spécialisées. Leur transport est prioritaire afin de garantir un délai de transmission minimal.

-FEC :

Le champ FEC (*Forward Error Correction*) contient les informations de détection et de correction des erreurs des données Fast Data.

- Interleaved Data (données lentes) :

Ce champ est utilisé pour le transport des données peu sensibles au retard. L'entrelacement est une technique de protection des données permettant de les rendre moins sensibles au bruit. L'entrelacement est combiné avec un code permettant de corriger les erreurs de transmission.

L'espace de transport dans les trames ADSL est assigné indépendamment pour chaque catégorie de données.

Sync byte	AS 0 byte	AS1 byte	AS2 byte	AS3 byte	LS0 byte	LS1 byte	LS2 byte	AEX byte	LEX byte
--------------	--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Figure 1.6.6 - Détail de la partie entrelacement d'un canal downstream

Fast byte	LS 0 byte	LS 1 byte	LS2 byte	LEX byte
--------------	--------------	--------------	-------------	-------------

Figure 1.6.7 - Détail de la partie entrelacement d'un canal upstream

Remarques :

Le Fast byte et le sync byte sont utilisés pour le contrôle. Les bytes AEX et LEX sont utilisés comme byte de réserve par le canal AS respectivement LS. On ajoute encore deux mots pour la correction d'erreur (Reed Solomon), un pour le canal AS et un pour le canal LS.

Exemple : la structure d'une trame pour la transmission de 3 * 2 Mbits/s

La structure d'une trame pour la transmission de 3 * 2 Mbits/s (AS0 - AS2 = 3 * 64 octets / trame * 8 bits / octet * 4'000 trames/s) en downstream et 64 Kbit/s (LS0 = 2 octets * 8 bits / octet * 4'000 trames/s) en upstream.

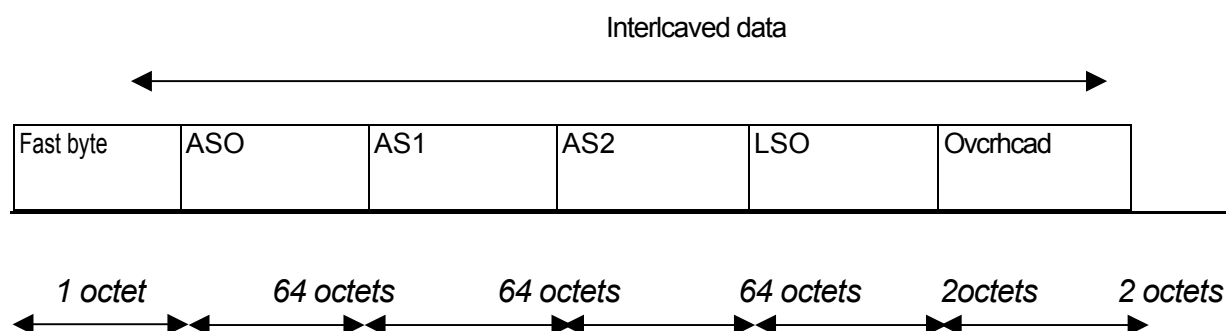


Figure 1.6.8 - Structure d'une trame pour la transmission de 3 * 2 Mbits/s

Chaque trame peut être codée et modulée dans un canal DMT de 4 KHz. L'ADSL permet notamment le transport de données TCP/IP, ATM et X.25. Le délai de transmission est compris entre 2 et 60 ms, avec une moyenne de 20 ms. Il est donc compatible avec les services interactifs multimédias.

1.6.3.3. Structure de la super-frame ADSL

Les trames 2 à 33 et 36 à 67 sont utilisées pour le transport des données. Les autres trames ont des fonctions particulières :

- Trames 0 et 1 : transport des données de détection d'erreurs (CRC) de la multitrame.
- Trames 34 et 35 : transport des bits d'indication et de configuration pour la gestion de la liaison.
- Trames 68 : trame de synchronisation.

La taille des trames varie en fonction du débit de la ligne. Il n'y a donc pas de taille fixe pour les trames et multitrames. Seule la durée est constante qui est égale à 17 ms.

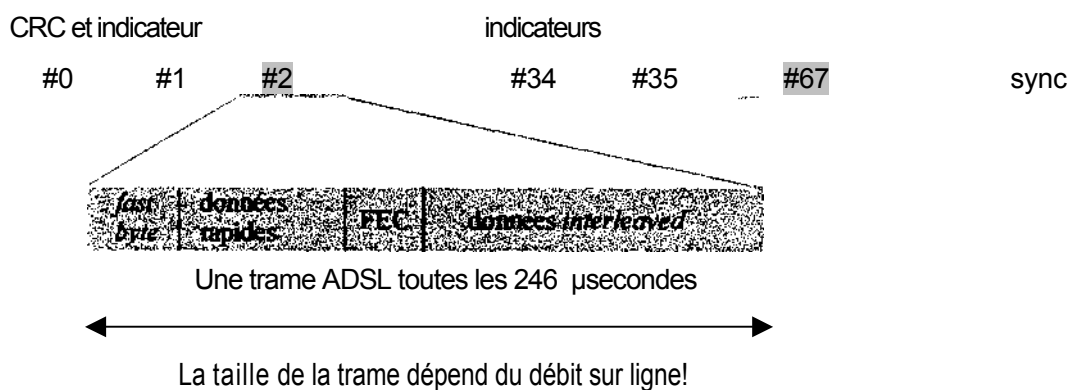


Figure 1.6.9 - Super-frame ADSL

1.6.3.4. Canaux ADSL

Dans ce qui suit nous expliquons, comment le transfert des données entre le nœud d'accès ADSL et l'interface de l'abonné est effectué.

On a 4 canaux possibles en descendant simplex et 3 en full duplex.

Pour le full duplex, on a différentes cadences possibles qui doivent être un multiple de 32 kbps. Donc on peut choisir si l'on veut :

- Simplex en montant ou en descendant.
- Duplex.

Dans beaucoup d'implémentations on utilise juste ASO en descendant simplex et LSO en montant simple.

<i>Canal</i>	<i>Type</i>	<i>Cadences possibles</i>	<i>Commentaire</i>
ASO	Downstream Simplex	0-8.192Mbps	
AS1	Downstream Simplex	0 - 4.608 Mbps	
AS2	Downstream Simplex	0 - 3.072 Mbps	
AS3	Downstream Simplex	0 - 1.536 Mbps	
LSO	Duplex	0 - 640 Kbps	Différentes cadences
LSI	Duplex	0 - 640 Kbps	Différentes cadences
LS2	Duplex	0 - 640 Kbps	Différentes cadences

Tableau 1.6.10 - Canaux logiques de données et leurs cadences possibles

1.6.3.4.1. Transport unidirectionnel

La spécification ADSL établit quatre classes de transport pour les porteurs simplex basées sur des multiples de 1.536 Mbit/s. La vitesse maximum pour chaque porteur n'est pas limitée, elle dépend seulement de la capacité totale de la liaison ADSL. Les classes de transport qui définissent le débit sur la ligne sont 6.144 Mbit/s, 4.608 Mbit/s, 3.072 Mbit/s, 1.536 Mbit/s, numérotés de 1 à 4. Le support pour les classes 1 et 4 est obligatoire. Le nombre maximum de porteurs qui peuvent être transportés en même temps dépend de la classe de transport.

- La classe de transport 1 offre le débit descendant le plus grand et est destinée aux lignes d'abonnés courtes. Les 6.144 Mbit/s peuvent se composer de n'importe quelle combinaison de 1 à 4 porteurs, chacun d'eux ayant un débit multiple de 1.536 Mbit/s, la somme devant faire 6.144 Mbit/s.

- La classe de transport 2 a un débit de 4.608 Mbit/s descendant. Elle se compose de 1 à 3 porteurs, chacun d'eux ayant un débit multiple de 1.536 Mbit/s, la somme devant faire 4.608 Mbit/s.

- La classe de transport 3 a un débit de 3.072 Mbit/s descendant. Elle se compose de 1 ou 2 porteurs ayant un débit multiple de 1.536 Mbit/s, la somme des deux devant faire 3.072 Mbit/s.

- La classe de transport 4 a un débit de 1.536 Mbit/s et est destinée aux lignes d'abonnés les plus longues.

- Des classes de transport préfixées 2 M fournissent des multiples de 2.048 Mbit/s, et tiennent compte des réseaux de type E trouvés en Europe.

1.6.3.4.2. Transport bidirectionnel

Le canal (C) est le canal de contrôle qui fait parti des trois canaux porteurs bidirectionnels, il transporte les messages de contrôle pour la sélection des services. Toute la signalisation se fait par le biais de ce canal spécial. Il est toujours actif et s'exécute à 16 Kbit/s pour les classes de transport 4 et 2M-3. Toutes les autres classes utilisent le canal C à 64 Kbit/s.

En plus du canal C, le système ADSL peut transporter deux porteurs bidirectionnels supplémentaires : un porteur à 160 Kbit/s et l'autre soit à 384 Kbit/s, soit à 576 Kbit/s. Jusqu'à trois porteurs duplex peuvent être transportés simultanément sur la ligne.

1.6.3.4.3. Options de transport pour l'ensemble des canaux de transport

Les canaux bidirectionnels ont une option pour le transfert des cellules ATM dans un canal du type LS2. Le canal LS2 peut porter des cellules formatées pour le protocole d'adaptation AAL5 (VBR - *variable bit rate*) ainsi que les cellules de AAL1 (CBR - *constant bit rate*).

1.6.3.4.4. Les données de contrôle de PADS (overhead)

En plus des canaux de transport, il y'a d'autres canaux de contrôle.

- Le canal de synchronisation qui permet d'effectuer la configuration des canaux AS et LS,
- Le canal des fonctions internes - EOC (*embedded operations channel*),
- Le canal de reconfiguration - OCC (*operations control channel*),
- La correction d'erreurs - CRC (*cyclical redundancy check*),
- L'opération, administration, maintenance - AOM,
- La correction anticipée d'erreurs.

Ces informations circulent dans les deux sens en aval et en amont, et dans la plupart des cas, les bits d'overhead sont envoyés avec un débit de 32 Kbit/s.

Dans les canaux de transport plus rapides, les bits de contrôle prennent la bande de 64 Kbit/s voire 128 Kbit/s.

1.6.3.5. Les modes de distribution ADSL

Pour caractériser les catégories des données portées dans les trames ADSL, le Forum ADSL a défini quatre modes de distribution :

- Le mode synchrone au niveau du bit (bit synchronous mode),
- Le mode synchrone au niveau des paquets (packet adapter mode),
- Le mode de multiplexage des paquets (end- to- end packet mode),
- Le mode de multiplexage des cellules ATM (ATM mode).

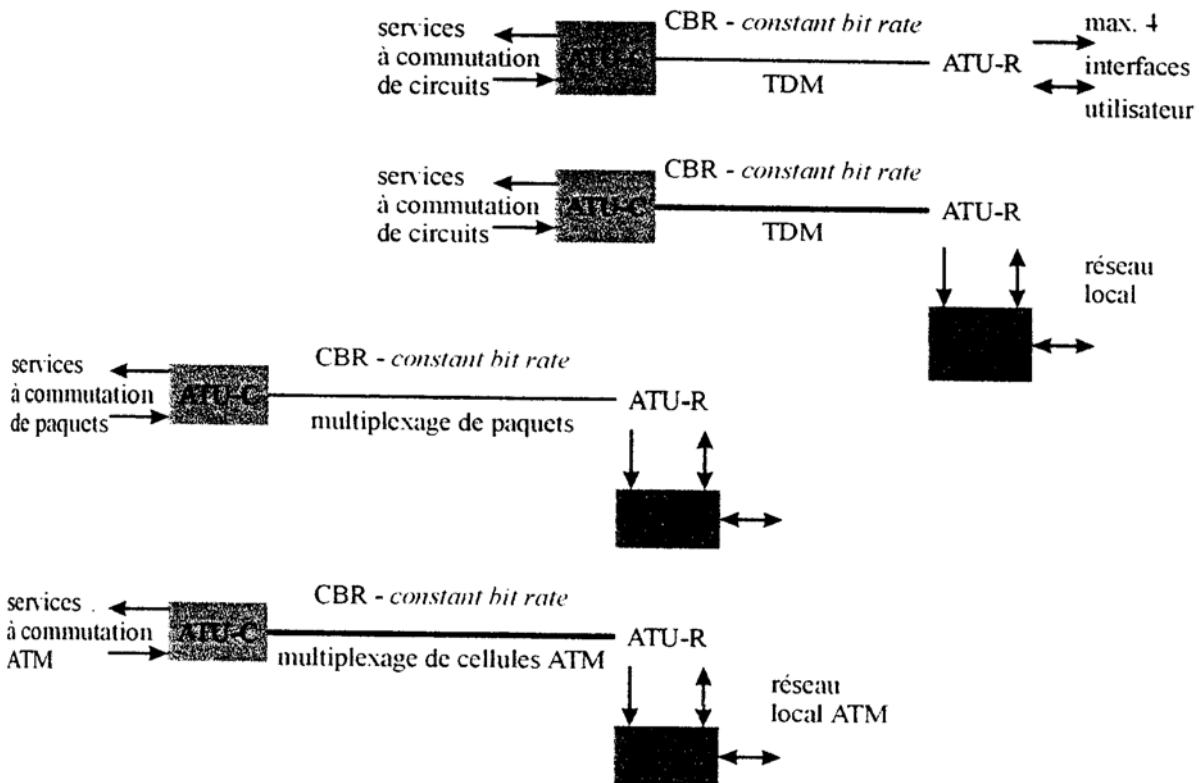


Figure 1.6.11 - Les modes de distribution ADSL

1.6.3.5.1. Mode synchrone au niveau du bit

Le nœud d'accès récupère les suites de bits qui arrivent dans les canaux de transport C ou LS, et envoie les bits descendants sur les canaux AS.

1.6.3.5.2. Mode paquet

Dans le mode paquet le site utilisateur contient un bloc d'adaptation qui permet aux périphériques utilisateurs d'envoyer et recevoir les paquets à la place d'une chaîne binaire non structurée.

Cette solution permet d'attacher à l'adaptateur un ensemble de dispositifs fonctionnant en mode paquet (p.e. réseau Ethernet).

1.6.3.5.3. Mode paquet de bout en bout

Le mode paquet de bout en bout est une simple extension du mode précédent. Dans ce mode on suppose que le nœud d'accès gère les chaînes binaires également au niveau des paquets.

1.6.3.5.4. Le mode ATM

Le mode ATM est prévu pour un fonctionnement ATM de bout en bout. Le nœud d'accès passe les cellules ATM au réseau ATM, qui peuvent porter des data-grammes IP ou trames PPP.

1.6.3.6. Fonctions des modems ADSL

Le modem ADSL assure Les fonctions Interface ligne (Emission/réception sur les fréquences xDSL) et Gestion ATM, et intègre des fonctions liées au niveau IP/PPP (serveur JDHCP/DNS, translation d'adresses IP, protocoles d'authentification PPP, différents modes d'encapsulation d'IP sur l'interface locale, ...).

1.6.3.6.1. Bloc du modem ADSL simplifié en émission

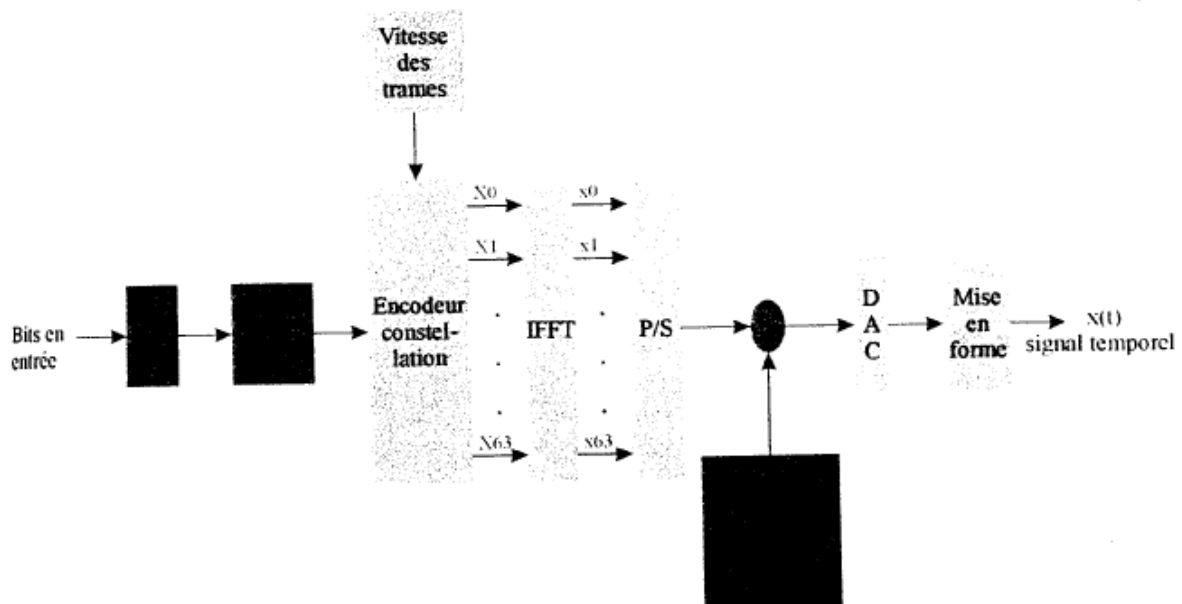


Figure 1.6.12 - Bloc du modem ADSL simplifié en émission

CRC et Trellis codeur

Ces parties permettent la détection voire même la correction d'erreur de transmission. La partie CRC ajoute de la redondance à l'information. Les codes CRC sont des codes cycliques. Ils sont utilisés dans le monde des télécommunications.

• *Encodeur constellation*

Ce bloc a pour but de coder le message binaire à transmettre dans la différent sous-canaux. Nous avons vu plus haut que le message était envoyé par trame. Afin d'émettre de nouvelles trames, ce bloc a évidemment besoin de connaître la période des trames (période d'une frame = 246 ms), ainsi que le nombre de bits que code chaque sous-canal.

Lors de l'émission d'une trame, l'encodeur prend une tranche du message à émettre, de longueur égale à la somme de bits que peut coder l'ensemble des sous-canaux, et la code sur un sous-canal en fonction de sa capacité de codage. Le principe du codage par la constellation QAM a été déjà expliqué plus haut (cf « Modulation QAM »).

En résumé, ce bloc code une partie de l'information sur un ensemble de nombres complexes. Ces derniers restent fixes pendant la période d'une trame (c'est à dire 246 ms). Après cela, une nouvelle partie de l'information sera codée à son tour sur cet ensemble de nombres, et ainsi de suite ...

• IFFT

Cette fonction permet de calculer les échantillons de la trame à transmettre. Nous savons qu'une trame montante comporte 64 échantillons (donc 64 échantillons en 246 ms).

• P/S

La IFFT retourne directement la valeur des échantillons de la trame, cependant il existe un petit problème. La IFFT retourne tous les échantillons en parallèle, il faut donc les placer en série afin de trouver un signal temporel (connaissant le nombre d'échantillons et le temps d'une trame, il est alors trivial de calculer la durée qu'il faut mettre entre chaque échantillon).

• Synchronisation

Pour la fiabilité, une trame connue de synchronisation est insérée toutes les 68^{èmes} trames,

de sorte à garantir la cadence.

•DAC

Nos signaux étant numériques et le média analogique, il est obligatoire de transformer » tes signaux numériques en des signaux analogiques avant de les transmettre sur le média. Ce ; transforme le signal numérique en un signal carré.

• Mise en forme

Vu le spectre infini que présentent les signaux carrés ainsi que la bande passante limitée offerte par les médias, il est impératif d'introduire une mise en forme afin de limiter la bande passante des signaux à émettre. Si la mise en forme satisfait les deux critères de Nyquist, elle «sure également un passage par zéro du signal lors des transitions (ceci est toujours vrai pour des signaux à deux états, dans notre cas, n'oublions pas que nous avons plusieurs niveaux). Plus amplement, le filtre de mise en forme adapte les signaux au canal.

1.6.3.6.2. Bloc du modem ADSL simplifié de la réception

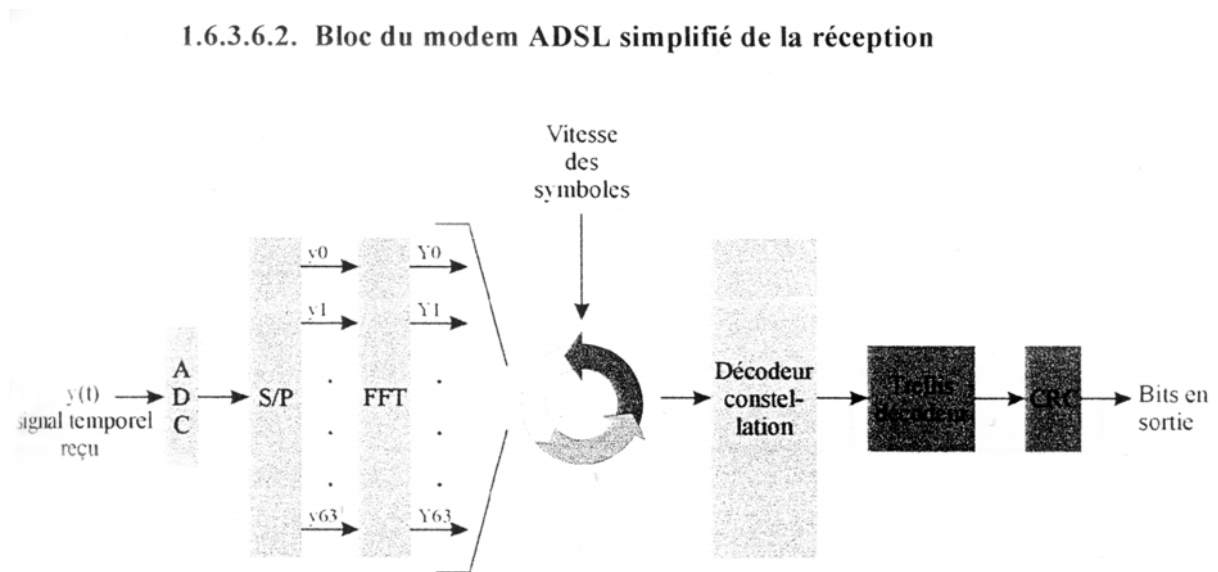


Figure 1.6.13 - Bloc du modem ADSL simplifié de la réception

Etant donné que beaucoup de blocs réalisent exactement la fonction inverse des blocs de la partie émission, nous détaillerons uniquement la partie décodeur constellation, étant la seule qui nécessite quelques explications.

- **Décodeur constellation**

Comme chaque coefficient retourné par la FFTO, code une tranche du message émis, il de décoder ces coefficients les uns après les autres selon la constellation adéquate (nombre d'état de la constellation est égal à deux puissances n , n étant le nombre de bits que code le sous-canal). Afin de fournir le signal numérique émis, il faut connaître quelle est la durée entre chaque échantillon du signal numérique reconstitué. Cette durée a déjà été calculée dans la technique DMT.

1.6.3.6.3. Bloc du modem ADSL

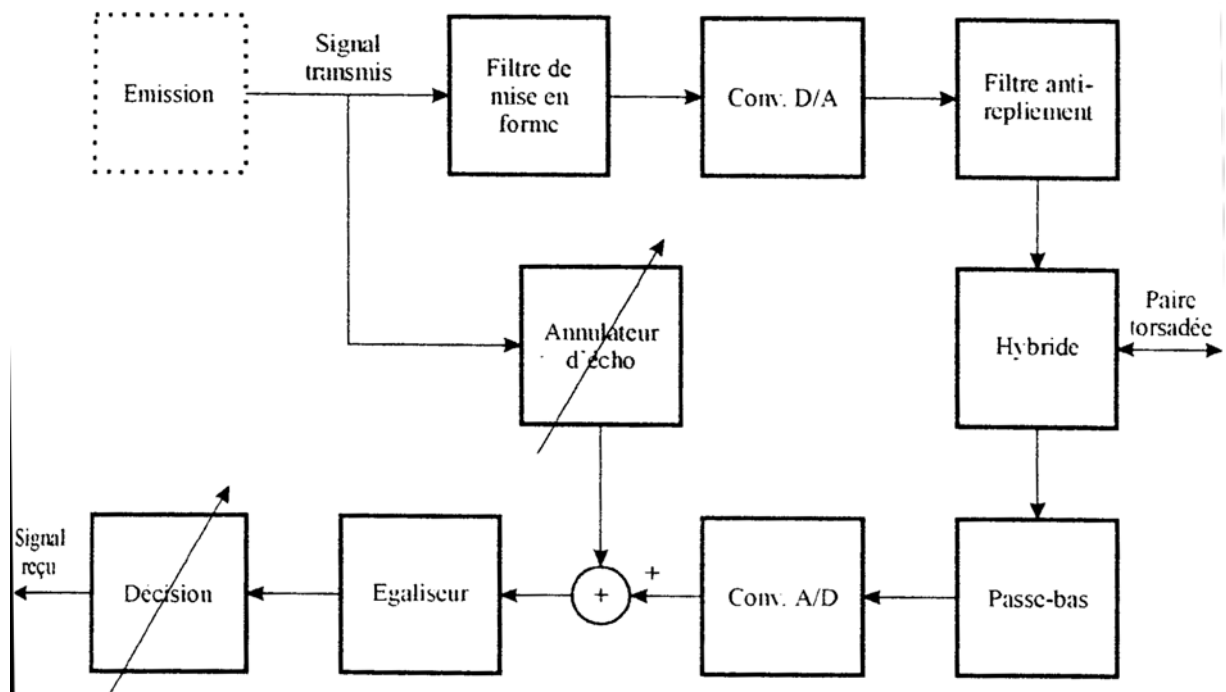


Figure 1.6.14 - Bloc c/it modem ADSL

- **Filtre de mise en forme**

Cf «1.6.12 - Emission ».

- **Convertisseur D/A**

Cf «1.6.12 - Emission ».

- **Filtre antirepliement**

Il supprime les répétitions de spectre et ne garde que le *premier*.

- **Hybride**

Il réalise la séparation de la voie montante (signal émis) de la voie descendante (signal reçu). Il fait donc une conversion 2 fils vers 4 fils. Mais cette séparation n'est pas parfaite et une partie du signal émis est réfléchi par le transformateur hybride. Nous avons donc un phénomène d'écho.

- **Passe-bas**

Il permet de couper les bruits hors-bande.

- **Convertisseur A/D**

Cf «1.6.13 - Réception ».

- **Annulateur d'écho**

Afin de supprimer l'écho, on met en oeuvre un filtre adaptatif annulateur d'écho.

En résumé, il prend le signal que l'on va émettre, le retarde et le soustrait au signal reçu.

- **Egaliseur**

L'atténuation des signaux dans le cuivre est très forte en bout de bande passante. Pour pouvoir reconstituer les signaux au récepteur, il nous faut un filtre égaliseur qui réalise la fonction inverse du canal. Il est constitué d'un filtre adaptatif qui s'adapte au canal de [transmission pendant une phase d'apprentissage en début de transmission.

- **Décision**

Il discrimine les différents niveaux de notre signal numérique.

1.6.3.7. Fonctions des splitters

Les splitters sont des filtres utilisés pour séparer les POTS des services xDSL (ADSL dans notre cas). Ils permettent d'éviter les interférences entre les POTS et les services xDSL. Les splitters sont installés entre le point de démarcation (démarcation point) ou NID (*Network Interface Service*) et le réseau.

Pour pouvoir faire cette séparation les splitters sont composés de deux sortes de filtres, à savoir un filtre passe-bas pour filtrer la bande de fréquence réservée à la voix (téléphone) et un passe-haut pour filtrer la bande de fréquence assez haute et réservée aux services xDSL. La figure «1.6.15» montre l'emplacement des splitters. Un splitter est placé dans un central CO (*Central Office*) et un autre chez l'utilisateur. Il envoie l'information soit vers

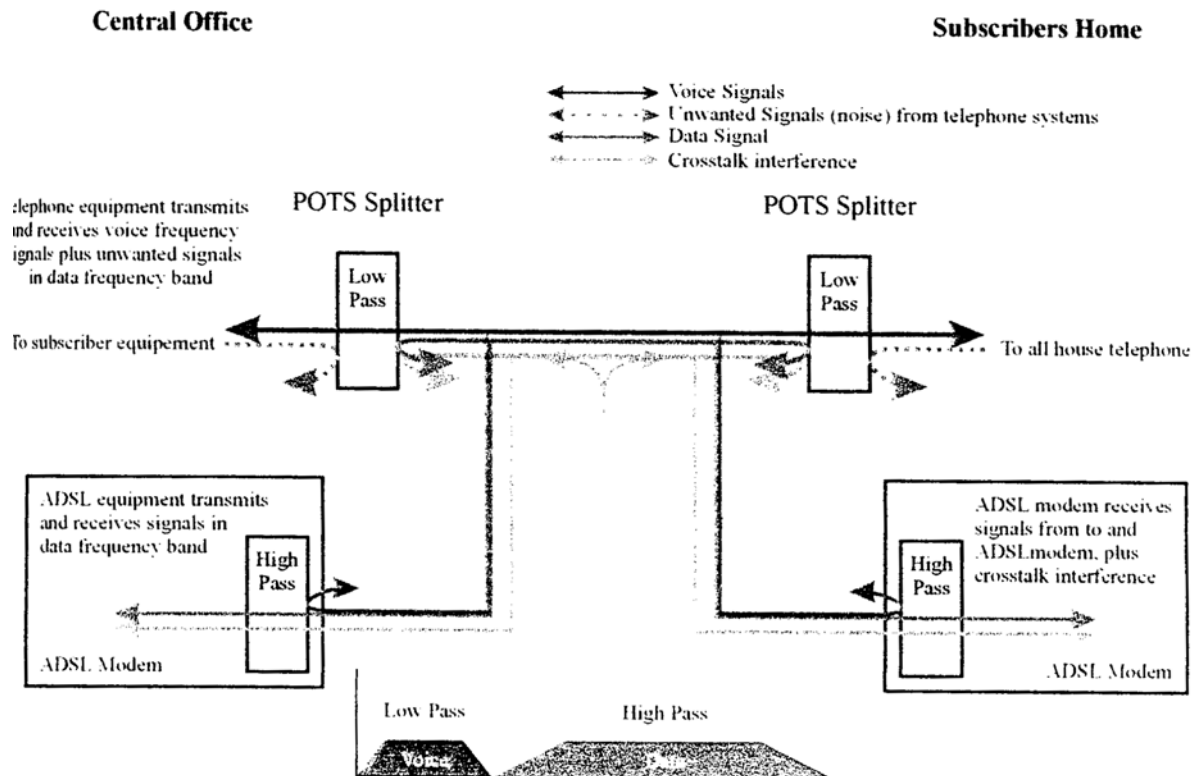


Figure 1.6.15 - Séparation voix, données en fonction des filtres

1.6.3.8. Configuration ADSL pour les services à haut débit

La technologie ADSL fait partie d'une architecture réseau qui a le potentiel d'alimenter les sites résidentiels et les petites entreprises avec tous types de nouveaux services en large bande. Dans ce contexte, - «large bande»- signifie les services ayant besoin de connexions à 2 Mbit/s et plus.

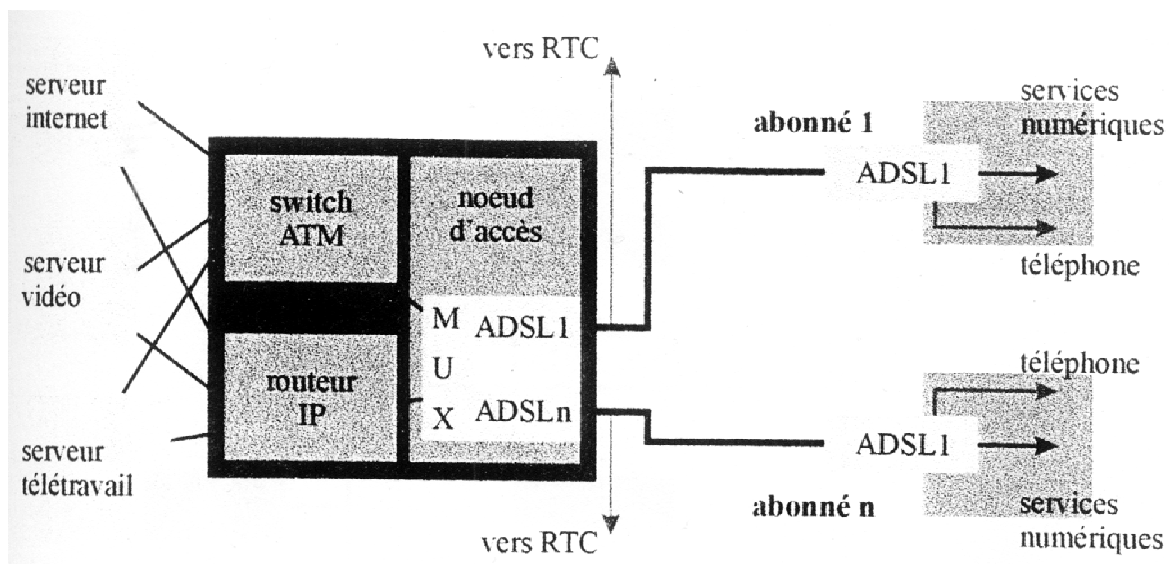


Figure 1.6.16 - Configuration ADSL pour les services à haut débit

La figure « 1.6.16 » montre ce à quoi ressemblerait un réseau de large bande basé sur ADSL. Dans la version la plus simple de cette architecture, les clients requerraient essentiellement un modem ADSL. Ce périphérique aurait une prise ordinaire RJ11 pour le téléphone analogique dans le logement. Autres ports, peut-être 10BASE - T Ethernet, se connecteraient à un ensemble de télévision et PC pour une variété de services, tels qu'accès rapides à l'Internet ou vidéo sur demande. La fonction du filtre sépare le service téléphonique analogique des services numériques.

Dans l'office central de télécommunications (OC), le service analogique de voix passe au commutateur de voix par le biais d'un filtre. Les lignes locales ADSL se terminent maintenant dans un noeud d'accès ADSL au lieu d'aller directement au commutateur central. Le noeud d'accès est un multiplexeur d'accès DSL ou DSLAM.

La magistrale (bus système) du noeud d'accès possède des raccordements pour les unités de liaisons aux routeurs IP/TCP et aux commutateurs ATM.

Ces commutateurs et routeurs permettent aux utilisateurs d'accéder aux services de leur choix

1.6.3.8.1. Mode paquet TCP/IP de bout en bout

L'Internet et WEB semblent être les applications essentielles et privilégiées pour les connexions ADSL. Ces connexions peuvent fonctionner en mode paquet de bout en bout. Dans cette solution tous les services sont accessibles par le biais des protocoles TCP/IP.

Sur la figure « 1.6.17 » nous voyons une configuration ADSL conçue pour le portage des protocoles TCP/IP.

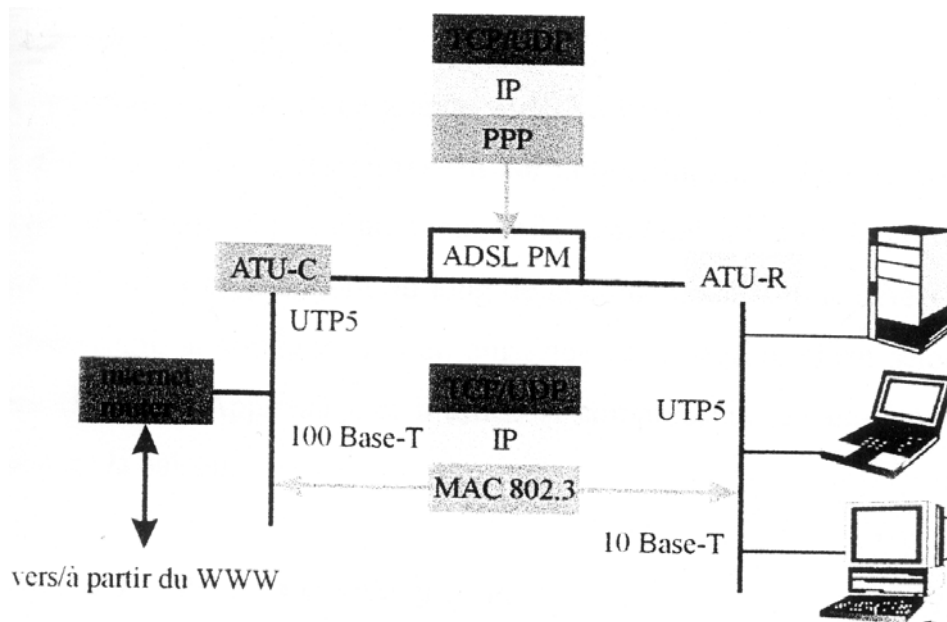


Figure 1.6.17 - Mode paquet TCP IP de bout en bout

1.6.3.8.2. Paquets IP et trames PPP

Chaque trame PPP débute et se termine par un fanion (0111 1110 ou 7E en hexadécimal). L'espace entre les trames PPP est donc rempli par les fanions.

Grâce à cette solution, un lien ADSL fonctionnant en mode CBR peut porter les rafales de trames PPP et des data-grammes IP.

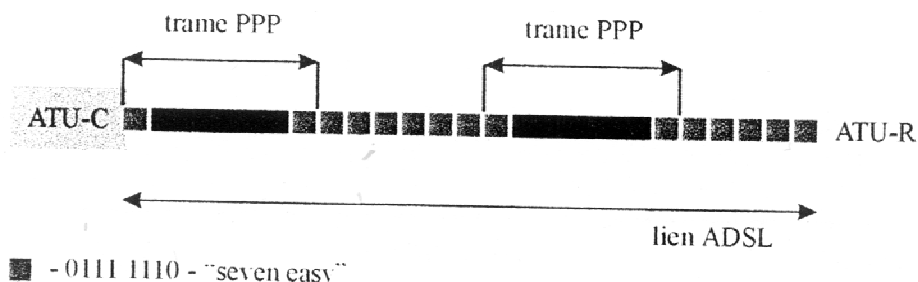


Figure 1.6.18 - Insertion des datagrammes IP dans les trames PPP sur un lien ADSL

1.6.3.8.3. PPP présentation Générale

C'est le point commun à tout système d'accès distant car c'est un standard reconnu par tous les systèmes d'accès distant. Il permet, entre autres, d'être authentifié lorsque l'on se connecte, puis de transporter les protocoles de communication réseau. C'est une méthode standard pour le transport de data-grammes multiprotocoles sur liaison simple point à point

autres que série, comme x25 ou RNIS, bidirectionnelle simultanée (Full Duplex), dédié ou commuté, et synchrone ou asynchrone

Pour un raccordement aisé d'une grande variété d'hôtes, de ponts et de routeurs, il permet aussi la gestion d'un contrôle d'accès au réseau par authentification selon le protocole PAP qui nécessite la donnée d'un mot de passe au début de la communication ou le protocole CHAP qui permet l'échange de sceaux cryptés tout au long de la communication, la détection et correction d'erreurs de transmission, la configuration automatique de la station client selon ses protocoles de couche réseau (IP, IPX, Appletalk), et il utilise la compression des en-têtes IP et TCP pour augmenter le débit de la liaison.

1.6.3.8.4. PPP et la couche physique

La seule condition absolue imposée par PPP est la fourniture d'un circuit bidirectionnelle simultanée (Full Duplex), ce circuit peut fonctionner en mode synchrone ou asynchrone.

PPP n'impose aucune restriction quant à la vitesse de transmission, et n'exige pas l'utilisation de signaux de commandes tel que :

- Détection du signal de ligne (109 - DCD)
- Prêt à émettre (106 - CTS)

L'initialisation de la couche physique suffit à placer l'automate LCP dans l'état de démarrage

1.6.3.8.5. Encapsulation

L'encapsulation PPP permet le multiplexage de data-grammes de protocoles différents.

Protocole 8/16 bits	Information	Bourrage
------------------------	-------------	----------

Figure 1.6.19- Paquet PPP

• Champ protocole

Identifie le data-gramme contenu dans le champ information 0... à 3... : Protocoles réseau ;

8... à b... : NCPs; c... à f... : LCPs.

Exemples : 0021> IP - 8021 > IPCP - C021> LCP

- **Champ information**

Il contient le data-gramme du protocole spécifié dans Protocole. Il peut y avoir des octets de bourrage. La longueur totale de ces deux champs est de 1500 octets par défaut.

1.6.3.9. Autres solutions ADSL

1.6.3.9.1. ADSL Lite

Les principales différences entre l'ADSL et PADS-Lite porte sur le spectre de Séquence avec une réduction de la bande passante de 1.1 MHz à 500 KHz pour le canal tendant, le nombre maximal de bit par symbole est ramené à 8 au lieu de 15 et la limitation du débit descendant à 1.5 Mbits/s. Ces modifications permettent de s'affranchir du filtre d'aiguillage et de réduire les coûts de raccordement, tout en conservant la portée de transmission de l'ADSL.

1.6.3.9.2. RADSL

Le RADSL (*Rate Adaptive DSL*) est une extension de la variante ADSL, capable d'adapter le débit du modem à des vitesses de replis lorsque la qualité de transmission de la ligne se détériore. La particularité de cette technique asymétrique est de mettre en œuvre des *mécanismes* de replis permettant l'adaptation du débit aux ratés physiques intervenue sur le canal.

1.6.4. Technologie HDSL: High bit rate Digital Subscriber Line

1.6.4.1. Présentation de la technologie HDSL

La technologie HDSL (*High bit rate DSL*) est une technique de transmission bidirectionnelle et symétrique, elle a été conçue pour des besoins professionnels comme le courrier électronique, le transfert des fichiers ou la vidéoconférence pour lesquelles la quantité de données émises et reçues est la même. Cette technique permet de fournir des accès TI (1.544 Mbit/s) ou EI (2.048 Mbit/s) sur 2 ou 3 paires de cuivre symétriques. TI est la transmission numérique aux USA et EI en Europe. Pour cette dernière deux possibilités mot offertes :

- Utiliser trois paires, chacune supportant un débit de 784 Kbit/s en full duplex, 2.352Mbit/s,

- Utiliser deux paires, chacune supportant un débit de 1.168 Mbit/s en full duplex, 2.336 Mbit/s.

La technique HDSL permet de tirer parti des caractéristiques de bande passante des paires de cuivre par l'usage de techniques de codage élaborées. Ces techniques sont utilisées en conjonction avec diverses techniques de filtrage, d'annulation d'échos ainsi que des codes correcteurs d'erreurs.

La technologie HDSL est basée sur un codage 2B1Q (codage utilisé par ISDN) sans répéteurs, sur trois paires torsadées transportant chacune 784 Kbit/s pour résoudre le problème des répéteurs du T1.

1.6.4.2. Configuration de HDSL

L'HDSL utilise deux ou trois paires, exception faite du HDSL2 qui n'en utilise qu'une seule. Du côté du client, la ligne est connectée à un HTU-R (*HDSL Termination Unit - Remote*). Celui-ci fait le lien entre l'équipement du client et la ligne. Du côté du central, la ligne est connectée à un HTU-C (*HDSL Termination Unit - Central*). Il faut encore noter qu'autant l'HDSL que PHDSL2 utilise des bandes passantes identiques pour l'upstream et le downstream (symétrique), ainsi qu'un débit fixe.

1.6.4.3. Codage 2B1Q

Le codage mis en oeuvre est essentiellement "2B1Q" (*2 binary, 1 quaternary*). Il permet d'optimiser l'annulation d'échos. L'avantage du 2B1Q est le fait qu'il est déjà utilisé sur le ISDN et qu'il est possible de réutiliser certains modules. Mais HDSL ne prévoit pas d'offrir en complément le service téléphonique entre 0 et 4 KHz ou la bande de fréquence nécessaire à l'accès de base du ISDN.

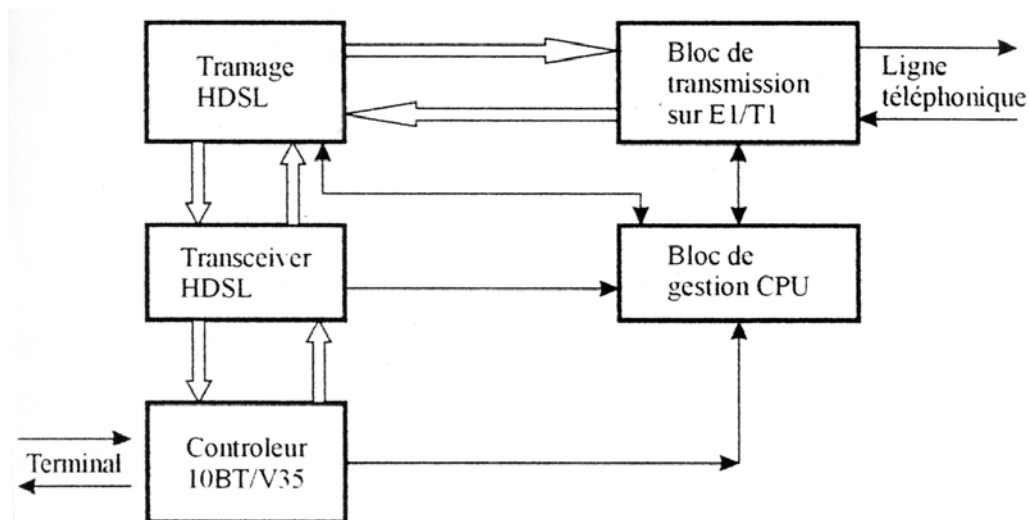
1.6.4.4. Principe mis en jeu dans les liaisons HDSL

Les modems HDSL sont des modems auto-adaptatifs. Avant tout envoi de données, le système HDSL entre dans une phase d'initialisation où les caractéristiques de la ligne sont mesurées.

A partir du signal émis, l'annulateur d'écho peut estimer à tout moment les différents échos créés par la boucle d'abonnés, et dès qu'il y a désadaptation d'impédance il apparaît un coefficient de réflexion.

Le système HDSL soustrait les échos calculés du signal effectivement reçu. Cette technique permet le duplex intégral.

Toujours à partir du signal émis en phase d'initialisation, le système HDSL met en place une technique d'égalisation adaptative. Cette égalisation a pour rôle de lutter contre l'interférence inter symbole qui résulte des distorsions de phase et d'amplitude. Enfin, le système HDSL compense les variations du niveau de bruits, par prédiction, en fonction d'échantillons de bruit précédents.



1.6.4.5. Schéma synoptique du modem HDSL

Figure 1.6.20 - Schéma synoptique du mode m HDSL

1.6.4.5.1. Tramage HDSL : Dans cette étape, on se charge de la mise en trame du flux d'informations reçu par le modem. En effet, on assure le découpage de ce flux en 31 fenêtres de débits 64 Kbits/s ainsi que leurs paramètres de contrôle.

Ce bloc permet aussi le contrôle de débit et l'allocation préférentielle des ressources.

1.6.4.5.2. Transceiver HDSL

C'est le bloc représentant l'émetteur/récepteur HDSL. A ce niveau on assure la mise en forme des signaux, c'est à dire, assurer le codage des signaux émis (sens abonné vers le réseau) et le décodage dans le sens inverse.

1.6.4.5.3. Transmission sur E1/T1

Le fonctionnement de ce bloc est basé sur le principe du convertisseur synchrone G703 E1-T1, qui est destiné aux raccordements des équipements synchrones sur des liaisons numériques de types G703 à 2.048 Mbits/s.

Les données sont transmises à un débit de 2,048 Mbits/s (EI) ou 1,544 Mbits/s (TI), sur des liaisons symétriques 2 paires d'impédances 120 ohms (EI) ou 100 ohms (TI) ou asymétriques via deux câbles coaxiaux d'impédances 75 ohms (EI).

Le convertisseur synchrone G703 comporte un ensemble d'interrupteurs et de voyants, en face avant, pour faciliter l'installation et la maintenance d'une application. Et il est le standard le plus utilisé pour des circuits numériques à haut débit définissant les interfaces physiques et électriques. Il a une structure de trame de 32*64 Kbits/s.

1.6.4.5.4. Contrôleur 10 BT

1.6.4.5.4.1. Le protocole Ethernet

Ethernet est actuellement le protocole le plus employé. Tous les constructeurs proposent une interface vers ce réseau. La taille maximale d'une trame est de 1518 octets (1500 octets de données, 14 octets d'entête et 4 octets de CRC) pour éviter qu'une station monopolise le canal.

1.6.4.5.4.2. Norme 802.3

La norme 802.3 est relative à des réseaux locaux pour lesquels les stations sont connectées à une structure en bus en utilisant la méthode CSMA/CD (*Carrier Sensé Multiple Access / Collision Détection*) ou accès multiple avec détection de porteuse, comme protocole d'accès.

Le support de communication peut être exploité en bande de base, sur un câble coaxial d'impédance caractéristique de 50 ohms, sur fibre optique ou sur paire de fil torsadée. Il peut également être du type large bande en utilisant un câble coaxial d'impédance caractéristique 75 ohms.

Les réseaux Ethernet se nomment 10Base2, 10Base5, 10BaseT...etc. Elles dépendent du débit utilisé, du mode de transmission, et du câblage utilisé. Le 10 Base T utilise la paire torsadée téléphonique comme support de transmission exploité en bande de base un débit de 10 Mb.

1.6.4.5.4.3. Format de la trame 802.3

Préambul	SOF	Adresse destinataire	Adresse	Long	Données	FCS
7 octets	1	6 octets	6 octets	2	46-1500	4

Figure 1.6.21 - Format de la trame 802.3

. **Préambule** : 7 octets contenant alternativement des zéros et des uns. Il précède la trame permet

à l'horloge du récepteur de se synchroniser sur l'horloge de l'émetteur. . **SOF (Start Of Frame délimiter)** : 1 octet contient une autre suite de bits qui est le délimiteur de trames.

- **Adresse destinataire (DA : Destination Address)** : Adresse du destinataire, le premier bit indique s'il s'agit d'une adresse individuelle ou d'une adresse de groupe de stations.
- **Adresse source (SA, Source Address)** : Adresse de l'émetteur, le but étant d'identifier la station ayant généré la trame circulant sur le réseau.
- **Long** : 2 octets contenant la longueur du champ des données.
- **Données** : Donne le nombre d'octets de données du champ suivant.
- **FCS (Frame Check Séquence)** : Champs de vérification, il permet la détection d'erreurs.

1.6.4.5.4.4. Méthode d'accès CSMA/CD

Cette méthode d'accès est dite aléatoire ou également non déterministe ou les stations peuvent émettre à tout instant. Elle ne permet pas de garantir un délai d'attente maximum avant retransmission. Après avoir vérifié que le bus est libre, la station qui souhaite émettre envoie un message tout en vérifiant qu'elle est bien seule à émettre. En effet, deux stations peuvent prendre en même temps l'initiative d'émettre : Leurs messages sont corrompus et une condition de collision est détectée. Chaque station émet alors un signal particulier dit de brouillage, de façon que toutes les stations actives reconnaissent l'état de collision. L'émission d'une trame par une station ne doit pas se terminer éventuelle détection de collision.

1.6.4.5.5. Le bloc de gestion (CPU)

Ce bloc a pour rôle de gérer tous les types des fonctions intelligentes au sein du modem HDLSL. Il est basé sur une micro contrôleur et il possède des liaisons avec tous les autres blocs constituant notre modem.

1.6.4.6. Autre solution HDSL

Le HDSL-2, comme le HDSL est un service bidirectionnel et symétrique au débit T1 ou E1. HDSL-2 a l'avantage de fonctionner sur une seule paire de cuivre. Son code en ligne à modulation d'amplitude PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) qui réduit les interférences avec les autres services xDSL. Il offre une meilleure immunité au bruit et une correction d'erreurs intégrée.

1.6.5. Technologie VDSL

1.6.5.1. Principe du VDSL

VDSL transmet des données à grande vitesse sur des lignes téléphoniques de cuivre torsadées, avec un débit dépendant de la longueur de ligne réelle.

Les cadences descendantes dérivent des sous-multiples de la vitesse canonique de SONET et de CSAD de 155,52 Mbps, à savoir 51,84 Mbps, 25,92 Mbps et 12,96 Mbps. La contrainte de la portée restreinte considérablement le nombre d'abonnés pouvant être raccordé directement via le réseau de distribution. Elle trouve essentiellement son intérêt sur des prolongements ou des renvois numériques à hauts débits.

<i>Débit</i>	<i>Distance</i>
12.96- 13. 8 Mbps	1500 mètres
2 5. 92 -2 7.6 Mbps	1000 mètres
51.84-55.2 Mbps	300 mètres

Tableau 1.6.22 - Cadence de transmission en fonction de la distance

La connexion locale au réseau dorsal haut débit est réalisée par fibre optique. L'opérateur fournit des points d'accès de voisinage, FTTC (*Fiber To The Curb*) desservant un quartier ou une zone d'affaires et des points d'accès immeuble, FTTB (*Fiber To The Basement*) desservant l'ensemble des appartements ou bureaux.

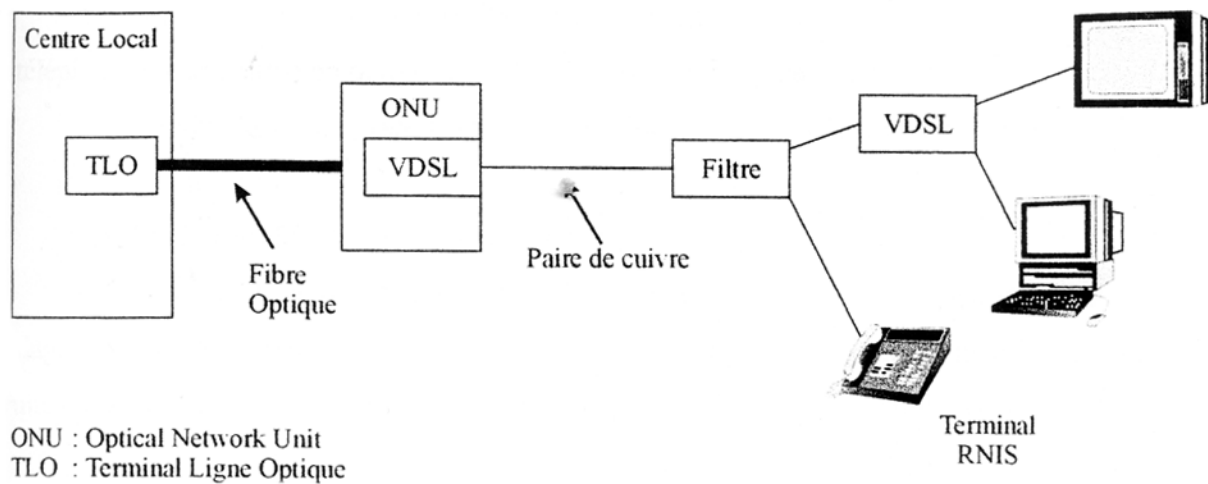


Figure 1.6.23 - Schéma du principe VDSL

1.6.5.2. Codage VDSL

Pour les systèmes VDSL, plusieurs principes de codage sont en cours d'étude. Les codages CAP et DMT sont de nouveau en compétition. Une version modifiée du DMT, le DWMT (*Discrete Wavelet Multi Tone*) est également envisagée.

En réception, le codage DMT utilise la transformée de fourrier discrète pour décoder les différents canaux. Par contre, le codage DWMT s'appuie sur la transformée en onde lette qui assure une meilleure répartition de l'énergie et réduit considérablement les harmoniques.

Ce nouveau principe permet donc de réduire les interférences inter-canaux que l'on rencontre en réception en DMT.

1.6.5.3. Normalisation

La normalisation est très peu avancée sur cette technologie. L'ETSI TC TM6 étudie deux normes :

- Spécifications des systèmes de transmission VDSL TS 101 270 réf : RTS/TM-06003,
- Interfaces optiques et ATM pour les systèmes VDSL TS 101 272 réf: DTS/TM 03024.

En octobre 1998, L'ANSI T1E1.4 a lancé une étude pour spécifier le standard VDSL.

1.6.5.4. Séparation des canaux

Les premières versions de VDSL utiliseront le multiplexage en fréquence pour séparer les canaux descendants et les deux ascendants des POTS et de l'RNIS.

L'annulation d'écho peut être exigée pour les systèmes de générations postérieures comportant des débits symétriques.

Une distance plutôt substantielle, dans la fréquence, sera mise entre le canal plus bas et la téléphonie pour mettre en oeuvre des séparateurs très simples et rentables.

La pratique normale place le canal descendant au-dessus du canal ascendant.

1.6.5.5. Contrôle d'erreur vers l'avant

Le contrôle d'erreur vers l'avant (FEC : *forward error control*) utilise une forme du codage de Reed Solomon et de l'entrelacement facultatif pour corriger les erreurs causées par les bruits d'impulsion. La structure sera très semblable à ADSL comme définie dans T1.413.

1.6.5.6. Multiplexage ascendant

Si l'unité VDSL comporte la terminaison (un NT actif), alors les moyens de multiplexer les cellules ascendantes ou les canaux de données de plus d'un CPE dans un ascendant simple deviennent la responsabilité du réseau local.

L'unité VDSL présente simplement des jets de données brutes dans les deux directions.

Ce type de réseau implique une étoile reliant chaque CPE à un commutateur ou un multiplexeur servant de pivot; un tel pivot peut être intégré à l'unité VDSL.

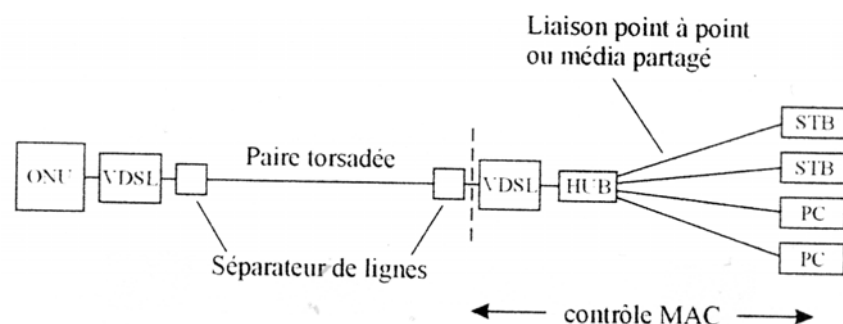


Figure 1.6.24 - Terminaison de réseau Active

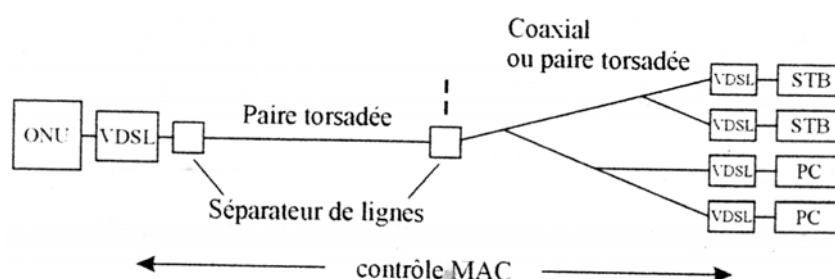


Figure 1.6.25 - Terminaison de réseau Passive

Dans une configuration passive, chaque équipement a une unité VDSL associée.

Maintenant les canaux ascendants pour chaque CPE doivent partager un fil commun. Tandis qu'un système de détection de collision pourrait être utilisé, le désir d'une garantie bande passante indique deux solutions.

L'une requiert un protocole d'accès à la cellule dans lequel les trames produites par l'ONU descendent ou proviennent du haut du réseau contenant quelques bits qui accordent l'accès à CPE spécifique pendant une période indiquée ultérieure à la réception d'une trame.

Un CPE accordé peut envoyer une cellule ascendante pendant cette période. L'émetteur dans le CPE doit s'allumer, envoyer un préambule pour conditionner le récepteur d'ONU, envoyer la cellule, pour s'arrêter alors.

Le protocole doit insérer assez de silence pour laisser sonnerie clairement. Une réalisation de ce protocole utilise 77 octets pour transmettre une cellule de 53 octets.

Une deuxième méthode divise le canal ascendant en bandes de fréquence et assigne une bande à chaque CPE.

Cette méthode a l'avantage d'éviter n'importe quel MAC (*Média Access Contrai*) avec son temps système associé (bien qu'un multiplexeur doive être construit dans l'ONU), mais limite le débit disponible à n'importe quel CPE ou impose un multiplexage dynamique inverse qui laisse un CPE envoyer plus que sa part pendant une période.

1.6.5.7. VDSL : débits et modes de transport

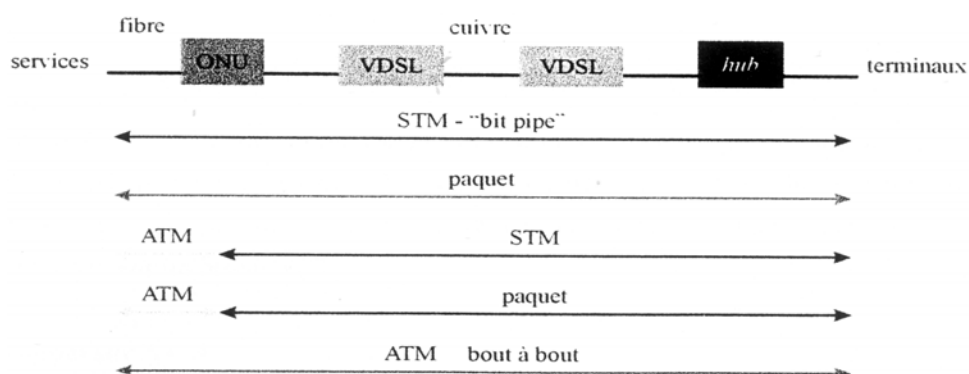


Figure 1.6.26 - VDSL : débits et modes de transport

1.7. Synthèses des technologies xDSL

Technologie xDSL	Mode de Transmissi	Débit Mbits/s	Mode de fonctionnement canal	Codage	Mode de séparations des
V22 V32 V34	Symétrique	0.00 12 à 0.028 et même	Duplex		
IDSL	Symétrique	0.144	Duplex	2B1Q	
HDSL	Symétrique	1.544 2.048	Duplex sur 1 ou 2 ou 3	CAP 2B1Q	Annulation d'écho
SDSL	Symétrique	0.1 28 à 2	Duplex	CAP 2B1Q	Annulation d'écho
RADSL	Asymétrique	0.6 à 7 0.1 28 à 1.024	Descendant Montant	CAP	FDM
ADSL	Asymétrique	1.5 à 9 0.0 16 à 0.640	Descendant Montant	CAP DMT	FDM. Annulation d'écho
VDSL	Asymétrique	13 à 52 1.544 à 2. 3	Descendant Montant	CAP DMT DWMT SLIC	FDM

Tableau 1.7.1 - Synthèse des technologies xDSL

1.8. xDSL face à la solution ATM

1.8.1. Introduction

Les technologies xDSL apparaissent comme un très bon moyen pour permettre un accès rapide et peu coûteux depuis les foyers des abonnés ou bureaux de travail jusqu'aux DSLAM.

A cet effet, pour accéder aux services de très hauts débits il faut passer par le Backbone qui est généralement un réseau ATM.

1.8.2. Rappel sur ATM

ATM est la contraction d'Asynchrone us Transfer Mode : mode de transfert asynchrone. Le terme asynchrone qualifie le mode de transfert des informations par opposition au RTC

(Réseau Téléphonique Commuté) ou RNIS (Réseau Numérique à intégration de Services) qui sont des réseaux synchrones.

En d'autres termes, cela signifie que dans un réseau ATM, la source et la destination n'est pas synchronisée.

Concrètement, cela implique qu'en l'absence de trafic, il n'y a pas de données de synchronisation qui sont véhiculées sur le réseau. Cette technologie permet le transport et l'échange de données générées par des applications multimédia ou d'équipement tels que le téléphone, les ordinateurs, les caméras vidéo, etc.

ATM est une technologie LAN, MAN, WAN.

1.8.3. Caractéristiques d'ATM

Les caractéristiques de l'ATM sont :

- Technologie de commutation basée sur des cellules.
- Cellules de 53 octets (48 octets de données et 5 octets d'en-tête) : compromis entre 32 octets (européens) et 64 octets (américains).
- Aucun contrôle d'erreurs mis à part un contrôle rudimentaire sur l'en-tête.
- Technologie orientée connexion opposée à Ethernet et Token Ring qui eux ne sont pas orientés connexion.
- Permet de faire le lien entre un réseau orienté et non orienté connexion en utilisant certains mécanismes.
- Prise en compte de la qualité de service au niveau des négociations (notion de contrat entre l'utilisateur et le réseau visant à obtenir une certaine qualité de service).

1.8.4. Intérêts d'ATM

Les intérêts d'ATM sont :

- Technologie pour voix, données, images.
- Support d'une large gamme de débits (du Mbit/s au Gbit/s).
- Technologie sans limite géographique (LAN, MAN, WAN).
- Processus de normalisation unique (ATM Forum).
- Bande minimale garantie à chaque connexion.
- ATM supporte différentes qualités de services aptes à satisfaire au mieux les besoins du trafic d'application de toute nature (notion de multiservice et multimédia).

- le multiplexage statistique d'ATM permet un partage optimal de la bande passante qui est alloué à la demande.
- La tarification de l'usage d'une infrastructure ATM peut être basée sur le trafic effectif.
- La notion de connexion virtuelle permet d'assurer une certaine qualité de service de bout en bout.
- Technologie en mode connecté : les données ne sont acheminées dans le réseau qu'après établissement d'une voie virtuelle (VCC : *Virtual Channel Connection*), ce circuit peut être établi de façon soit bidirectionnel (un mode point à point (unicast)) soit unidirectionnel (un mode point à multipoint).

Il existe deux types de circuits virtuels : l'un permanent, l'autre commuté :

Les **PVC** (*Permanent Virtual Circuit*) sont établis pour des connexions de longue durée par l'administrateur du réseau (procédure non normalisée). Les paramètres de la connexion sont déterminés lors de l'établissement de celle-ci selon les caractéristiques du contrat de service souscrit.

Les **SVC** (*Switched Virtual Circuit*) sont établis à la demande (appel par appel) et sont libérés explicitement après utilisation. La qualité du service est négociée à chaque connexion, ce dernier SVC est toujours bidirectionnel.

Bien que ce soit une technologie orientée connexion, l'ATM peut toutefois émuler un mode de fonctionnement non connecté.

1.8.5. Inconvénients d'ATM

Les inconvénients d'ATM sont :

- Le temps d'établissement d'une connexion (SVC) peut être prohibitif pour un flux de donnée de faible volume (notion de durée).
- Les applications doivent connaître à l'avance leur besoin en qualité de service.
- ATM ne supporte pas les connexions multicast à multicast.
- Très peu d'applications peuvent s'exécuter directement sur ATM et tirer pleinement parti de ses potentialités; les API ATM commencent seulement à émerger, de plus les applications TCP/IP doivent être modifiées pour pouvoir tourner sur ATM et exploiter judicieusement les ressources.
- ATM n'intègre pas les services de sécurité, ceux-ci devant être assurés par les applications.
- La taille de l'en-tête est importante vis-à-vis de la charge utile (overhead d'environ 20 %), une cellule ATM se compose d'un en-tête de 5 octets et d'une charge utile de 48 octets.

1.9. Multiservices et ATM

Les différents services qui s'offrent à l'abonné sont principalement:

- Architecture IP/LAN tels que les accès Internet ou réseaux locaux (LAN) à distance.
- Architecture Frame Relay.
- Architecture Nx64kbps.
- Architecture ATM.

Nous verrons comment cette infrastructure permet l'accès aux différents réseaux pour délivrer cette multitude de services, cas de l'ATM.

1.9.1. Architecture utilisant le mode ATM

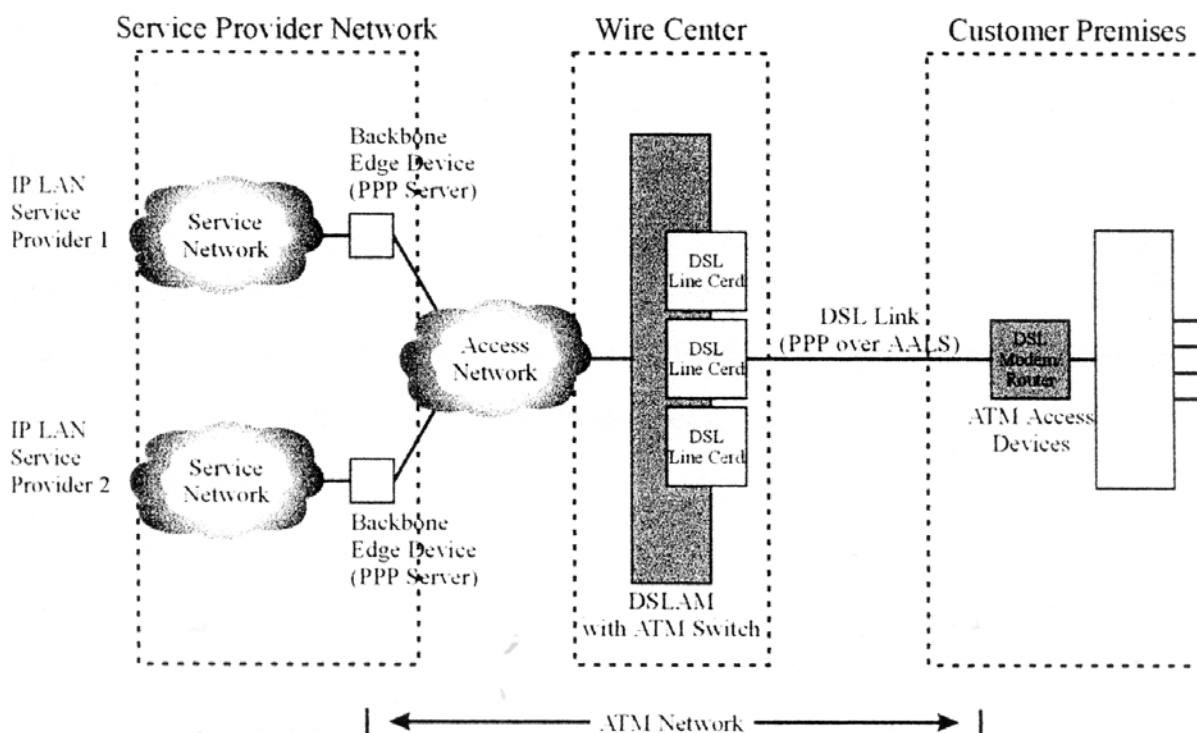


Figure 1.9.1 - Architecture du mode ATM

Basé sur la structure ATM, le transport de service ATM semble être l'un des plus convoités.

On peut noter les avantages de cette architecture :

- Une structure niveau 2 (ATM) est utilisée dans le réseau d'accès, supprimant le besoin de routeurs. Cette structure peut servir de support à de futures applications multimédia basées sur ATM, tel que le MPEG vidéo. ATM promet d'être un véritable support de qualité du service.

- Les mécanismes d'authentification et de sécurité sont bien connus avec l'utilisation du protocole point à point.

Néanmoins il en ressort quelques inconvénients :

- PPP a été conçu pour supporter une liaison entre une simple station de travail et un réseau à connexion automatique.
- L'utilisation de PPP pour connecter un LAN (ou bien même une simple station de travail connectée à Ethernet) au réseau principal devient problématique.
- Les protocoles mentionnés (PPP adapté à la couche niveau 5) n'en sont qu'aux prémices de leur développement.
- PPP nécessite une puissance CPU élevée, et un circuit virtuel d'accès permanent est nécessaire.

1.9.2. ATM : ce qui nous intéresse pour l'ADSL et VDSL

ATM possède un support de qualité de services pour les transferts de voix, vidéo et données. Il est implantable sur les réseaux WAN et LAN.

Des applications de vidéo à la demande (VOD) se développent grâce aux technologies ADSL et VDSL. Cette dernière, étant une liaison PPP (de point à point), permet le déploiement d'ATM jusque chez l'abonné.

Cette technique de commutation associée au B-ISDN (B pour broadband) nous permet de connecter des services à débits importants de données, téléphone, vidéo, vidéoconférence, ce à des vitesses de 155 Mbit/s, 622 Mbit/s et 2.4 Gbit/s et par conséquent, un moyen de transmettre et d'aiguiller à ces vitesses.

1.10. Architecture d'un point d'accès - multiplexeur - DSLAM

Le nœud d'accès - DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) est un élément central dans l'architecture xDSL. Tous les trafics entre les utilisateurs (abonnés) et les serveurs passent par le DSLAM. Un DSLAM est situé typiquement dans le même endroit que le nœud d'accès de la boucle locale. Sinon le DSLAM peut être logé dans un local indépendant proche, et connecté par un lien court à haut débit (e.g. 155 Mbit/s).

Pour des raisons d'efficacité, le simple mode de fonctionnement en multiplexage temporel est remplacé par le fonctionnement en mode paquet avec le multiplexage statistique. Plusieurs équipements DSLAM contiennent les ports Ethernet 10Base-T ou 10

DSLAM peuvent être connectés par le biais d'un réseau local à un hub ou à un routeur . une autre solution consiste à intégrer le routeur directement dans le **DSLAM**

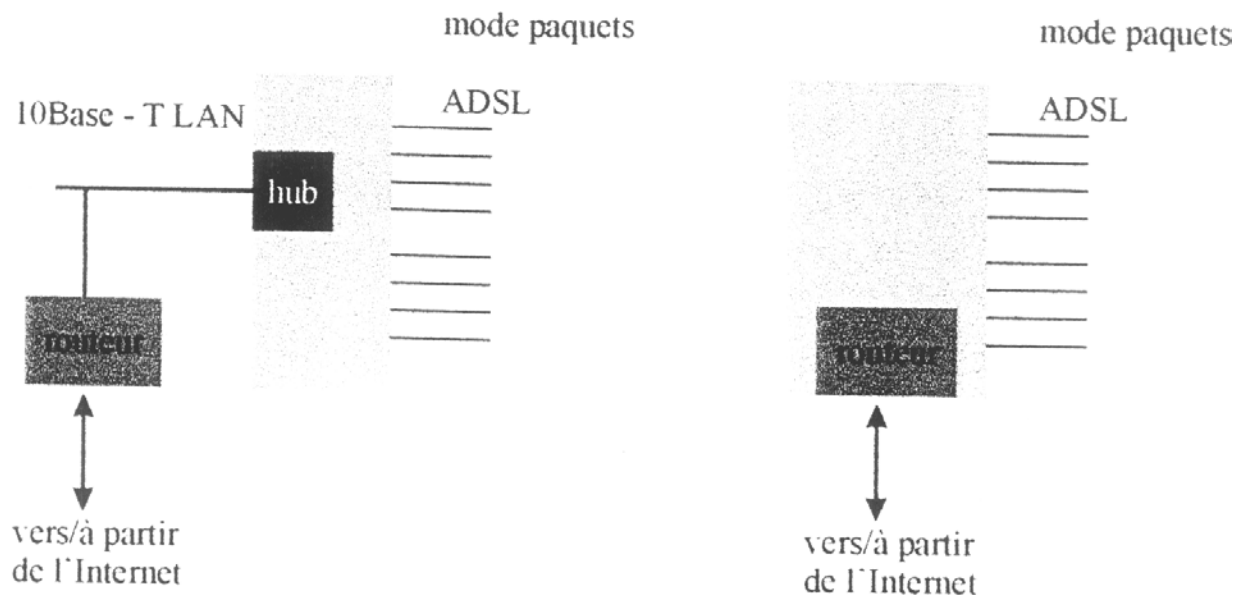


Figure 1.10.1 - DSLAM avec un routeur internet externe et interne

1.11. Conclusion

La technologie xDSL est une bonne solution, mais elle n'offre malheureusement pas toujours une liaison d'une qualité irréprochable. En effet, une ligne en xDSL est par définition constituée d'une ou deux paires de fils de cuivre; elle est donc influencée par des éléments externes et par la longueur et la résistance ohmique de la liaison considérée. Sa qualité peut varier dans le temps.

Malgré cette limitation, les technologies xDSL sont adaptées aux besoins en communications multimédia employant une large bande passante : Accès à Internet à haute vitesse, services on line, vidéo sur demande, distribution de signaux vidéo, jeux interactifs, ainsi que la transmission de la voix entre les PME (*petites et moyennes entreprises*).

L'investissement considérable engagé dans la recherche des solutions technologiques dans ce domaine montre que ces technologies xDSL représentent une solution performante et non coûteuse.

Chapitre 2

LE RESEAU DE DISTRIBUTION EN FIBRE OPTIQUE

2.1. Introduction

Un réseau à fibres optiques permet les communications en plus de deux points, il comprend des nœuds et des mailles reliant ceux-ci, et composants optiques tels que : fibre optique et connectiques, multiplexeurs / démultiplexeurs coupleurs, émetteurs / récepteurs optiques, isolateurs, amplificateurs optiques, commutateurs optiques, et il est caractérisé par sa topologie, son nombre de nœuds, et le nombre de mailles qui le constituent.

2.2. Application de la fibre optique en télécommunications

L'introduction des fibres optiques dans les réseaux de distribution a commencé à la fin des années 80 avec :

- L'extension très importante de la numérisation.
- La diminution du coût de la fibre optique et des composants optoélectroniques.
- L'accroissement énorme des besoins multiservices.

Ils supplantent aujourd'hui les systèmes classiques de transmission urbaine et interurbaine des réseaux (réseaux locaux et réseaux d'accès).

- Réseaux urbains.
- Réseaux interurbains.
- Réseaux nationaux.
- Réseaux internationaux : Terrestre à grandes distances et sous-marins.
- Réseaux locaux : A faible bande (téléphonie, données etc...).
- Réseaux locaux : A large bande (télévision, multimédias, etc...).
- Réseaux d'accès.

2.3. Réseaux à fibres optiques

On distingue deux structures de réseaux :

- Réseaux de structure linéaire avec des mailles en ligne.
- Réseaux de structure plane, dont les mailles couvrent une zone.

Lors de la conception d'un réseau, la configuration optimale dépend des critères techniques telles que la sécurité de fonctionnement du réseau, l'affaiblissement et la dispersion moyenne des fibres, et les pertes d'insertion des composants optiques.

2.4. Exemples de réseau de raccordement par fibre optique

F

2.4.1.. Réseau maillé

Dans un réseau maillé toutes les extrémités sont reliées deux à deux par une ligne individuelle. Cette configuration peut être réalisable pour l'interconnexion des centraux téléphoniques, quant aux réseaux d'accès, cette configuration ne présente pas d'intérêt.

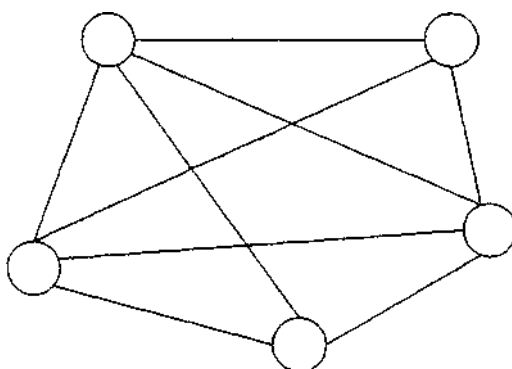


Figure2.4.1 - Schéma d'un réseau maillé

2.4.2. Réseau en anneau

Tous les nœuds sont branchés sur une seule et même boucle, à la façon des perles d'un collier.

Toutes les informations introduites dans le réseau par un abonné passent par tous les nœuds. Pour se faire, on utilise un système à multiplexage par répartition dans le temps associé au moyen de transmission entre tous les nœuds.

Chaque nœud extrait du réseau les informations destinées à ses abonnés.

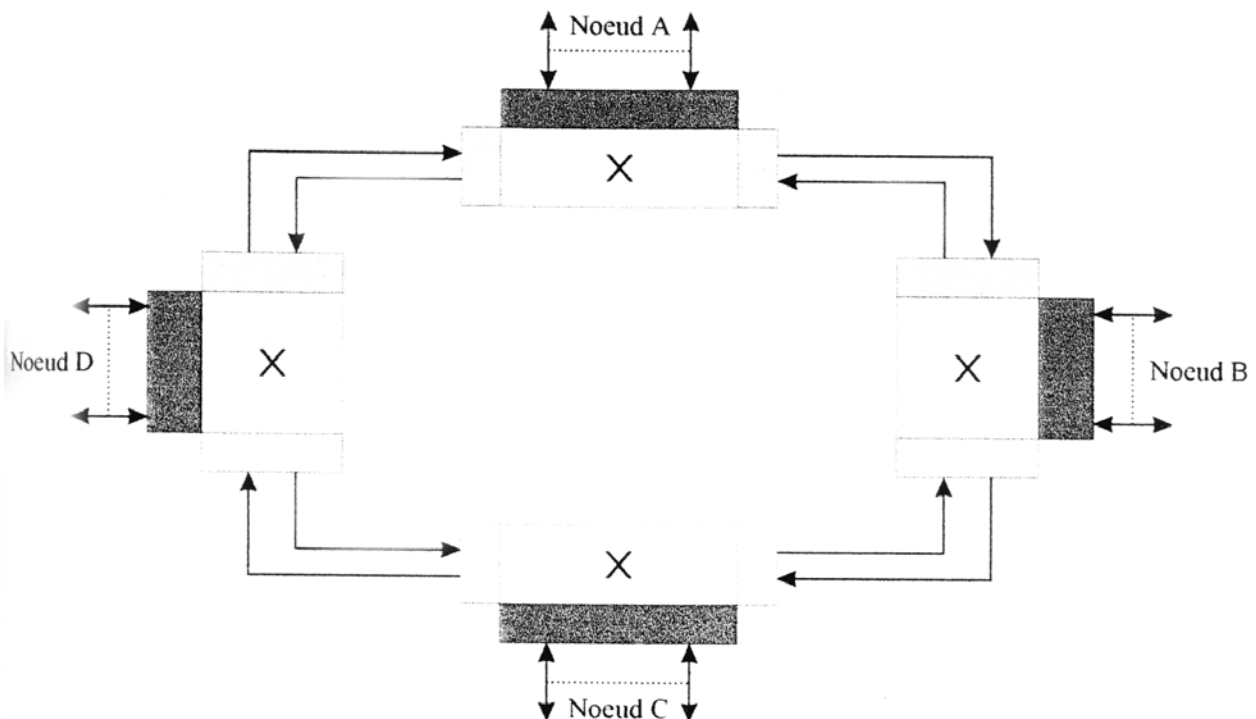


Figure 2.4.2 - Schéma synoptique d'une liaison en anneau

2.4.3. Réseau arborescent

Ce genre de réseau est utilisé pour la distribution de données à partir d'une source d'information unique vers plusieurs. Certains réseaux de distribution de type CATV (*Common Antenna TeleVision*) sont de ce type.

En choisissant le taux de couplage des coupleurs, on peut équilibrer le réseau tout en s'arrangeant pour avoir approximativement la même puissance sur chaque récepteur.

L'inconvénient de cette configuration c'est que lors de la coupure d'une liaison, les nœuds en arrière seront isolés du reste du réseau. Par ailleurs cette configuration est non sécurisée.

Ce type de réseau n'est pas donc la solution recherchée.

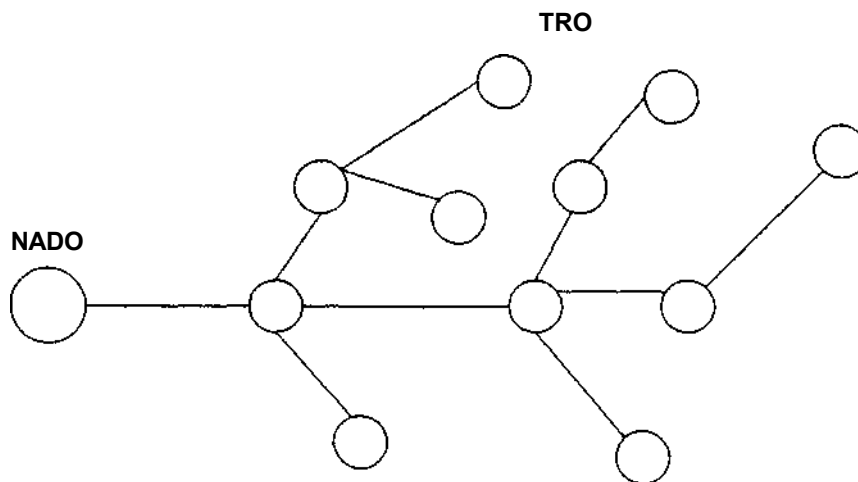


Figure 2.4.3 - Schéma d'un réseau arborescent

2.4.4. Réseau en étoile

Le réseau en étoile représente les avantages et inconvénients suivants :

- Chaque abonné est relié au central téléphonique par une ligne particulière.
- Utilise beaucoup plus de câble que les autres réseaux.
- Fiabilité et disponibilité dépendant du central téléphonique.
- Largeur de bande est faible car elle dépend uniquement de celle dont l'abonné a besoin et non pas de la somme des largeurs de bandes des signaux transmis par tous les abonnés.
- Il suffit d'une ligne pour les deux sens de transmission sans aucun équipement de multiplexage.
- Seuls les abonnés dont la ligne est affectée est en défaillance.
- Extensible.
- Les équipements d'abonnés moins complexes et moins chers, car ils n'ont pas besoin d'organes de commandes, de commutation, ni de surveillance.

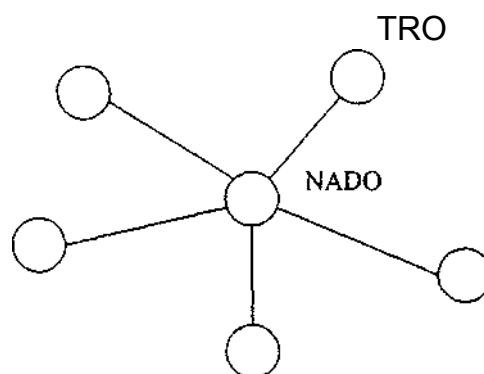


Figure 2.4.4 - Schéma d'un réseau en étoile

2.5. Architecture du réseau de distribution en fibre optique

Pour faire face à la demande croissante de services à large bande, il va falloir introduire des technologies optiques dans les réseaux d'accès.

Les réseaux d'accès doivent être mis à niveau pour fournir des services à large bande.

2.5.1. Organisation

Le modèle de réseau d'accès large bande normalisé à l'ETSI et à l'UIT, et retenue par la majorité des opérateurs de télécommunications est le suivant :

La figure « 2.5.1 » représente le synoptique d'un réseau de distribution optique capable d'acheminer jusqu'à l'abonné des signaux provenant de divers réseaux (réseaux téléphoniques encore appelés réseaux commutés, réseaux spécialisés, réseaux de vidéo-distribution, serveur de vidéo à la demande).

Ce réseau universel, capable de distribuer plusieurs services représente un objectif vers lequel on évolue, et il doit :

- Offrir une architecture adaptée au type de zones et d'habitats desservis. Il sera par exemple très différent selon qu'il dessert des abonnés professionnels ou résidentiels, des zones urbaines ou des zones rurales à habitats dispersés.

- Transporter les débits associés aux différents types de services. On peut distinguer trois grandes catégories de services qui vont déterminer des architectures de réseau de distribution différentes :

- Les services à bas débit (ou à bandes étroites) moins de 2 Mbit/s.
- Les vidéocommunications.
- Les services à haut débit (155 Mbit/s chez l'abonné).

- Réaliser le raccordement aux différents réseaux fournisseurs de services.
- Disposer d'un système de gestion performant permettant de garantir une bonne disponibilité et une bonne qualité de service aux abonnés. Le réseau de distribution est constitué par :

- Les équipements actifs : Ils assurent des fonctions de transmission, de multiplexage, de brassage, de concentration, de gestion et d'alimentation en énergie pouvant être localisée sur les sites de commutation, chez l'utilisateur ou en un point intermédiaire (chambre ou armoire, local technique d'immeuble...). La liaison entre l'autocommutateur et l'abonné comporte en particulier la terminaison des lignes optiques

(TLO) dans l'autocommutateur et la terminaison de réseau optique (TRO) à l'autre extrémité. Chaque TRO est lui-même relié à plusieurs terminaux.

- Les équipements de partage entre le nœud de distribution optique (NADO) et le TRO sont :

- SRO (*Sous Répartiteur Optique*) permet de connecter l'un quelconque des TLO à une quelconque des fibres de sortie.

- PEED (*Point d'Epissurage et d'Eclatement*) où un câble éclate en plusieurs câbles plus petits. Dans certaine architecture de réseau, des coupleurs optiques peuvent être placés en ces points.

- Les infrastructures : Elles sont composées de conduites, de câbles, de chambres ou d'armoires pour la localisation de certains équipements actifs, des points d'éclatements de câble et d'éléments passifs (coupleurs, épissurages, connectiques...).

Selon la localisation de la terminaison de réseau optique, différentes configurations sont envisageables, elles sont désignées par des sigles anglo-américains composés de quatre lettres dont les trois premières **FTT** signifient « *Fiber To The* » et le quatrième précise la destination

B comme *Building*

C comme *curb*

H comme *Homme*

N comme *Node*

O comme *Office*

Les deux architectures les plus courantes sont les architectures point à multi-points et point à point.

Le partage de la fibre entre plusieurs clients permet de diminuer le coût du raccordement optique quand les débits demandés à l'accès n'excèdent pas quelques dizaines de mégabits par seconde. Une fibre issue du NADO peut être ainsi partagée pour alimenter jusqu'à 32 TRO [1].

La terminaison TRO est placée chez le client (FTTH) ou en pied d'immeuble (FTTB) ou co-localisée avec le point de concentration situé à quelques centaines de mètres de client (FTTC). Côté réseau le nœud d'accès de distribution optique (NADO) regroupe les terminaisons de ligne optique, les fonctions de brassage, de concentration, de contrôle et de maintenance du système d'accès. Ce NADO permet enfin la connexion vers le réseau de gestion.

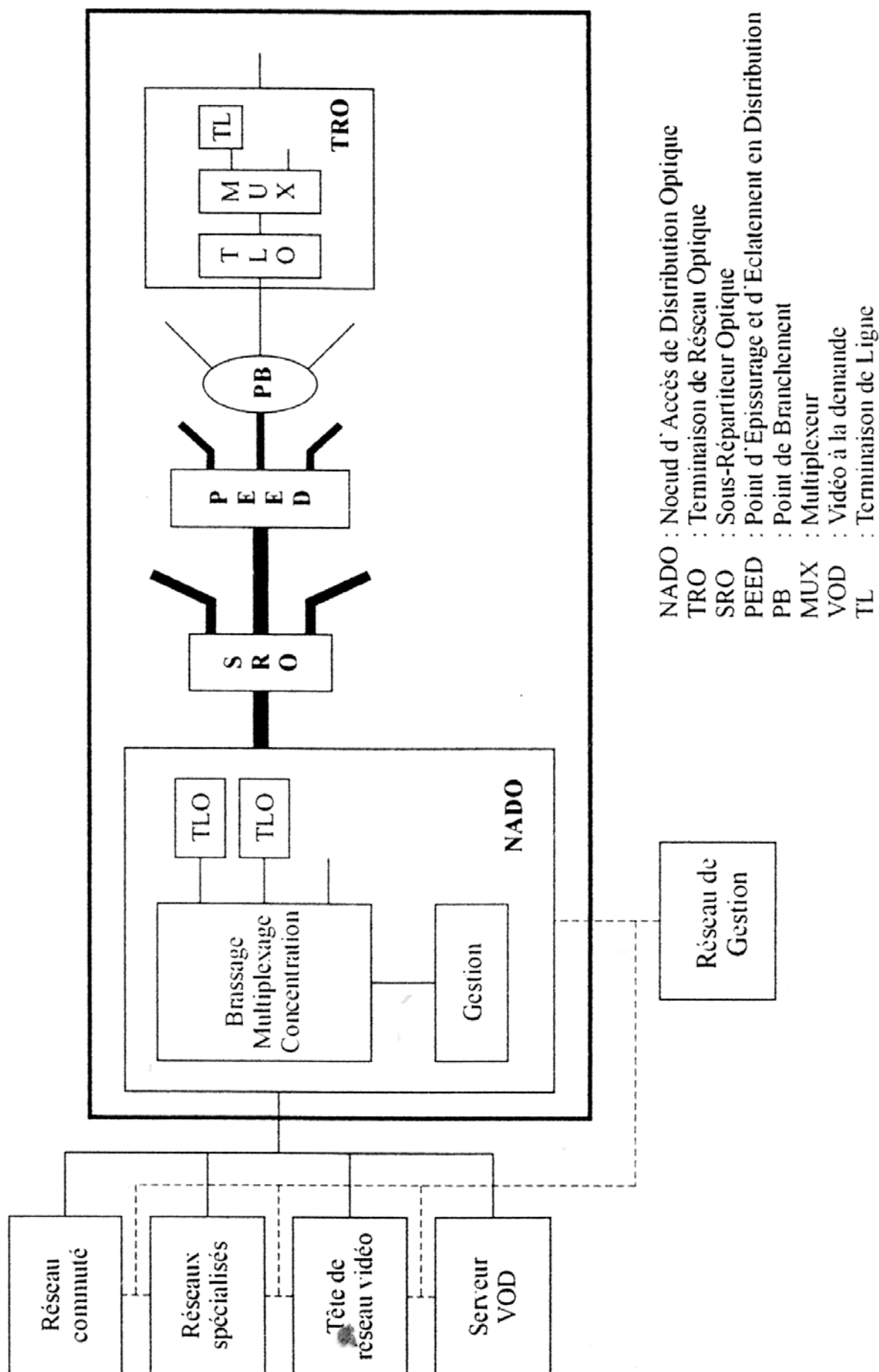


Figure 2.5.1 - Réseau de distribution optique

2.6. Différentes configurations du RDFO

2.6.1. FTTN (Fiber To The Node)

Cette configuration amène la fibre jusqu'à l'entrée d'une zone de sous répartition, voire répartition nécessite de disposer d'un bâtiment pour abriter la terminaison de réseau optique (TRO).

Elle permet un partage intéressant du point de vue économique des équipements NADO et TRO, et la réutilisation du réseau terminal en cuivre.

Elle nécessite cependant pour les services à haut débit la mise en place de systèmes de raccordements actifs entre la TRO et les usagers, et interdit la terminaison radio.

2.6.2. FTTC (Fiber To The Curb)

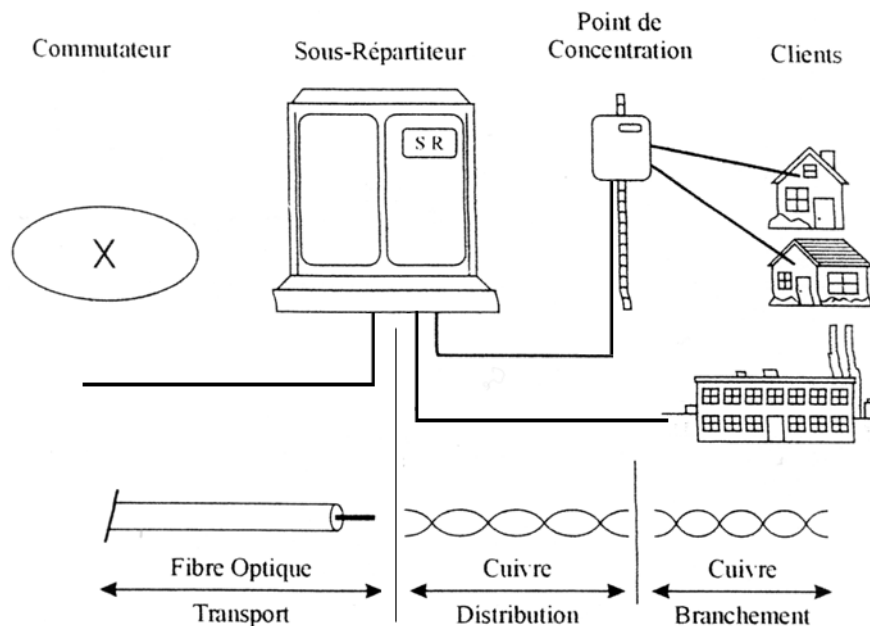


Figure 2.6.1 - Fiber to the curb

La configuration FTTC présente l'avantage de permettre la réutilisation de la chevelure terminale en cuivre et de partager le système de transmission optique entre plusieurs abonnés ce qui le rend économiquement compétitif pour la desserte de clients résidentiels ou petits professionnels.

Cette configuration a cependant l'inconvénient de nécessiter l'implantation de borne ce qui pose des problèmes d'environnement climatique et électromagnétique, de sectorisation (possibilité d'effraction, de chocs), d'esthétique.

Il faut également alimenter ces bornes à partir d'une source d'énergie locale ou par télé alimentation à partir du réseau ou de l'installation de l'utilisateur.

La réutilisation de la chevelure terminale en cuivre présente par ailleurs, l'inconvénient de limiter les évolutions ultérieures en terme de débit des services fournis à l'utilisateur.

2.6.3. FTTH (Fiber To The Home)

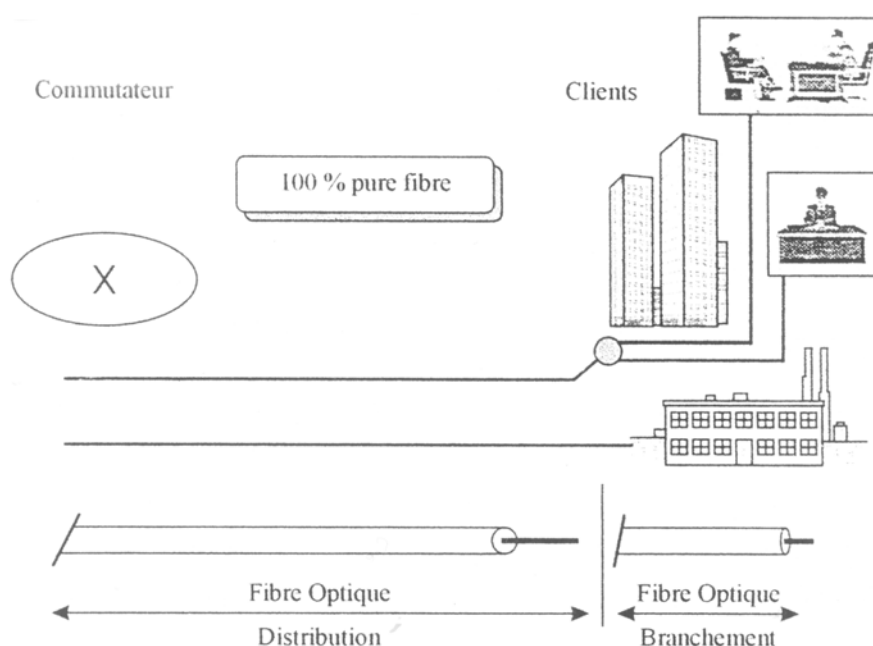


Figure 2.6.2 - Fiber ta thé home

La configuration FTTH présente l'avantage de ne pas nécessiter l'introduction d'équipements actifs dans le réseau et évite en cela les inconvénients des solutions FTTC et FTTN, le fait d'amener la fibre optique jusqu'à l'abonné permet par ailleurs de disposer de bout en bout d'un support de transmission dont les caractéristiques autorisent une large évolution en terme de débit et de service.

C'est donc la solution idéale du point de vue technique mais son inconvénient est d'être chère aujourd'hui, en particulier si la fibre optique n'est pas partagée entre plusieurs utilisateurs.

Il faut également multiplier et disperser les alimentations sécurisées.

La pénétration de la fibre chez l'utilisateur peut par ailleurs se heurter à certaines contraintes en particulier dans les immeubles anciens.

2.6.4. FTTB (Fiber To The Building)

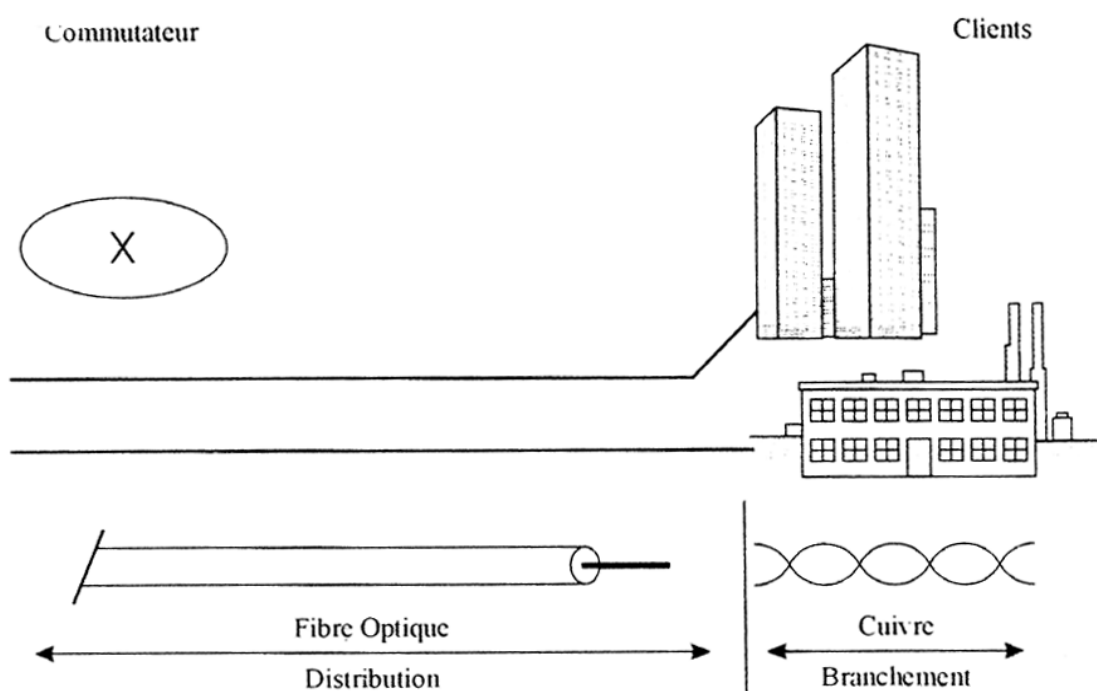


Figure 2.6.3 - Fiber ta thé building

La configuration FTTB se situe en terme d'avantage et d'inconvénient entre les configurations FTTH et FTTC selon que la TRO est localisée au pied de l'immeuble ou dans un local technique.

2.7. Contraintes rencontrées sur terrain

Les expérimentations de terrain, concernant l'utilisation de la fibre optique en distribution, pour clients résidentiels et petits professionnels sont affrontées à des problèmes dont nous citons quelques-uns :

- Coût élevé des connecteurs, et nécessitent beaucoup de précaution contre les problèmes de pollution.
- Répartiteurs optiques n'est pas adaptés au traitement des câbles de grande capacité.

- Les contenants (boîtiers installés en chambre pour protection d'épissures, de coupleurs, ...) ont souvent une taille trop importante, ceci aura bien sûr un impact sur les caractéristiques des fibres notamment en ce qui concerne les rayons de courbure.
- La gestion des paires de câbles téléphoniques au niveau des PC se fait par multiple de 7, la modularité des TRO est de 4, ce qui provoque une difficulté d'optimiser le réseau.
- Absence de système de surveillance des réseaux optiques passifs, un défaut de câble ne peut se voir aujourd'hui qu'à travers des informations provenant du système de surveillance des équipements de transmission, ce qui ne permet pas de localiser une coupure de câble.
- Les caractéristiques des matériels (câbles, contenants), ne permettent pas une bonne insertion, dans une infrastructure existante.
- Manque de maîtrise de la technique d'exploitation et de la maintenance des réseaux en fibre optique.

2.8. Conclusion

L'utilisation de la fibre optique demeure très restreinte vu le coût, malgré les gros investissements faits par les opérateurs, la plus grande utilisation est restée côté transport, les seuls cas spécifiques connus : Les réseaux bancaires, et militaires.

Chapitre 3

LES RESEAUX HYBRIDES HFD

3.1. Introduction

Il existe dans les télécommunications plusieurs sortes de systèmes de transmissions. Le plus connu est la transmission par fil de cuivre. Depuis quelques années, on utilise de plus en plus fréquemment un nouveau système de transmission - les câbles à fibres optiques. Et pour faire arriver le câble à fibres optiques dans chaque immeuble ou dans chaque entreprise afin de remplacer les fils de cuivre torsadés, il faudrait un investissement énorme.

La solution la plus souvent adoptée par les compagnies de téléphone est celle de systèmes dans lesquels les câbles de cuivre, déjà installés, formeraient des ponts entre le réseau de fibres optiques et le foyer, d'où le réseau hybride est une combinaison entre des câbles de fibre et paires de cuivre.

3.2. Architecture hybride fibre optique et DSL (HFD)

L'architecture hybride fibre et DSL consiste à approcher les unités d'accès DSL (DSLAM) aux lieux de trafics denses.

Le raccordement entre les différentes DSLAM est réalisé à travers une fibre optique. Après l'implantation des équipements DSLAM, on détermine la trajectoire de la fibre qui est souvent en anneau pour des raisons de sécurité.

Le raccordement des DSLAM au réseau backbone est réalisé par des équipements SDH, qui assure une flexibilité dans la gestion du trafic (acheminement, reconfiguration, etc...)

3.2.1. Description fonctionnelle du réseau

Actuellement, de nombreux opérateurs proposent des solutions d'interconnexions de commutateurs ATM ou de routeurs IP à l'aide de conteneurs virtuels SDH à travers le réseau SDH sous-jacent. Les équipements SDH possèdent toutes les interfaces normalisées nécessaires au raccordement, des commutateurs-routeurs.

Pour optimiser l'utilisation des ressources de réseau disponibles, les cellules ATM et les paquets IP doivent être reconfigurés au nœud d'accès.

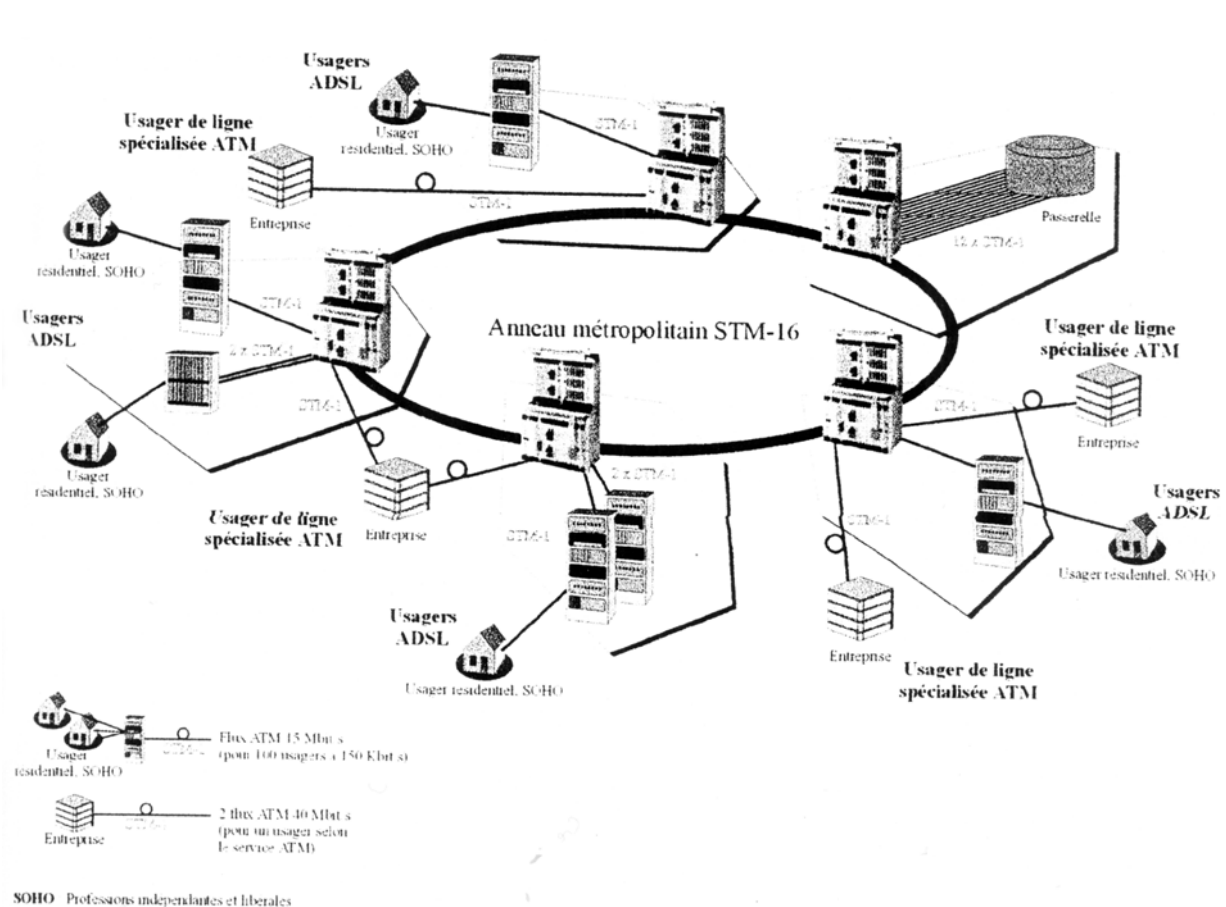


Figure 3.2.1 - Réseau métropolitain pour dégroupage des lignes xDSL

La représentation d'une application de ce concept, montre un réseau métropolitain typique pour le dégroupage de services de lignes d'abonné numérique xDSL et de ligne spécialisée ATM. Dans ce scénario, le trafic ATM des usagers xDSL résidentiels et petits professionnels est collecté par l'intermédiaire de multiplexeurs d'accès DSL (DSLAM), qui servent de concentrateurs de trafic xDSL, tandis que des lignes à fibre optique STM-N SDH collectent directement celui des entreprises.

3.3. Conclusion

Les réseaux hybrides fibres optiques et DSL sont des solutions viables dans la mesure où ils rapprochent les DSLAM aux zones de trafic denses, et assurent une bonne qualité de service pour les demandeurs à hauts débits.

Chapitre 4

ETUDE DE CAS

4.1. Introduction

La fibre optique avec ses débits importants et ses qualités de services, n'est en cours de déploiement que pour une clientèle d'affaire limitée, et n'a pas encore touché le domaine des clients résidentiels et petits professionnels. Cependant pour faire face à ce défi, la solution hybride fibre optique et DSL consiste à utiliser une boucle SDH en transport et une distribution filaire favorise l'utilisation des techniques xDSL. Ainsi le problème de haut débit est résolu de façon économique.

Dans ce qui suit nous appliquons cette méthodologie dans une zone située à Sfax ville.

4.2. Planification

La zone à étudier est située à SFAX ville, elle se caractérise par une forte densité de petites et moyennes entreprises (PME). D'après une étude socioéconomique effectuée sur terrain, la zone abrite des assurances, des commerçants, des établissements de la santé, de l'éducation, et bancaire. Tous, sont demandeurs de service à large bande.

Les paramètres précités, nous ont poussé à penser à une nouvelle technique d'accès répondant aux exigences de la zone.

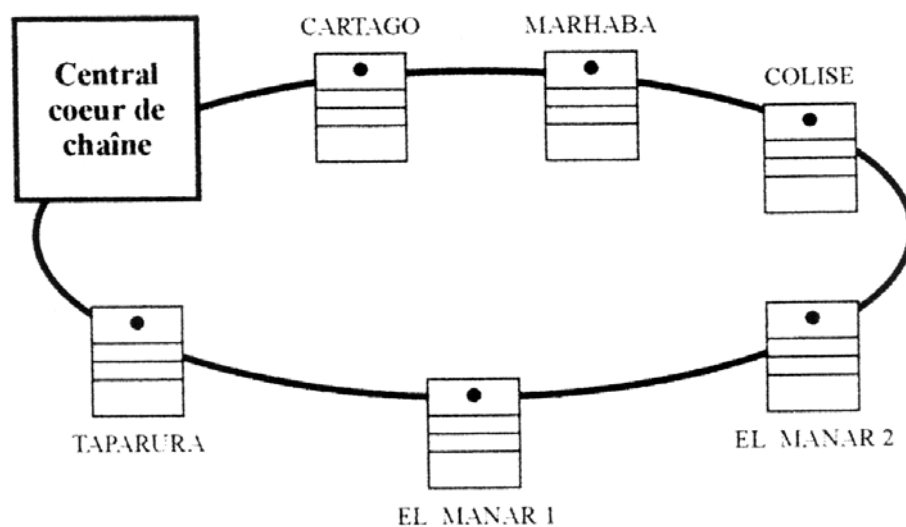
Etant donné que la zone est déjà desservie par un réseau d'accès en fil de cuivre, notre étude a pour objet de desservir les clients par le haut débit, tout en réutilisant l'infrastructure (distribution + génie-civil) existante.

Le réseau d'accès proposé, se compose d'une distribution classique en paires de cuivre, et de la boucle SDH, en fibre optique qui remplace le réseau d'alimentation traditionnel.

Le raccordement entre les nœuds d'accès et les offices de télécommunications (OC), est réalisé à travers deux fibres en anneau pour assurer les secours en cas de panne. Des équipements SDH appropriés sont utilisés pour le branchement de Chaque nœud sur la boucle.

Les nœuds d'accès sont des multiplexeurs d'accès DSL (DSLAM), des schelters, des répartiteurs de distributions qui remplacent les S/R, des équipements d'alimentations, et de conditionnement d'air.

Figure4.2.1 - Principe du réseau d'accès en boucle SDH



Remarque : Les abonnés de la distribution directe, sont rattachés au réseau à hauts débits à travers un DSLAM installé à l'office des télécommunications.

4.3. Emplacement des nœuds d'accès et choix de l'itinéraire

Dans notre étude, nous avons utilisé l'infrastructure existante en génie civil, et le choix de l'itinéraire est fait de façon à regrouper la totalité des nœuds d'accès, tout en les approchant, vers les zones de trafics denses.

4.4. Dimensionnement de support de transmission

Pour dimensionner le trafic qui s'écoule dans l'anneau, il faut tout d'abord choisir le débit utile nécessaire par abonné.

4.4.1. Débits des services [2]

La numérisation permet de transmettre du texte, des images fixes et des signaux audio et vidéo sur un même support. Le transfert en temps réel de tels volumes d'informations nécessite un haut débit de transmission.

On peut diviser ces services en deux catégories suivant le degré d'interactivité mis en œuvre :

- Services symétriques : les débits descendant (dirigé vers l'abonné) et ascendant (dirigé vers le fournisseur de services) sont identiques, par exemple la visiophonie.
- Services asymétriques : le débit descendant est nettement supérieur au débit ascendant, comme la navigation sur le Web, dans laquelle le téléchargement de fichiers implique un trafic nettement plus important en direction du poste utilisateur que dans le sens inverse.

	<i>Services asymétriques</i>		<i>Services symétriques</i>	
Loisirs	Télévision et vidéo interactives	6 Mbps	Jeux vidéo en réseau	1 - 6 Mbps
Services en ligne	Internet	1 - 4 Mbps	—	—
	Totalité des services en ligne Commerce électronique Téléservices			
Communications	Télétravail	6 - 10 Mbps	Vidéoconférences professionnelles (en qualité "diffusion")	6 - 10 Mbps
			Vidéoconférences sur PC Visiophonie sur PC	1 - 2 Mbps 300 Kbps
Enseignement	Télé-enseignement	6 - 10 Mbps	—	—

Tableau 4.4.1 - Services multimédias et débits correspondants

Le tableau «4.4.1 » répertorie les débits descendants correspondant aux services qui devraient être les plus utilisés au cours des dix prochaines années.

4.4.2. Débits utiles pour les foyers

L'étude de marché réalisée a montré que 90 % des foyers sont satisfaits par 14 Mbit/s à l'horaire le plus exigeant. Ce débit s'élève à 22 Mbit/s pour répondre aux exigences de 100 % des foyers.

Pour les foyers ne demandant pas les services de télévision numérique, le débit crête maximal est de 4 Mbits/s.

D'après cette étude, nous pouvons estimer qu'un débit de 2 Mbit/s est largement suffisant, pour couvrir tous les besoins de chaque client, mais pour être plus réaliste nous faisons le calcul de trafic selon deux hypothèses :

- 1) Hypothèse réaliste : on dessert chaque abonné par 64 Kbit/s.
- 2) Hypothèse futuriste : on dessert chaque abonné par 2 Mbit/s.

Application numérique

Le trafic total à écouler dans la boucle SDH est la somme des trafics de tous les nœuds :

$$A_{\text{total}} = A_{\text{TAP}} + A_{\text{E1}} + A_{\text{E2}} + A_{\text{C}} + A_{\text{MA}} + A_{\text{CA}}$$

<i>Nom du noeud d'accès</i>	<i>Abonnés affaires</i>	<i>Abonnés résidentiels</i>	<i>Abonnés commerciaux</i>	<i>Distance Pc le plus défavorable</i>	<i>Potentiel de saturation</i>
TAPARURA	100	21	5	300	126
EL MANAR 1	160	0	2	500	162
EL MANAR 2	130	22	3	250	155
COLISE	156	38	0	350	194
MARHABA	21	61	0	225	82
CARTAGO	99	32	1	150	132

l) Pour la voix, nous appliquons la formule d'erlang **B** à savoir

$$P_B = \frac{A^N / N!}{\sum_{i=0}^N A^i / i!}$$

Avec:

N= nombre de circuit

i = variable en fonction de

$A = \text{nombre d'abonnés} \times \text{trafic moyen par abonné}$

Sachant que le trafic moyen par abonné et par catégorie :

- Résidentiel rural : 10 mErlang
- Résidentiel urbain : 70 mErlang
- Industriel : 100 mErlang
- Commercial : 150 mErlang

- $A_{TAP} = 0,1 \times 256 \times 0,79 + 0,16 \times 256 \times 0,07 + 0,5 \times 256 \times 0,15 = 42,284 \text{ Erlg}$
- $A_{EI} = 0,1 \times 256 \times 0,98 + 0,15 \times 256 \times 0,2 = 32,768 \text{ Erlg}$
- $A_{E2} = 0,1 \times 256 \times 0,83 + 0,07 \times 256 \times 0,14 + 0,15 \times 0,3 \times 256 = 35,268 \text{ Erlg}$
- $A_C = 0,1 \times 256 \times 0,8 + 0,07 \times 256 \times 0,2 = 26,064 \text{ Erlg}$
- $A_{MA} = 0,1 \times 256 \times 0,25 + 0,07 \times 256 \times 0,75 = 19,84 \text{ Erlg}$
- $A_{CA} = 0,15 \times 256 \times 0,1 + 0,1 \times 256 \times 0,75 + 0,07 \times 256 \times 0,24 = 27,340 \text{ Erlg}$
- $A_{VOIX} = 42,284 + 32,768 + 35,268 + 26,064 + 19,84 + 27,340 = 183,564 \text{ Erlg}$

En appliquant la formule d'Erlang pour probabilité de blocage de 1% on obtient :

Le nombre de circuit $N = 180$ circuits

D'où le nombre de MIC est de $180/30$, soit 6 MIC.

2) Pour les données

a) Hypothèse futuriste :

Nous avons 851 abonnés d'où

- $A_{\text{données}} = 851 \times 2 \text{ Mbit} = 1702 \text{ Mbit}$
- $A_{\text{total}} = 1702 + 12 = 1714 \text{ Mbit} = 857 \text{ MIC}$

Alors l'équipement de transmission est de type STM-16 car le trafic total est supérieur à 622 Mbit, et inférieur à 2,4 Gbit:

$$(622 \text{ Mbit} < A_{\text{total}} < 2,4 \text{ Gbit}).$$

b) Hypothèse réaliste :

- $A_{\text{données}} = 851 \times 64 \text{ Kbit} = 55 \text{ Mbit}$
- $A_{\text{total}} = 55 + 12 = 67 \text{ Mbit} = 34 \text{ MIC}$

Alors l'équipement de transmission est de type STM-1 (car le nombre de MIC est inférieur à 63, qui est la capacité maximale du STM-1).

4.5. Dimensionnement des supports physiques

Les six nœuds d'accès sont reliés entre eux par deux câbles en fibres optiques constituant deux anneaux, chaque câble a une capacité de 12 fibres, dont 4 seront utilisés, et le reste sera en instance.

Les quatre fibres se retrouvent au niveau de chaque nœud d'accès sur une tête de câble, les deux premiers seront utilisés en 1 + 1 pour le trafic des voix, les deux autres seront utilisés, aussi en 1+1, mais pour le trafic à large bande (données).

4.6. Etablissements des plans itinéraires

Le plan itinéraire précise le tracé des canalisations construites, l'emplacement des chambres selon leur type, et les nœuds d'accès.

CONCLUSION GENERALE

Les systèmes basés sur les câbles à fibre optique possèdent une avance particulièrement visible dans ce domaine :

- Affaiblissement bas.
- Largeur de bande élevée.
- Séparation galvanique des utilisateurs.
- Sécurité des communications.
- Insensibilité aux perturbations électriques.

Selon l'importance des caractéristiques, il existe des applications qui ne sont possibles qu'en utilisant la technique des fibres optiques de bout en bout (FTTH), dont on cite :

- Les réseaux à débit élevés (>50 Mbit/s).
- Les réseaux bancaires.
- Les réseaux dans les environnements dangereux (milieux susceptibles d'être perturbés par les effets électromagnétiques).
- Réseaux militaires.

Mais les expérimentations de terrain, concernant l'utilisation de la fibre optique en distribution, pour clients résidentiels et petits professionnels sont affrontées aux problèmes de coût, des répartiteurs optiques, des contenants, de la gestion des paires de câbles téléphoniques, et la manque de maîtrise des techniques d'exploitations et de maintenances des réseaux en fibres optiques.

Par contre, et malgré les limitations des lignes xDSL dues aux influences externes, la longueur de la ligne, et la résistance ohmique, on s'attend dans les années à venir une extension

significative dans l'utilisation de ces technologies, adaptées aux besoins en communication multimédia employant une large bande passante: Accès à Internet à haute vitesse, services on line, vidéo sur demande, distribution de signaux vidéo, jeux interactifs, télé médecine.

Elles permettent également, dans le cas de l'ADSL et du VDSL, de conserver un canal de transmission pour le téléphone analogique. On peut donc téléphoner tout en surfant sur Internet. De plus, les données étant transférées sous forme numérique, les technologies xDSL assurent une grande qualité et diversité de services.

Ces quatre points (forts débits, conservation du canal téléphonique, qualité des transmissions, faible coût) vont dans l'intérêt de l'utilisateur.

De plus, l'avènement de la technologie ADSL Lite va permettre d'accélérer l'adoption de ces technologies à un public de masse de plus en plus exigeant au niveau des performances attendues.

Les technologies xDSL représentent une solution viable dans la mesure où elles allient des performances satisfaisantes tout en s'appuyant sur une infrastructure existante.

Les besoins actuels même à moyen terme ne justifient pas l'emploi de la fibre jusqu'au domicile ni jusqu'au pied de l'immeuble. La solution de l'architecture hybride fibre et DSL paraît la plus adéquate pour l'environnement, et favorise l'utilisation des techniques xDSL. Les opérateurs télécoms sont appelés à introduire ces techniques d'accès, pour alléger l'occupation du sous-sol (alvéoles) et répondre aux exigences des demandeurs de services à hauts débits.

BIBLIOGRAPHIE

[1] M. DE MIGEL, A. NITCHIPORENKO, I. PUEBLA : Planification des réseaux de Télécommunications pour les pays émergent : revue de télécommunication d'ALCATEL 2^{ème} Trimestre 1998.

[2] L'écho des recherches n° 161 3^{ème} trimestre 1995.

Les réseaux synchrones étendus PDH et SDH de Gérard Bouyer, Edition Hermès, PARIS 1997.

Jamel Bel Hadj Tahar, Cours de communications optiques, année universitaire 98/99.

Tlili Boutheina , Cours de fibre optique, année universitaire 99/00.

Belhadj Rim, cours de PDH et SDH année universitaire 99/00.

File://A:\Les technologies xDSL - PJCadionik (C) enserb-2000.htm.

<http://www.adsl.com/site>. Html.

<http://g-master.users.ch/doctech/internet/internet-protocol-et-reseau> PDF.

<http://www.paradyne.com>.

<http://www.adsl.com/tr-table>.html.

ATM over ADSL

http://www.adsl.com/general_tutorial. Html.

Normes xDSL.

<http://www.alcatel.com/telcom/asd/keytech/adsl/adsl>.

<http://www.specialty.com.hiband>.

<http://www.hsnt.nist.gov/>.

<http://www.telechoice.com/xdslnewz>.

<http://www.tcom.ch/presentations/PDF/ADSL.PDF>.

ANNEXE 1

FIBRE OPTIQUE

1.1. Introduction à la transmission optique de l'information

Avec l'évolution des télécommunications, les supports de transmission ordinaires ne peuvent plus satisfaire les besoins en portée et en largeur de bande des systèmes de commutation et de multiplexage fréquentiels.

Pour ces raisons, l'invention d'un support à large bande et à faible affaiblissement demeure indispensable.

Les recherches au domaine optique ont commencé vers les années 60 mais il y'avait un problème d'affaiblissement car ce dernier a été relativement élevé.

Vers les années 70 on est arrivé à obtenir un affaiblissement inférieur à 20 dB/Km ce qui permet aux industriels de s'intéresser à cette méthode.

Enfin on est arrivé dès 1979 à un affaiblissement presque nul (0,2 dB/Km). Mais il faut préciser que la qualité des fibres dépend essentiellement des procédés de fabrication et des matériaux.

1.1.1. Intérêt de la communication par fibre optique

La communication par fibre optique présente d'énormes avantages par rapport à d'autres supports de transmission tel que le câble coaxial. Parmi ces avantages :

- Faibles pertes $< 0.3 \text{ dB/Km}$ à $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$
- Large bande passante :
 - Fibre multi mode 1,5 Gigabit .Km /s
 - Fibre mono mode 100 Gigabit .Km/s
- Pas de problèmes d'interférences, communications indétectables.
- Ligne isolante : pas de problème de court-circuit ni de masse.

- Possibilité d'intégration des composants optoélectroniques au support de transmission sur de très faibles dimensions.
- Avantages de : poids, prix, disponibilité de matière première. Plusieurs autres applications de la fibre optique : médicale, militaire, aéronautique.

1.1.2. Définition

La fibre optique est un guide de lumière, constitué d'un cœur dans le quel se propage de la lumière et d'une gaine d'indice optique plus faible.

La lumière se propage par réflexion successive sans perte sur la gaine. Il existe deux types de fibres à savoir : Fibre mono mode et multi mode

Les fibres diffèrent selon les diamètres des cœurs et la courbe de variation d'indice en fonction de la distance au centre de la fibre.

$$V=2\pi a/\lambda (n_1^2-n_2^2)^{1/2}$$

Formule 1.1.1

Si $V < 2,405$: propagation monomode
Si $V > 2,405$: propagation multimode **Avec :**

- V : fréquence normalisée
- λ : longueur d'onde
- a : rayon du cœur de la fibre
- n_1 : indice du cœur
- n_2 : indice de la gaine

• Fibre monomode :

Dans ce cas le cœur est de très petite dimension, il est de l'ordre d'une dizaine de micromètre ou même moins. La fibre ne permet qu'un seul trajet optique et les performances de transmission sont alors de haut niveau (bande passante très importante, dispersion très faible).

Etant données ses capacités la fibre optique est surtout utilisée pour les hauts débits et les grandes distances.

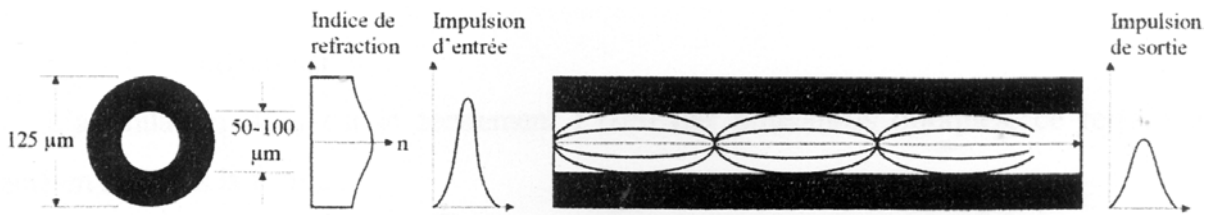


Figure 1.1.1 - Fibre monomode

- Fibre multimode :

Le diamètre du cœur de la fibre est de quelque dizaine de micromètre (20 à 30 μm), plusieurs trajets optiques existent entre les deux extrémités, la fibre est donc dite multimode.

Il existe deux catégories de fibre multimode :

- Les fibres à saut d'indice
- Les fibres à gradient d'indice

Ces catégories diffèrent aussi par la courbe qui suit l'indice du cœur en fonction de la distance au centre.

Dans le 1^{er} cas l'indice passe brutalement de la valeur du cœur à celle de la gaine

La fibre à saut d'indice possède donc plusieurs trajets possibles pour les chemins lumineux car ceux-ci se réfléchissent sur les parois lors du changement d'indice.

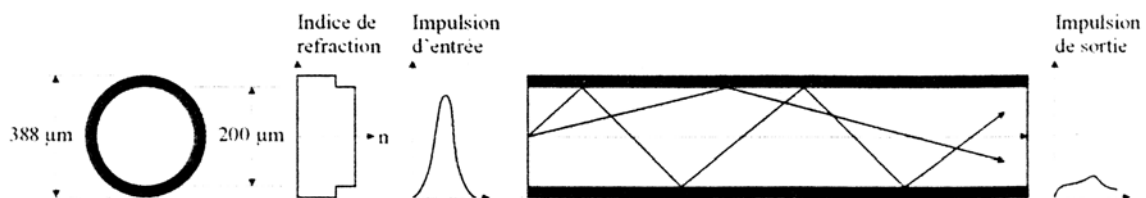


Figure 1.1.2 - Fibre à saut d'indice

Dans le second cas l'indice passe graduellement de la valeur maximale au centre à la valeur de la gaine en périphérique. La fibre à gradient d'indice dévie les rayons s'éloignant du cœur au centre par la variation d'indice ce qui ramènent vers le centre.

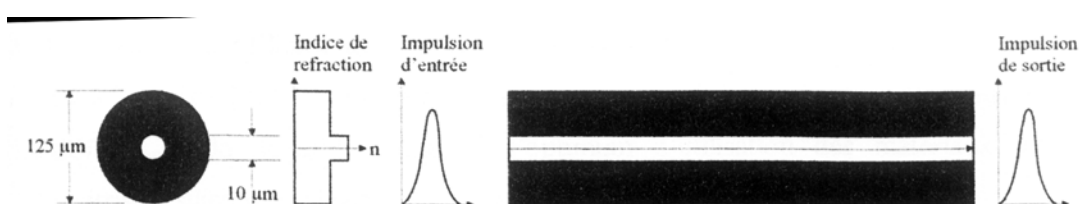


Figure 1.1.3 - Fibre à gradient d'indice

1.1.3. Les fenêtres d'utilisations de la fibre optique en télécommunications

- La 1^{ère} fenêtre [0,8 - 0,9] μm ne correspond pas à un minimum d'atténuation (2 à 3 dB/Km) ni de dispersion, mais à l'optimum d'utilisation des matériaux les mieux maîtrisés (silicium et GaAs).
- La 2^{ème} fenêtre vers 1,3 μm correspond à un minimum relatif d'atténuation (0,4 à 0,5 dB/Km) et au minimum de dispersion chromatique.
- La 3^{ème} fenêtre vers 1,55 μm est le minimum absolu d'atténuation (0,15 à 0,2 dB/Km) mais demande des composants plus coûteux.

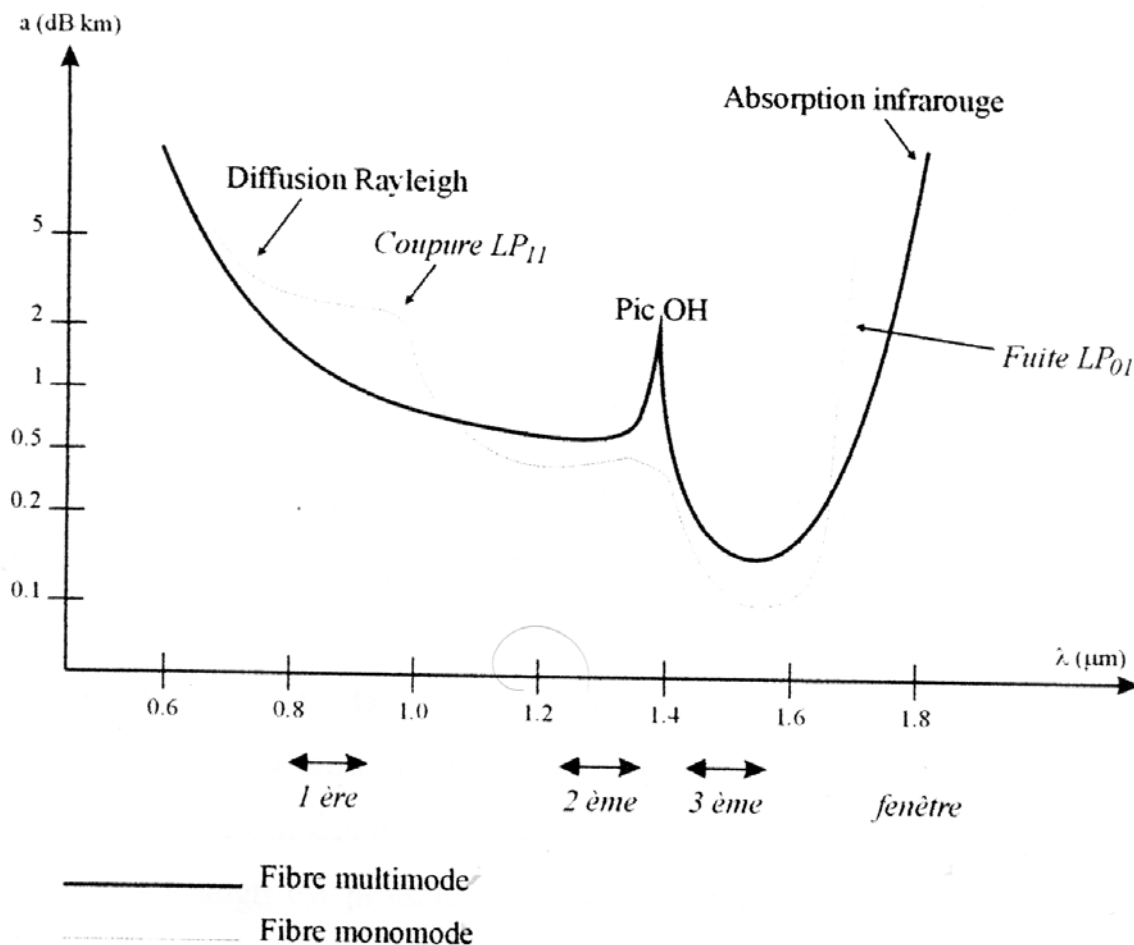


Figure 1.1.4 - Fenêtres d'utilisations de la fibre en télécommunications

1.1.4. Les paramètres de transmission des fibres

Les éléments essentiels qui limitent la transmission par fibre sont :

1.1.4.1. L'atténuation

L'atténuation $A(\lambda)$ est le rendement P_1/P_0 des puissances optiques, ce rendement est exprimé en dB sous la forme :

$$A(\lambda) = 10 \log_{10} (P_0/P_1) \text{ Formule}$$

1.1.2

1.1.4.1.1. Mécanisme de l'atténuation

L'atténuation de la puissance optique dans une fibre est due principalement à deux phénomènes dont les effets se cumulent. Il s'agit :

- Des pertes provoquées par « absorption » du matériau constituant la fibre.
 - Des pertes provoquées par la « diffusion » de ce matériau
- L'atténuation α de la fibre s'exprime donc sous la forme :

$$\alpha = \alpha_a + \alpha_d \text{ (dB/Km)}$$

Formule 1.1.3

Où α_a est le coefficient d'absorption et α_d le coefficient de diffusion.

1.1.4.1.2. Les pertes par absorption

Les pertes par absorption sont causées principalement par les lois des échanges d'énergie au niveau des atomes constituant le matériau de la fibre (absorption intrinsèque), et les impuretés de ce matériau (absorption extrinsèque)

1.1.4.1.3. Les pertes par diffusion

Les pertes d'énergie optique par diffusion sont dues essentiellement à la diffusion de Rayleigh et aux imperfections des fibres et de leur support :

- La diffusion de Rayleigh est produite par les inhomogénéités du matériau sur des distances inférieures à la longueur d'onde de la lumière. Cette diffusion se traduit par la propagation d'une infime partie de l'énergie incidente dans toutes les directions de l'espace, ceci en tout point de la fibre.
- Des imperfections des fibres telles que les micro courbures ou des variations aléatoires du diamètre du cœur provoquent aussi des pertes par diffusion.

1.1.4.2. La bande passante

La bande passante caractérise la capacité de transmission d'information de la fibre. Cette capacité est limitée par deux genres de dispersions :

- La dispersion modale qui ne concerne que les fibres multimodales, celles-ci de par leur nature propagent l'énergie sur un grand nombre de modes qui suivent chacun des chemins optiques différents. Les temps de propagation de ces modes d'une extrémité à l'autre de la fibre sont par conséquent également différents, d'où élargissement des impulsions émises qui limite le débit maximum transmissible.
- La dispersion chromatique qui est causée par les vitesses et les temps de propagation des ondes dues aux lasers qui provoquent des raies centrales et latérales et à la légère variation des indices de réfraction de la fibre.

1.1.5. Conclusion

La fibre à saut d'indice présente moins de performances que la fibre à gradient d'indice, ce qui s'explique en simplifiant par le fait que la différence totale de longueur entre le chemin le plus court et le plus grand est plus importante, et donc la dispersion est plus grande avec les rayons lumineux en lignes brisées.

Donc la fibre à gradient d'indice est le type de fibre le plus utilisé dans les réseaux locaux informatiques.

ANNEXE 2

2.1. LA HIERARCHIE PLESIOCHRONE ACTUELLE PDH (PLESIOCHRONE DIGITAL HIERACHY)

Les réseaux de transmission utilisent des trames numériques plésiochrones par multiplexage bit à bit.

2.1.1. Définition

Des trains numériques sont dits plésiochrones s'ils sont élaborés à partir d'une fréquence d'horloge située dans une plage DF autour d'une fréquence nominale F. Exemples de débits normalisés (recommandation G.702 et G.703 de UIT)

- 2048 Kbits/s ± 102 bit/s

- 8448 Kbits/s ± 253 bit/s

- 34368 Kbits/s ± 687 bit/s

- 139264 Kbits/s ± 2083 **bit/s**

2.1.2. Principe

Pour procéder au multiplexage de ces différents trains, il faut les synchroniser. Cette opération s'effectue par une élévation à un débit commun, c'est la justification positive nulle.

Le passage du débit nominal de l'affluent au débit commun se fait par insertion de bit. Ces bits sont ensuite retirés lors du démultiplexage.

Le multiplexage suivant la hiérarchie plésiochrone rassemble 4 trains à 2 Mbit/s, puis 4 de ces trains à 8 en un train à 34 Mbit/s, enfin 4 de ces trains à 34 en 1 train à 140 Mbit/s

Un train à 2 Mbit/s n'est pas accessible directement dans les trains à 34 et 140 Mbit/s. Pour y accéder, il faut réaliser les démultiplexages successifs 140/34, 34/8, 8/2.

2.1.3. Hiérarchie actuelle

Après multiplexage des trains affluents synchronisés on obtient le train de débit supérieur.

La cascade de multiplexage définit la hiérarchie numérique plésiochrone.

2.1.4. Les inconvénients de la PDH

- Non visibilité : De par le principe du multiplexage bit à bit utilisé en PDH l'affluent inséré dans le train résultant ne sera accessible qu'après démultiplexage.
- Absence de normalisation : Les plus hauts débits de chaque hiérarchie (USA, EUROPE, JAPON) ne sont pas normalisés par UIT. Ceci nécessite, lorsqu'on veut les interconnecter, de passer par les équipements intermédiaires.
- Absence de flexibilité : Le train résultant des multiplexeurs de trains plésiochrones ne peut être obtenu qu'à partir d'affluents identiques.
- Insuffisance de sur débit : Peu de bits de sur débit sont disponibles dans les trames pour l'exploitation des systèmes.

2.2. SDH (SYNCHRONOUS DIGITAL HIEARCHY)

Les caractéristiques fondamentales de la hiérarchie numérique synchrone sont indiquées

dans les recommandations CCITT G.707 à G709, G781 à G784 ainsi que G957 et G958. Les

niveaux de la hiérarchie actuellement définie sont les suivants :

STM-1 155520Kbits/s

STM-4 622 080 Kbits/s

STM-16 2 488 320 Kbits/s

STM = Module de Transport Synchrone

La structure de base des signaux numériques est composée d'octets, comme la durée de la trame est la même pour tous les niveaux (125 us), le nombre d'octets de la trame augmente avec le niveau de hiérarchie.

Les nouveaux services (services large bande, débits élevés) ont pour conséquence une demande croissante de la capacité de transmission, de même que l'interfonctionnement des équipements issus de l'ensemble des constructeurs nationaux et internationaux, ainsi qu'une grande souplesse d'exploitation :

- Flexibilité de multiplexage
- Compatibilité des débits multinationaux
- Compatibilité avec les réseaux plésiochrones actuels
- Protection et gestion du trafic
- Gestion de réseau
- Accès direct aux signaux composants
- Moindre coût d'équipement et d'exploitation.

La SDH a été défini par le CCITT pour répondre à des besoins techniques et économiques.

Les avantages fonctionnels de la SDH sont :

- Une transmission optique
- Un accès aux canaux affluents :
 - . Une seule étape de multiplexage
 - . Facilité d'insertion/extraction
 - . Réseaux flexibles.
- Compatibilité avec les réseaux plésiochrones actuels
- Richesses d'exploitation :
 - . Surveillance de la qualité des conduits
 - . Canaux auxiliaires

Les avantages économiques de la SDH sont :

- Au niveau des équipements
- Au niveau des services
- Au niveau des réseaux

La SDH permet de transmettre tout type de service :

- Parole, données.
- Images.
- Communications multimédia.
- Echanges de données rapides.
- Interconnexions des réseaux locaux.

- RNIS large bande.
- Mode de transmission ATM.

2.2.1. Normalisation

C'est en 1988 que l'UIT élabore une série de recommandations en s'inspirant du réseau optique synchrone américain (SONET) et des normes européennes. Le débit de la trame de base STM-1 est le 155,520 Mbits/s, compatible avec le premier ordre de multiplexage des hiérarchies américaines, le 1544 Kbits/s et le premier ordre européen le 2048 Kbits/s

2.2.2. Structure de la trame

Une trame se compose de 9 rangées de 270 octets chacune, la fréquence de la trame ($F=8$ KHz, $T=125 \mu s$) a été choisie de manière à ce qu'un octet de la trame correspondante a la capacité de transmission d'une voie de 64 Kbits.

Les trames STM-1 sont constituées de trois zones :

- Le sur débit de section (SOH, section over head).
- Le pointeur d'unité administrative (AU, Administrative Unit).
- La capacité utile (Payload).

Les 9 premiers octets de chacune des rangées 1 à 3 et 5 à 9 forment un sur débit, le sur débit de section (section overhead) et le pointeur AU (adresse du signal utile) occupe ceux de la rangée 4.

La zone de $261 * 9$ octets sert à la transmission de la charge utile (Payload) composée d'un VC-4 (conteneur C4 avec POH associé) forme avec le pointeur,

L'AUG ou GUA (Groupe d'Unité Administratif).

Le pointeur d'AU-4 permet le positionnement souple et dynamique du conteneur virtuel VC-4 dans la trame STM-1, c'est à dire que le VC peut flotter dans la trame STM-1.

Le pointeur indique la position du premier octet du VC, la valeur du pointeur c'est à dire l'adresse, peut être augmentée ou diminuée.

Une justification négative ou positive est alors réalisée

2.2.3. Adressage

La SDH ne possède pas un moyen d'adressage propre.

L'établissement d'une connexion fait appel à des ressources externes comme un réseau parallèle ou des opérateurs sur console affectés au point de concentration et de transport. Le groupement de plusieurs débits s'effectue dans des multiplexeurs, démultiplexeurs. Le routage s'effectue dans des brasseurs, les diverses connexions s'effectuent d'abord par connecteurs, à l'aide, au besoin, d'adaptateurs permettant la cohabitation de plusieurs techniques de supports et lignes physiques, puis par des commutateurs électroniques.

2.2.4. Sur débit de section SOH de la trame

Les octets du sur débit de section servent à des informations supplémentaires, au verrouillage de la trame ainsi qu'à des fonctions de surveillance, de maintenance et de commande.

2.2.5. Concaténation

La concaténation est un mécanisme qui permet le transport synchrone de données à débits différents, des débits de base prévus dans les dispositifs de transport par multiplexage, elle est utilisée dans la SDH, un seul flux affluent remplace plusieurs flux affluents en totalisant leurs débits.

Il n'y a pas lieu d'effectuer de multiplexage à l'émission et des indicateurs dans les blocs de données indiquent à l'équipement de réception qu'il n'y a qu'un seul affluent récepteur dont le débit est la somme des affluents qui auraient pu être multiplexés

2.2.6. Commutation de protection

La commutation sur la ligne de secours est assurée soit automatiquement par MSP (Multiplex Section Protection), soit de l'extérieur par l'introduction des commandes au moyen de système d'exploitation (OS : Opération System) ou de l'interface agent.

Le basculement est effectué dans certaines conditions, signal coupé ou signal dégradé, pour la remise en fonctionnement normal, le basculement se fait en inverse.

2.2.7. Architecture d'application

Le trafic est réparti entre canaux en service normal et canaux de protection. Dans le cas d'un anneau à deux fibres, et si le VC est d'ordre supérieur, les STM-N peuvent être considérés comme formant un multiplex de N unités AU-4, les AU-4 numérotés de 1 à N/2 sont attribués aux canaux en service, les autres sont attribués aux canaux de protection :

STM4 → 4AU-4

AU-4 numéro 1 et 2 sont affectés aux canaux en service normal.

AU-4 numéro 3 et 4 sont affectés aux canaux de protection.

Dans le cas d'un anneau à quatre fibres, chaque STM-N en service (normal et de protection) est acheminé par une fibre séparée.

Dans l'anneau on peut insérer 16 nœuds, à partir de chacun on peut insérer, extraire, et transférer des voies dans les deux sens.