

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT TELECOMMUNICATION

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention

du **DIPLOME de LICENCE es SCIENCES TECHNIQUES**

Spécialité : Télécommunication

par : **ANDRIANJAFIMANANA Nasoloniaina Dimbimahonona**

***EXPLOITATION DE LA LIGNE TELEPHONIQUE
ETUDE DE LA QUALITE DE LA TRANSMISSION
UTILISANT LE DMT : CAS DE L'ADSL***

Soutenu le 07 Mai 2010 devant la Commission d'Examen composée de :

Président : - M. RANDRIARIJAONA Lucien Elineo

Examineurs :

- M. RATSIHOARANA Constant

- M. RANDRIAMITANTSOA Andry Auguste

- Mme RAMAFIARISONA Malalatiana

Directeur de mémoire : M. BOTO ANDRIANANDRASANA Jean Espérant

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu Dieu de m'avoir donné force et santé pour la réalisation de ce mémoire

Je tiens également à adresser mes très vifs remerciements à l'endroit des personnes ci-après qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire:

- Monsieur ANDRIANARY Philippe Antoine, Professeur titulaire, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA) pendant mes années d'étude à l'ESPA
- Monsieur RAZAKARIVONY Jules, Maître de conférence, titulaire, Chef du département Télécommunications à l'ESPA
- Monsieur RANDRIARIJAONA Lucien Elino, Assistant, qui me fait l'honneur de présider le jury de soutenance de ce mémoire

Mes remerciements vont également à :

- Monsieur RATSIHOARANA Constant
- Monsieur RANDRIAMITANTSOA Andry Auguste
- Madame RAMAFIARISONA Malalalana

pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.

Ma gratitude va pareillement à Monsieur BOTO ANDRIANANDRASANA Jean Espérant, Assistant, Enseignant chercheur au sein du Département Télécommunications et Directeur de ce mémoire, pour ses judicieux conseils et pour la confiance qu'il m'a accordée durant la réalisation de ce mémoire.

Je tiens aussi à exprimer mes remerciements envers toute ma famille et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, durant la réalisation de ce travail.

TABLE DE MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
TABLE DE MATIERES.....	ii
NOTATIONS.....	vii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : LA BOUCLE LOCALE	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 Dopage du réseau téléphonique	3
1.3 Dissipation d'énergie.....	4
1.4 Diaphonie	5
1.5 Pupinisation.....	5
1.6 Perturbations électromagnétiques	6
1.6.1 Affaiblissement.....	6
1.6.2 Distorsion de phase	6
1.6.3 Réflexions	6
1.6.4 Désadaptation.....	6
1.7 Limitation en débit.....	7
1.8 Limitation en distance.....	8
1.9 Le dégroupage	9
1.9.1 Accès dégroupé à la boucle locale	10
1.9.1.1 Accès totalement dégroupé à la boucle locale.....	10
1.9.1.2 Accès partagé à la boucle locale	10
1.9.2 La colocalisation	11
1.10 Conclusion	11
CHAPITRE 2 : LES TECHNOLOGIES xDSL.....	12
2.1 Historique de la technologie xDSL	12
2.2 Introduction.....	12

2.3 Les différentes technologies de xDSL	13
<i>2.3.1 Transmissions symétriques</i>	<i>13</i>
2.3.1.1 HDSL(High bit-rate DSL).....	14
2.3.1.2 SDSL (Symmetric DSL ou Single line DSL).....	14
<i>2.3.2 Transmissions asymétriques</i>	<i>15</i>
2.3.2.1 ADSL (Asymmetric DSL)	16
2.3.2.2 VDSL (Very High bit-rate DSL)	16
2.3.2.3 RADSL (Rate Adaptative DSL)	17
2.3.2.4 CDSL-Consumer DSL.....	17
2.3.2.5 IDSL-ISDN DSL.....	18
2.4 Les services offerts par les technologies xDSL.....	18
2.5 Croissance du xDSL.....	19
2.6 Conclusion	19
CHAPITRE 3 : LA TECHNOLOGIE ADSL	21
3.1 Introduction.....	21
3.2 Les problèmes.....	21
3.3 Les solutions	22
3.4 Principes de base de fonctionnement.....	23
3.5 Spectre de fréquence ADSL	25
3.6 Architecture ADSL	26
3.7 La norme ADSL	27
<i>3.7.1 G.dmt</i>	<i>27</i>
<i>3.7.2 G.Lite</i>	<i>28</i>
<i>3.7.3 G.hs.....</i>	<i>28</i>
3.8 Comparaison des performances de l'ADSL à celles des modems existants (V.90).....	29
3.9 Les raisons d'investir dans l'ADSL	30
3.10 ADSL face à la solution ATM	30
<i>3.10.1 Les Caractéristiques de l'ATM</i>	<i>31</i>

3.10.2	<i>Les Intérêts de l'ATM</i>	31
3.10.3	<i>Les Inconvénients d'ATM</i>	32
3.10.4	<i>ADSL et ATM</i>	32
3.10.5	<i>Réseaux multiservices avec ADSL/ATM</i>	33
3.11	Trames ADSL	35
3.11.1	<i>Détail d'une trame</i>	36
3.11.2	<i>Emission</i>	38
3.11.3	<i>Réception</i>	40
3.12	Les Applications :	41
3.13	La télévision par ADSL	41
3.14	La télévision sur l'internet par ADSL	42
3.15	L'Internet par l'ADSL	43
3.15.1	<i>Principe</i>	43
3.15.2	<i>Les équipements</i>	44
3.16	Conclusion	44
 CHAPITRE 4 : LES MODULATIONS UTILISEES		45
4.1	Introduction	45
4.2	Codage de ligne	45
4.2.1	<i>Modulation d'amplitude</i>	46
4.2.2	<i>Modulation de phase</i>	47
4.3	Quadrature Amplitude Modulation (QAM)	48
4.4	Carrierless Amplitude and Phase Modulation (CAP)	49
4.5	Discrete Multi Tone (DMT)	50
4.5.1	<i>Les sous canaux</i>	52
4.5.2	<i>L'avantage de DMT</i>	54
4.6	Comparaison entre CAP et DMT	55
4.7	Conclusion	56

CHAPITRE 5 : LES EQUIPEMENTS ADSL	57
5.1 Introduction.....	57
5.2 Le modem	57
5.3 Le splitter / micro filtre.....	57
5.3.1 Rôle du splitter.....	59
5.3.2 Rôle du micro filtre	59
5.4 Le DSLAM.....	59
5.5 Configuration typique du DSLAM.....	60
5.6 Configuration ADSL.....	62
5.7 Equipements et raccordements	65
5.7.1 Le modem ADSL de l'utilisateur	66
5.7.2 Le filtre à l'introduction de la maison.....	66
5.7.3 La nouvelle ligne jusqu'au modem ADSL	66
5.7.4 Le filtre à l'introduction du central.....	67
5.7.5 Le modem ADSL du central.....	67
5.8 RTC/ADSL	67
5.9 Conclusion	68
CHAPITRE 6 : SIMULATION DE LA TRANSMISSION UTILISANT LE DMT SUR UNE LIGNE TELEPHONIQUE	69
6.1 Le logiciel Matlab.....	69
6.2 Déroulement de la simulation	69
6.3 Simulation.....	71
6.4 Récapitulatif	75
6.5 Conclusion	75
CONCLUSION GENERALE	77
ANNEXE 1	78
ANNEXE 2	80
ANNEXE 3	83

BIBLIOGRAPHIE	85
PAGE DE RENSEIGNEMENT.....	87
RESUME.....	88
ABSTRACT	88

NOTATIONS

1 Minuscules latines

dB	Decibel
k	nombre de symboles d'information, appelé charge utile
m	Nombre de bits par symbole
n	nombre de symboles transmis (charge utile et correction d'erreur)
$x(n)$	Signal
$s(i)$	Symboles
$2t$	nombre de symboles de contrôle

2 Majuscules latines

B	Largeur de bande du canal
C	Capacité du canal de transmission
D	Debit
$jS_I(i)$	Partie imaginaire des chaines de symboles
N	Nombre de bits
P_b	Puissance du bruit
P_s	Puissance du signal
$SQ_I(i)$	Partie réelle des chaines de symboles
S/N	Rapport signal sur bruit

3 Majuscules grecques

Γ	Facteur correcteur propre aux lignes xDSL
ω	Fréquence

4 Abréviations

AA	Access Adapter
ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line.
2B1Q	2 Binary 1 Quaternary
AMI	Alternate Mark Inversion
ANSI	American National Standards Institute.
ANT	Acces Network Terminal.
ATM	Asynchronous Transfer Mode (mode de transfert asynchrone.
BRI	Basic Rate Interface
CAP	Carrierless Amplitude Modulation
CPE	Customer Premises
CRC	Contrôle de Redondance Cyclique
DAC	Digital to Analogic Converter
DSP	Digital Signal Processor
ADC	Analogic to Digital Converter
DMT	Discrete Multitone
DVD	Digital Versatile Drive
EC	Echo Cancellation
ETSI	European Telecommunications Standard Institute.
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEC	Forward Error Correction
FR	Frame Relay
GSM	Global System for Mobile communications.

HDB3	High Density Bipolar 3
HDSL	High Bit Rate DSL
IDSL	Integrated Services Digital Network Digital Subscriber Line
IP	Internet Protocol
IRS	Internet Radio Server
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
UIT	Union International des Telecommunications
LAN	Local Area Network
MAQ	Modulation d'Amplitude Quadratique
MMDS	Microwave Multipoint Distribution System
MODEM	Modulateur/Demodulateur
PABX	Private Automatic Branch Exchange
POTS	Plain Old Telephone Service
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadratique Amplitude Modulation
RADSL	Rate Adaptative DSL
RTC	Réseau Téléphonique Commuté
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Services
SDSL	Symmetric, ou Single-pair DSL
VC	Virtual Contener
VCC	Virtual Channel Connection
VDSL	Very High Rate DSL

VDT	Video Dial Tone
VoD	Vidéo à la demande
VoIP	Voice over IP
VP	Virtual Path
WAN	Wide Area Network
xDSL	variantes du DSL

INTRODUCTION GENERALE

Depuis l'avènement des technologies xDSL (*Digital Subscriber Line*), la paire torsadée en cuivre a retrouvé un intérêt grandissant parmi les grandes entreprises de télécommunication. Les différentes technologies xDSL ont une caractéristique commune, elles permettent de faire passer des flux importants de données sur de simples lignes téléphoniques torsadées. Une présentation exhaustive des technologies xDSL sera présentée, en insistant sur l'aspect technique et en les comparant avec les différentes autres solutions similaires mises en œuvre. Des exemples d'application vont démontrer l'intérêt réel de la part des industriels. Les technologies xDSL utilisent les structures existantes, permettant de transférer les données entre l'utilisateur et le réseau, sans nécessité d'un investissement astronomique de la part des opérateurs de télécommunication.

Ainsi, avec constamment plus d'abonnés téléphoniques qui deviennent des internautes, le réseau téléphonique est toujours plus saturé à cause des appels de longue durée. La plupart des applications Internet actuelles demandent des débits plus élevés que les possibilités analogiques et les connexions de plus longue durée (opérations inlines). De plus, les communications Internet sont généralement asymétriques. Par exemple, une machine cliente (non serveur) connectée sur Internet a besoin d'un débit assez considérable en réception alors qu'un débit assez faible en émission. La technologie idéale pour ce genre d'application est l'ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) qui introduit des transmissions digitales et asymétriques sur des lignes d'abonné. Une transmission asymétrique prévoit deux flux de débits différents (upstream "émission" et downstream "réception"), afin de mieux s'adapter aux communications asymétriques.

Ceci nous a poussé à faire une étude plus détaillée sur la technologie ADSL qui actuellement tient une place importante parmi les autres technologies des télécommunications.

Ce projet de fin d'étude est subdivisé en six chapitres. En chapitre 1, on parle de la boucle locale à savoir son utilisation par la technologie xDSL et ses problèmes également.

Le deuxième chapitre, s'agit d'une étude générale des différentes technologies xDSL à savoir : les modes de transmission pour chaque technologie, les différents débits offerts et les limitations en distance qu'on peut avoir.

Dans le troisième chapitre, l'étude s'orientera sur l'ADSL qui est actuellement la plus utilisée de toutes les technologies xDSL dans le domaine des télécommunications, étant donné les avantages qu'elle confère aux utilisateurs et aux fournisseurs de services ADSL.

Le chapitre quatre parle des différentes techniques de modulation utilisées par la famille xDSL, ADSL en particulier.

Le cinquième chapitre fait connaître les différents équipements utilisés par la technologie ADSL.

En dernier lieu, en chapitre six du présent projet, parle de la simulation de la qualité de la transmission sur une ligne téléphonique classique d'une liaison ADSL, utilisant le DMT.

CHAPITRE 1

BOUCLE LOCALE

1.1 Introduction

Par définition, la boucle locale c'est le segment d'un réseau de télécommunications compris entre la prise chez l'abonné et le commutateur de raccordement. Ce segment est aussi appelé "le dernier kilomètre".

L'idée de base des technologies DSL consiste à repousser la barrière théorique des 300 - 3400Hz de bande passante, dont s'approchent les modems analogiques, notamment avec les techniques 56K. Ce qui n'est pas si simple car la dissipation d'énergie et la diaphonie posent de problème.

Pour remédier à ce problème des derniers kilomètres de la transmission, il a tout d'abord été envisagé de déployer de la fibre optique jusque chez l'abonné. L'investissement s'est cependant révélé trop onéreux. La rentabilité du système était donc compromise. Il fallait alors trouver une autre solution pour proposer des services assurant de hauts débits à moindre coût. La solution fut trouvée par les téléphonistes : doper le réseau téléphonique existant. C'est le but des technologies xDSL. [3][12]

1.2 Dopage du réseau téléphonique

Techniquement, la procédure de dopage n'est pas très compliquée. Elle consiste simplement à mettre en œuvre de nouvelles techniques de traitement du signal. Pour le DSL et ses dérivés, la clé réside dans la modulation, autrement dit, le processus par lequel un signal peut modifier les propriétés d'un autre signal.

Dans le cas du DSL, le signal du message modulant à partir d'un modem émetteur altère le signal HF (haute fréquence) généré par le signal de l'opérateur, formant ainsi une onde composite, que l'on appellera onde modulée.

Cette modification, l'onde modulée, permet au câble de cuivre ordinaire de se "déformer" et de travailler sur des amplitudes électromagnétiques plus grandes. Quand la transmission atteint sa destination, le modem récepteur démodule le message... et ainsi de suite. Une fois acquis le principe de modulation, il faut savoir comment on va modifier le signal HF.

Avec le DSL, on utilise communément les techniques CAP ou DMT. Toutes deux utilisent la modulation QAM mais diffèrent dans la manière de l'appliquer. Dans le premier cas, on génère une onde modulée qui transporte les paramètres amplitude et phase avec des états changeants que l'on stocke en partie avant reassemblage. Dans le cas de DMT, on divise les fréquences disponibles dans 256 sous - canaux discrets. Ces différentes techniques de modulation autorisent des vitesses de transmission variant en fonction de la distance et de la qualité de la ligne locale. [8]

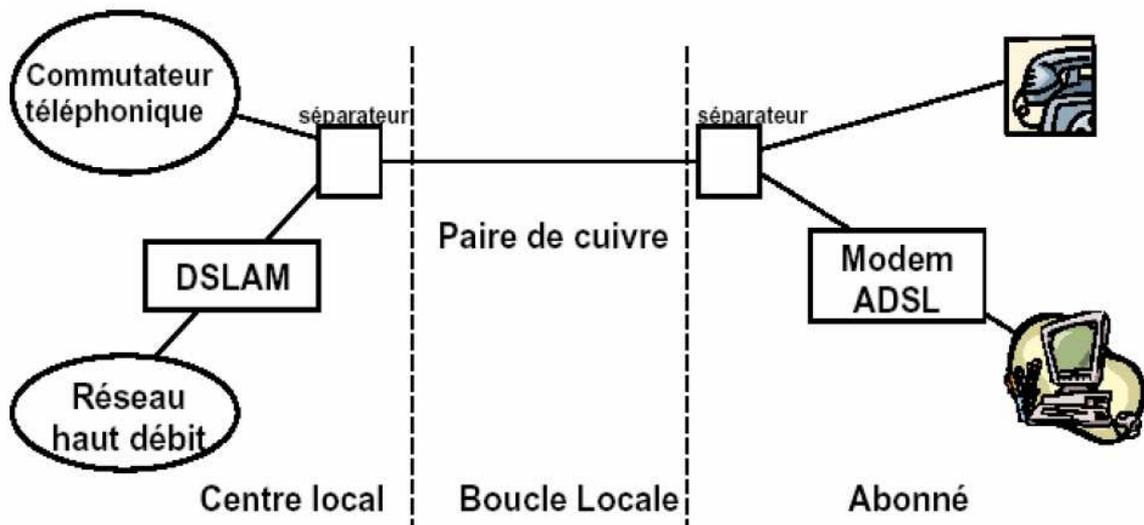


Figure 1.1 : Schéma de la liaison ADSL

1.3 Dissipation d'énergie

Un courant électrique passant au travers d'un conducteur dissipe une partie de son énergie sous forme de chaleur (pertes par effet Joule). Ces pertes augmentent avec la résistance du câble. Celle-ci est fonction de la longueur du câble, de sa section et de sa résistivité. Les technologies xDSL font passer des signaux haute fréquence dans ces câbles. Cela a le désavantage de créer un effet de peau qui a pour conséquence d'augmenter dramatiquement la résistance du câble, et donc d'atténuer le signal utile.

Ce qui a directement pour effet de limiter la longueur des boucles locales. Cependant, l'un des moyens de minimiser cette atténuation est d'utiliser des câbles moins sensibles à l'effet de peau, donc de diamètre plus gros. Ce qui se traduit bien sûr par un coût d'implantation plus élevé.

1.4 Diaphonie

Le couplage entre paires voisines induit un signal perturbateur qui augmente avec la fréquence de ce signal. La diaphonie se manifeste aux deux extrémités de la ligne.

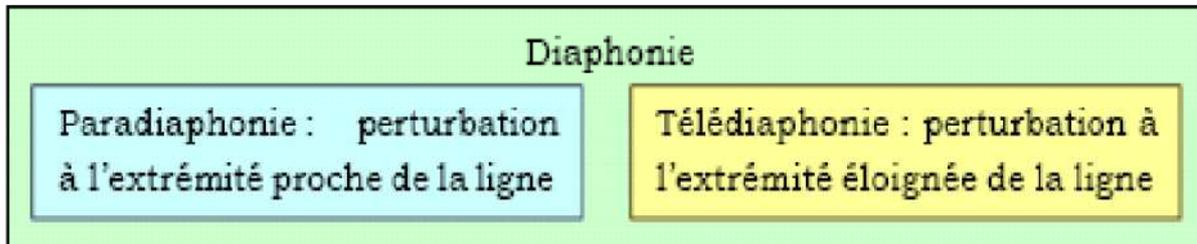


Figure 1.2 : *La diaphonie, paradiaphonie et telediaphonie*

Dans un réseau téléphonique, de multiples paires de fils téléphoniques sont regroupées dans un même câble. Des signaux transitant dans une paire torsadée sont susceptibles de créer des interférences (rayonnement électromagnétique) sur les autres paires du câble. C'est la diaphonie.

Sachant que, du côté des centraux opérateurs, la concentration de câbles est très forte, l'extension des technologies HF comme l' xDSL risque de créer de nombreuses perturbations entre signaux de même caractéristiques, limitant ainsi le débit obtenu. [12]

1.5 Pupinisation

L'affaiblissement et la distorsion de phase peuvent être compensés, dans la bande de fréquence comprise 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. Afin d'éviter les parasites hautes fréquences et d'assurer un affaiblissement du signal indépendant de la fréquence, les opérateurs téléphoniques ont disposé à différents endroits de leur réseau, des bobines d'auto-induction. Les technologies xDSL ont pour principe de laisser la bande des 300-3400 Hz libre et donc d'émettre sur des fréquences élevées. Ces bobines auront pour effet d'éliminer le signal utile. Il est donc

impossible de transmettre suivant une technologie xDSL sur une boucle locale équipée de bobines de pupinisation.

1.6 Perturbations électromagnétiques

Elles peuvent résulter à d'inductions à haute fréquence (foudre, émetteurs radio, circuits logiques,...) ou à basse fréquence (harmoniques de la tension d'alimentation, traction électrique, moteurs, ...).

1.6.1 Affaiblissement

L'affaiblissement augmente en fonction des paramètres suivants :

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

1.6.2 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. 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.

1.6.3 Réflexions

Lorsque le câble de transmission est constitué de plusieurs tronçons de sections différentes, donc d'impédances caractéristiques différentes, il en résulte des réflexions qui perturbent les signaux transmis.

1.6.4 Désadaptation

Elle provient des différences d'impédances entre les équipements terminaux et la ligne et provoque des réflexions sur les lignes de transmissions. Il en résulte une transmission imparfaite de la puissance du signal et des réflexions polluant les lignes. Les lignes sont mises à la disposition par les opérateurs téléphoniques qui ne veulent absolument pas détériorer leur qualité

de service. Pour ce faire, les opérateurs exigent une adaptation quasi parfaite de l'impédance, ce qui impose des contraintes énormes aux fabricants d'équipements (en particulier pour les concepteurs de filtres). [12]

1.7 Limitation en débit

Le standard ADSL a été finalisé en 1995 et prévoit:

- Un canal téléphonique avec raccordement analogique ou ISDN
- Un canal montant avec un débit maximal de 640 à 800 Kbits/s
- Un canal descendant avec un débit maximal de 8192 Kbits/s

Le débit binaire maximal qui peut être atteint sur un canal de cuivre possédant un spectre de fréquence s'étalant jusqu'à 1,1 Mhz est limité par son rapport signal sur bruit, selon la formule de Shannon :

$$B = C \log_2\left(1 + \frac{S/N}{\Gamma}\right) \quad (1.1)$$

C : capacité maximale du canal de transmission

B : largeur de la bande du canal

S/N : rapport signal sur bruit

Γ : facteur correcteur propre aux lignes xDSL pour lesquelles il vaut $\Gamma = 30$.

Le bruit (bruit impulsionnel, bruit radio, diaphonie) est d'autant plus présent et dérangeant que l'on monte en fréquence. Cela explique les limitations en débit d'ADSL, qui ne saura donc jamais offrir un débit supérieur à 8Mbits/s en downstream. [5][27]

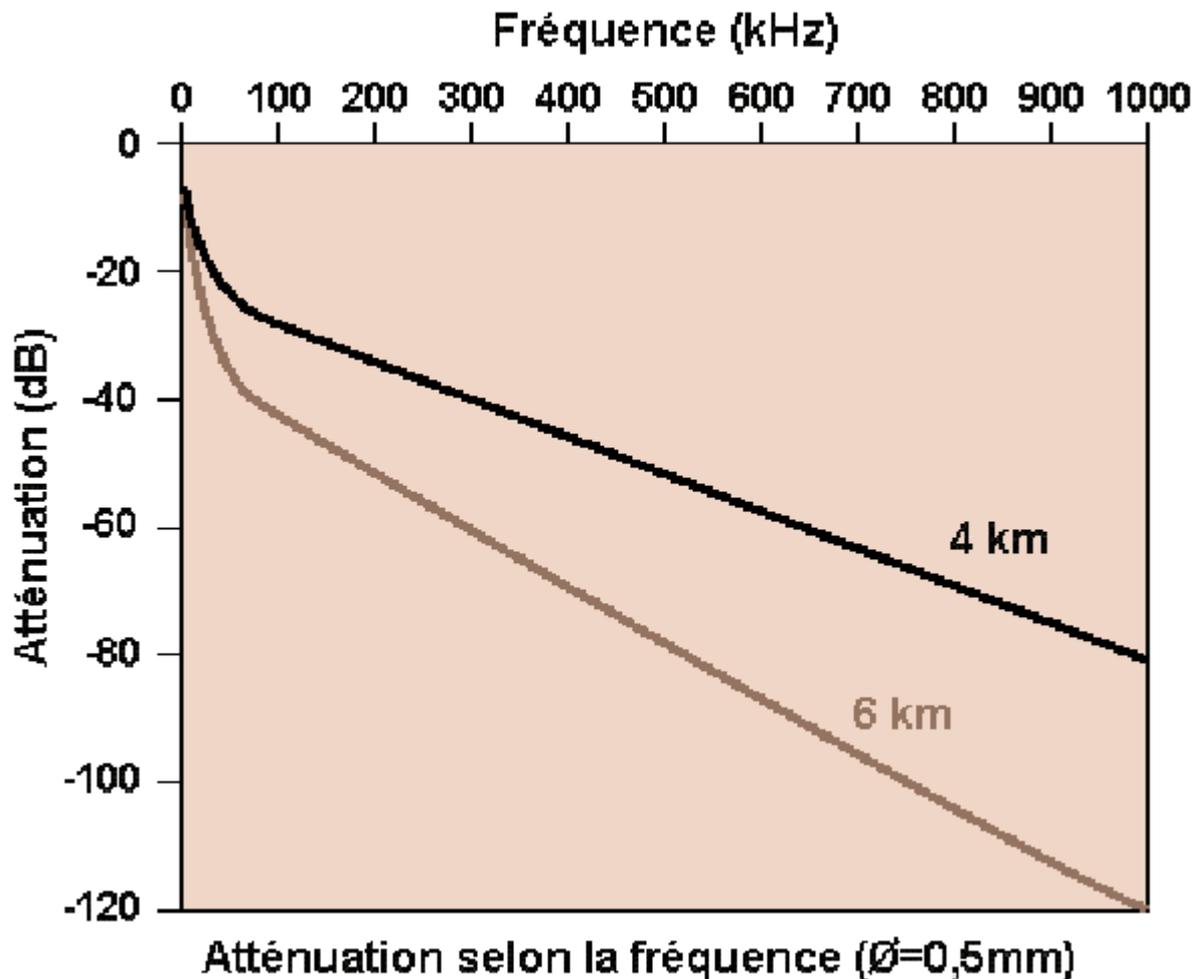


Figure 1.3 : Atténuation suivant la fréquence et la distance entre l'abonné et la centrale

1.8 Limitation en distance

Comme pour toutes les technologies DSL, la distance de boucle entre le central d'abonné de l'opérateur et l'abonné lui-même ne doit pas dépasser certaines échelles afin de garantir un bon débit des données.

Cette limitation en distance est intimement liée au phénomène d'affaiblissement du signal conduit dans le canal, qui lui-même est en partie lié aux hautes fréquences dans lesquelles peut monter le signal ADSL.

En effet, un courant électrique passant au travers d'un conducteur dissipe une partie de son énergie sous forme de chaleur, c'est ce que l'on appelle, effet Joule. Or ces pertes augmentent avec la

résistance du câble, qui elle-même est fonction de la section, de la résistivité et de la longueur de celui-ci.

Les technologies xDSL et en particulier ADSL font passer des signaux haute fréquence dans ces câbles, ce qui a le désavantage de provoquer un effet de peau qui a pour conséquence d'augmenter dramatiquement la résistance du câble, et donc d'atténuer le signal utile. Les câbles utilisés pour ADSL dans la boucle locale sont, comme nous l'avons vu, des conteneurs d'un certain nombre de paires torsadées de cuivre. Le diamètre de ces câbles est plus ou moins constant, et la résistivité du cuivre est immuable sauf conditions extrêmes.

Il en ressort que le dernier facteur prépondérant à l'obtention d'une certaine qualité de transmission est la longueur du câble lui-même, ce qui explique pourquoi la distance entre l'abonné ADSL et le central d'abonné auquel il est raccordé doit répondre aux critères qu'impose ADSL en fonction du débit offert. Ces restrictions de distance limitent l'offre ADSL aux zones urbaines exclusivement. [27]

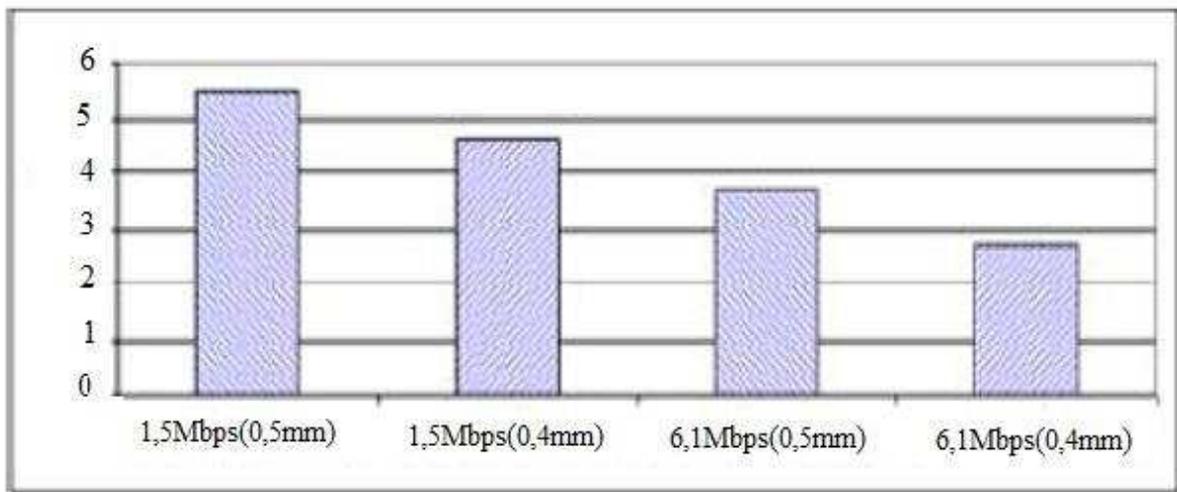


Figure 1.4 : *Limitation en débit et distance avec le diamètre du câble*

1.9 Le dégroupage

Le dégroupage permet à un opérateur d'utiliser la boucle locale d'un opérateur concurrent pour acheminer son propre trafic.

1.9.1 Accès dégroupé à la boucle locale

Deux possibilités :

- un accès totalement dégroupé
- un accès partagé à la boucle locale, celle-ci restant la propriété de l'opérateur téléphonique, qui ne fait que la "louer" à ses concurrents.

1.9.1.1 Accès totalement dégroupé à la boucle locale

Le bénéficiaire dispose d'un accès à la boucle locale de l'opérateur téléphonique autorisant l'usage de la totalité du spectre de fréquences disponibles sur la paire torsadée métallique. Le client final n'est alors plus un abonné de l'opérateur.

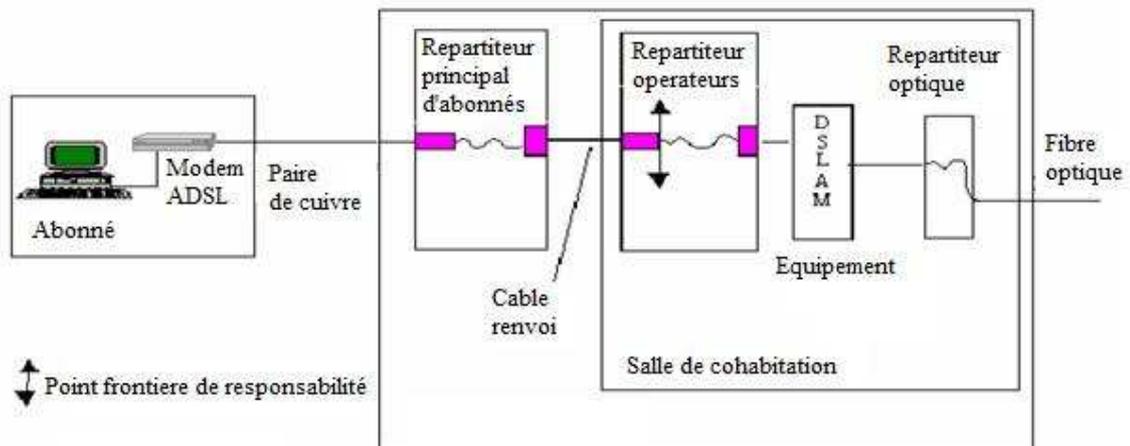


Figure 1.5 : Accès partagé à la boucle locale

1.9.1.2 Accès partagé à la boucle locale

Le bénéficiaire dispose d'un accès à la boucle locale de l'opérateur téléphonique, autorisant l'usage des fréquences non vocales du spectre de fréquences disponibles sur la paire torsadée métallique ; la boucle locale continue d'être utilisée par l'opérateur pour fournir le service téléphonique. [27]

1.9.2 La colocalisation

C'est l'obligation pour l'opérateur téléphonique de fournir un local et les ressources techniques nécessaires à l'hébergement et à la connexion des équipements techniques des opérateurs alternatifs. [12]

1.10 Conclusion

On peut admettre qu'aux hautes fréquences, les problèmes liés aux distances sont les plus contraignants (affaiblissement, diaphonie, distorsion de phase). Aux basses fréquences, les difficultés liées aux bruits impulsionnels 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 nécessite des systèmes de transmission très performants.

CHAPITRE 2

LES TECHNOLOGIES xDSL

2.1 Historique de la technologie xDSL

Les nouvelles applications issues du développement d'Internet (téléchargement, télétravail, e-commerce) nécessitent des performances de vitesse de téléchargement que l'actuel réseau Internet ne peut offrir. L'émergence de nouvelles technologies (Fast Ethernet, ...) a permis une amélioration sensible de l'épine dorsale des réseaux, mais les derniers kilomètres de la boucle locale restent problématiques. Différentes technologies ont alors vu le jour pour résoudre ce problème (RNIS, Câble, Ligne spécialisée, xDSL). Une technologie s'est d'abord détachée : le déploiement de fibre optique jusque chez l'abonné. Cependant l'investissement s'est révélé trop onéreux. Les ingénieurs téléphoniques se sont alors rendu compte qu'il était possible de passer par la ligne téléphonique tout en augmentant le débit de la connexion. C'est le principe de fonctionnement des technologies xDSL. En effet il a été découvert que la ligne téléphonique pouvait supporter des fréquences allant de 0 à plusieurs Mhz et que le téléphone n'utilisait que les fréquences ne dépassant pas 4 KHz. La solution retenue fût donc d'utiliser la partie haute de la bande passante pour l'utilisation d'Internet.

La partie haute de la bande passante, permet en même temps à l'utilisateur d'être connecté, d'appeler ou d'être appelé.

Les technologies xDSL se divise en deux catégories : Symétrique et Asymétrique La technologie ADSL appartient à la deuxième catégorie d'où son nom (Asymmetric Digital Subscriber Line en anglais ou Ligne Numérique à Paire Asymétrique). Cette technologie est dite asymétrique car le flux descendant de données (downstream) est plus élevé que le flux montant (upstream). L'utilisation de la ligne téléphonique pour l'Internet haut débit pose trois problèmes. Il s'agit des problèmes de dissipation d'énergie, de diaphonie et de pupinisation.

2.2 Introduction

L'ADSL n'est pas simplement une technologie qui permet d'offrir un accès large bande à Internet aux abonnés résidentiels et aux petites et aux moyennes entreprises. Elle fait partie des nombreuses technologies qui peuvent être mises en œuvre pour transformer la boucle locale analogique en une véritable ligne d'accès numérique haut débit et pour éviter la saturation du

réseau téléphonique. Ces technologies sont regroupées dans une famille que l'on nomme bien souvent xDSL. Le x représente une des lettres de l'alphabet l'xDSL regroupent tout ce qui permet de faire passer des flots de données à grande vitesse sur de simples lignes téléphoniques torsadées. Il existe différentes variantes :

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

D'autres technologies dérivées existent aussi, mais on va se limiter sur l'étude de l'ADSL.

Les différences essentielles entre ces technologies sont :

- vitesse de transmission
- distance maximale de transmission
- variation de débit entre le flux montant (utilisateur/réseau) et flux descendant (réseau/utilisateur)
- le caractère symétrique ou non de la liaison.

Le point commun de ces technologies xDSL est qu'elles utilisent les paires de cuivre existantes de la boucle locale, à l'inverse de la technologie alternative. [1][9]

2.3 Les différentes technologies de xDSL

Parmi les différentes technologies xDSL, nous avons celles à transmission symétrique et celles à transmission asymétrique.

2.3.1 Transmissions symétriques

Une solution xDSL symétrique a la même vitesse de transfert en download (Internet vers utilisateur) qu'en upload (utilisateur vers Internet). Ceci est primordial pour l'hébergement d'un site au sein de l'entreprise.

2.3.1.1 HDSL(High bit-rate DSL)

HDSL offre un débit de 1,544 Mbit/s (soit le débit d'un T1) aux Etats-Unis et débit de 2,048 Mbit/s (soit le débit d'un lien E1) dans le plus part des autres pays. Les débits montant et descendant sont identiques. A ces débuts, la technologie HDSL nécessitait deux paires de cuivre et pouvait être utilisée sur un lien d'une longueur maximale de 4,5 km. La version à 2,048 Mbit/s nécessitait 3 paires de cuivre et fonctionnait sur une distance maximale de 4,5km également.

L'HDSL est particulièrement bien adapté pour:

- le remplacement de lignes T1 et E1 (réseaux d'accès des opérateurs Télécom)
- les réseaux locaux LAN
- les systèmes intégrant des PABX (Autocommutateur d'entreprise) et la voix sur IP
- d'écouler le trafic de façon symétrique mais nécessite deux ou trois paires de cuivre.
- alloue la même largeur de bande dans le sens montant que dans le sens descendant.
- d'avoir un débit de 2 Mbits/s, ce dernier pouvant tomber à 384 Kbits/s en fonction de la qualité de la ligne et de la distance (limitée à 4,5km). [11]

2.3.1.2 SDSL (Symmetric DSL ou Single line DSL)

C'est la version monoligne de HDSL, mais plus limitée en distance. Le SDSL est tout à fait adapté à la visioconférence, aux travaux en groupe sur réseaux LAN interconnectés et est une solution pour le remplacement des T1/E1.

Si le but de technologie xDSL est de réutiliser la bande locale analogique, il serait préférable de n'avoir à utiliser qu'une seule paire de cuivre. C'est le cas de la technologie SDSL qui fonctionne jusqu'à une distance de 3km. Le précurseur de la technologie HDSL2 est le SDSL.

Comme HDSL, SDSL supporte les transmissions symétriques sur T1 et E1, cependant, elle diffère de HDSL par trois points importants :

- la transmission se fait sur une paire torsadée
- la longueur de la boucle locale est limitée à 3,6km
- le débit est limité à 768 Kbits/s. [9][15]

2.3.1.3 SHDSL (Single-pair High-speed DSL)

La dernière solution symétrique SHDSL (Single-pair High-speed DSL) en date (2002) rassemble les technologies HDSL et HDSL2 et SDSL. Les taux de transfert (en charge utile) sont identiques dans les deux directions et peuvent varier de:

- 192 Kbits/s à 2,3 Mb/s en mode deux fils (une paire) ;
- 384 Kbits/s à 4,6 Mb/s en mode quatre fils (deux paires).

Cette solution utilise toute la bande passante de la ligne téléphonique. Il n'est donc plus possible d'utiliser la ligne téléphonique en même temps. L'utilisation de filtres n'est donc plus non plus nécessaire. Ces lignes permettent également le passage de signaux téléphoniques "numérisés" de type normal ou ISDN via des appareils spécifiques (PABX par exemple).

L'autre spécificité d'une connexion SHDSL vient du débit. La ligne est configurée pour un débit fixe (par exemple 2,3 Mb/s). Dans le cas où le modem ne peut atteindre cette vitesse, il n'y a pas de connexion. Ceci doit permettre un débit fixe. Néanmoins, quelques fabricants autorisent une auto détection de la vitesse par le modem des vitesses intérieures. La distance maximum est de 5 km sur une simple paire de cuivre. [9][15]

2.3.2 *Transmissions asymétriques*

En étudiant différents cas, on s'est aperçu qu'il était possible de transmettre les données plus rapidement depuis le central du réseau public vers l'utilisateur. Comme la concentration des câbles est plus importante lorsqu'on se rapproche du central, ces derniers génèrent donc plus de diaphonie à proximité du commutateur. Les signaux provenant de l'utilisateur, plus atténués, sont plus sensibles au bruit causé par ces perturbations électromagnétiques. Il est donc préférable de transmettre en basse fréquence (ou sur une bande de fréquence moins large) les données issues de l'utilisateur.

L'idée est l'utilisation d'un système asymétrique, en imposant un débit plus faible de l'abonné vers le central. Les systèmes utilisant cette technique ont été nommés ADSL. Il en existe au moins en deux variantes: le RADSL et le VDSL

Ces solutions asymétriques sont assez caduques pour l'hébergement de site Internet important par exemple. En effet, dans le cas d'un raccordement par ADSL asymétrique, la vitesse de transfert

serveur Internet vers l'utilisateur est nettement supérieure à la vitesse de transfert utilisateur vers serveur. Par contre, ceci peut tout à fait fonctionner pour l'hébergement d'un petit site d'amateur.[13]

2.3.2.1 ADSL (Asymmetric DSL)

Cette technologie permet de numériser la partie terminale de la ligne de l'abonné et de faire supporter simultanément sur une paire de fils de cuivre le service téléphonique de base et des flux de données numériques à très haut débit. Elle nécessite l'installation d'un filtre et d'un modem spécifique à chaque extrémité du réseau (central téléphonique, équipement abonné). La technique de transmission asymétrique offre deux canaux destinés aux données, avec un débit maximal (de 8Mbit/s dans le sens réseau/abonné et de 640 kbit/s dans le sens inverse) variable selon le code en ligne utilisé et la distance de raccordement. ADSL libère en outre un peu de bande passante pour conserver le canal téléphonique de 4 kHz. Cette technologie se trouve être adaptée au multimédia par Internet, le flux descendant (ou canal de diffusion) étant beaucoup plus important que le flux montant (ou canal d'interactivité). ADSL convient bien aux applications interactives du type vidéo à la demande (VOD), aux services audiovisuels interactifs fournissant plusieurs canaux TV, et permet une interconnexion entre réseaux. ADSL préservant le canal de voix, il est donc possible de téléphoner tout en «surfant sur le web». [4][9][16]

2.3.2.2 VDSL (Very High bit-rate DSL)

Le nouveau membre de la famille xDSL offre des débits impressionnants. Mais sur une courte distance. Lorsqu'une seule paire de cuivre est utilisée, on arrive à une distance maximale d'utilisation de l'ordre de 1,4 km. Cette distance est très faible, cependant, elle peut être augmentée en utilisant de la fibre optique, du fournisseur jusqu'à un ONU (Optical Network Unit) proche de l'utilisateur. A partir de cet ONU ce dernier peut être connecté en VDSL.

La technologie VDSL supporte également le transport de cellules ATM (Asynchronous Transfer Mode).

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

- descendants de 13 à 52 Mbits/s
- ascendants de 1,5 à 2,3 Mbits/s. [9][16]

2.3.2.3 RADSL (Rate Adaptative DSL)

La technologie RADSL (Rate adaptative) a été développée pour régler certains problèmes des premières versions de l'ADSL, particulièrement ceux liés à l'utilisation de la modulation CAP. En fait, au début de l'ADSL, une fois qu'une liaison ADSL était mise en place sur la boucle locale, le débit montant et descendant étaient fixés une fois pour toutes. Mais le débit, en particulier le débit descendant, peut varier d'un endroit à l'autre et d'une paire de câble à une autre : typiquement par incrément de 32 ou 64 kbits/s. Par exemple, une ligne ADSL peut atteindre un débit 640 kbits/s dans un appartement alors que celle du voisin n'atteindra que 576 kbits/s.

La technologie RADSL est typiquement utilisée lorsque les conditions de transmission de la liaison peuvent varier dans le temps. Elle permet d'atteindre le débit maximal possible de la liaison quelles que soient les variables des conditions de ligne. Avec RADSL (Rate Adaptive DSL), la vitesse de la transmission est fixée de manière automatique et dynamique, selon la qualité de la ligne de communication. Aussi longtemps qu'il fut question de transfert de données vidéo, il fut hors de question de faire varier le débit. Dans ce cas précis, il est nécessaire de faire un traitement synchrone. Cependant, depuis l'échec du VDT (Video Dial Tone), qui a subi la concurrence de la TV câblée et par satellite, d'autres applications sont apparues :

- les architectures client/serveur
- l'accès aux réseaux à distance
- l'Internet et le multimédia. [9][16]

2.3.2.4 CDSL-Consumer DSL

Bien que proche de l'ADSL et de RADSL, la technologie CDSL est suffisamment différente pour que l'on puisse en parler ici. Les performances en termes de débit et de distance maximale d'utilisation sont plus modestes que celle de l'ADSL et de RADSL, mais CDSL possède un avantage unique. La technologie CDSL ne nécessite pas d'équipement « splitter » au niveau de

l'abonné. La fonction de splitter installé est de permettre à l'abonné de continuer d'utiliser les équipements dont il dispose déjà, comme son téléphone et son fax. [9][16]

2.3.2.5 IDSL-ISDN DSL

Cette technologie utilise les deux canaux B et le canal D du RNIS classique comme une seule liaison à 144 Kbits/s. Dans cette configuration, ce lien BRI n'est plus connecté au commutateur d'abonnés mais à un équipement xDSL. La technologie IDSL utilise une paire de cuivre classique et fonctionne jusqu'à une distance de 5,5 km.

Le RNIS était prévu pour numériser la boucle locale analogique il y a quelques années et fut ainsi la première technologie DSL. [9][16]

2.4 Les services offerts par les technologies xDSL

De multiples services, de nouvelles applications sont désormais accessibles aux usagers (avant l'utilisation des technologies xDSL, ils étaient souvent difficilement concevables) :

- La vidéo à la demande (VoD) permet d'accéder à tout programme vidéo qui vous intéresse et ceci à n'importe quel moment. La VoD permet par exemple de regarder les extraits d'un film récent, avant de se décider d'aller le voir au cinéma.
- Les technologies xDSL permettent de jouer en réseau, les jeux étant accessibles depuis un serveur.
- xDSL favorise le développement du commerce en ligne. Regarder un spot du lieu de ses prochaines vacances, écouter des extraits de musiques de qualité CD ou regarder des vidéos de qualité MPEG2 permet d'attirer le futur acheteur de le faire décider.
- La vidéo conférence avec une grande qualité d'images, améliore les communications.
- xDSL permet le vrai télétravail. L'employé travaille de chez lui, sur un réseau LAN virtuel avec d'autres télétravailleurs et ceci avec tous les avantages d'un réseau local : accès à un serveur d'applications, partage de fichiers... De plus, xDSL permet d'interconnecter des réseaux LAN entre eux. Des universités, des laboratoires peuvent ainsi relier leurs réseaux LAN locaux entre eux de manière transparente.
- Télé médecine : un service client/serveur permet d'accéder à une base de données sur les patients, les diagnostics, les données graphiques produites par rayons X... Les docteurs peuvent apporter de meilleurs soins à leurs patients en travaillant en collaboration avec

d'autres docteurs. Le dossier médical d'un patient peut être transféré à un spécialiste pour consultation. En cas d'urgence, un hôpital peut retrouver l'historique médical du patient. [4][5]

2.5 Croissance du xDSL

Le DSL demeure un des secteurs économiques ayant la croissance la plus rapide au monde, se dirigeant vers un marché grand public global de 310 millions d'abonnés vers la fin de 2008, et ce en dépit du ralentissement économique actuel.

Comparativement, le DSL est également la principale technologie d'accès à large bande, s'accaparant à lui seul environ 45% du marché large bande grand public mondial, suivi des modems câblés (38%) et de l'Ethernet-gigabit (4,7%) et de la fibre optique.

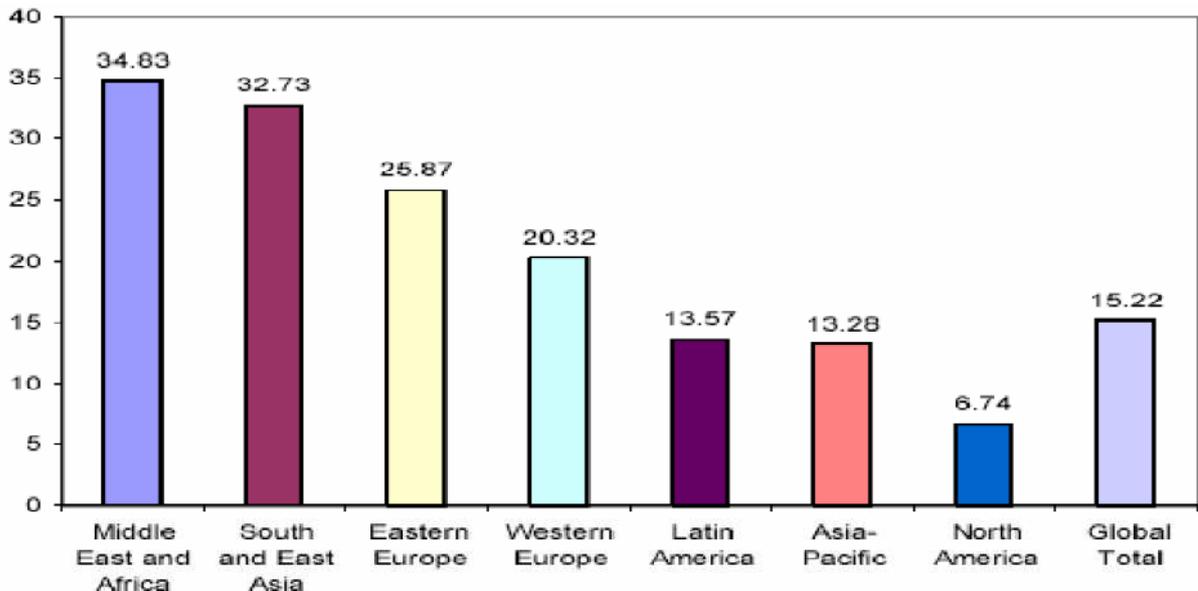


Figure 2.1 : Croissance du xDSL

2.6 Conclusion

Les technologies xDSL ne sont déployées qu'à la demande de client. Un fournisseur doit minimiser le coût d'investissement dans une infrastructure et faire du mieux la qualité de service offerte. Des mises initiales sont bien sûr nécessaires, mais il reste minime par rapport aux autres technologies.

Les technologies xDSL ne nécessitent pas de modifications logicielles des commutateurs d'abonnés existants. Dans la plupart des cas, un équipement splitter est nécessaire, il dirige les communications vocales vers les commutateurs d'abonnés et tous les autres services sont supportés par des serveurs et routeurs séparés.

Le marché de ces technologies xDSL est vaste. Il s'agit des abonnés résidentiels, des petites sociétés et même certaines grandes organisations. Ces technologies présentent des différences entre elles mais elles offrent toutes les mêmes services. Il suffit de savoir ce que l'on a besoin.

Une chose intéressante est le fait que certaines technologies xDSL peuvent s'interfacer à différents types d'équipements clients. Comme des ordinateurs, des réseaux locaux, des téléviseurs, etc.

CHAPITRE 3

LA TECHNOLOGIE ADSL

3.1 Introduction

A l'heure actuelle, la plupart des applications utilisant les services de transmissions numériques sont asymétriques. La vidéo à la demande, le télé-achat, l'accès à Internet, l'accès à distance à des réseaux locaux, les services multimédias...requièrent des hauts débits dans le sens descendant (vers l'abonné), mais relativement peu dans le sens ascendant. La technologie ADSL apparaît donc comme la plus intéressante à utiliser de la famille DSL.

3.2 Les problèmes

Les lignes téléphoniques en existence relient aujourd'hui le monde entier ensemble dans un réseau de transmission de géant. Ces lignes téléphoniques semblent comme elles seraient un choix logique pour un raccordement à l'Internet pour n'importe qui avec l'accès de téléphone dans le monde. Le problème est la ligne physique elle-même. La ligne de cuivre tordue a été développée un siècle précédent et n'est pas proportionnée pour les quantités croissantes de données qui doivent être transmises au-dessus de l'Internet. D'autres techniques coûteuses prendront du temps pour se mettre en application, et ne seront pas disponibles pendant des années pour venir. Dans l'intérim, il est nécessaire de développer une technologie pour augmenter la vitesse de la transmission de données au vieux service téléphonique plat existant (POTS).

Quand un signal est introduit dans une direction, et un autre signal est introduit dans une autre direction, l'interférence se produit entre les lignes. Afin de résoudre cette interférence, le taux de transmission doit être réduit. Si, cependant, la majorité de données entraînent dans une direction, le problème de l'accouplement est sensiblement réduit et le taux de transmission de données peut être considérablement augmenté.

Puisque la majorité du trafic d'Internet est unidirectionnel, une technologie pourrait être conçue en utilisant cet écoulement continu des données. Il doit y avoir une allocation pour une certaine transmission dans l'autre direction (demandes de TCP/IP, réponses, etc.), mais on peut assumer que la majorité du trafic est dans une direction. [17]

L'ADSL est conçu pour la transmission descendant de grande vitesse, avec des vitesses modérées pour la transmission ascendante. C'est une solution possible au problème avec les vitesses d'Internet qui peuvent être mises en application dans une période courte.

3.3 Les solutions

Le concept de l'ADSL a été à l'origine conçu par Bellcore en 1989. Les compagnies de téléphone étaient intéressées par la technologie sur demande de vidéo (VoD) comme source additionnelle de revenu. VoD enverrait à excédent de vidéo les lignes téléphoniques existantes pour le divertissement, une alternative à la location visuelle. Les concepteurs originaux de l'ADSL se sont rendus compte que la transmission serait la plupart du temps asynchrone (les signaux vidéo étant envoyés à l'utilisateur). En tirant profit de la nature asynchrone de ce signal, ils pourraient réaliser une sortie plus élevée d'un signal.

Téléphonez à l'intérêt par la suite perdu de compagnies en employant l'ADSL pour la vidéo sur demande. Les locations d'industrie et de film du câble TV ont eu la majorité du part de marché, et l'analyse du marché a montré le petit intérêt du consommateur en recevant la vidéo au-dessus des lignes téléphoniques. Par ce temps, cependant, une nouvelle technologie s'était développée qui exigerait les lignes téléphoniques existantes d'excédent d'accès à grande vitesse. L'Internet, et spécifiquement le World Wide Web, devenaient rapidement une partie de vie quotidienne. Pendant que le World Wide Web se développe et évolue, la conception d'enchaînement devient plus complexe. Les graphiques, les diagrammes, l'animation et le bruit deviennent communs sur beaucoup de web sites. Tous ces dispositifs ont comme conséquence de plus grandes pages pour télécharger de l'Internet. Le besoin décalé à un accès plus rapide d'Internet.

Plusieurs options ont été proposées pour cet accès, FTTC (fibre au bord), FTTN (fibre au noeud), FTTH (fibre à la Chambre), et HFC (coaxial hybride de fibre). Toutes ces réalisations ont été basées pour remplacer les lignes téléphoniques existantes par des lignes plus avancées. Ces options étaient à court terme dues peu lucratif considéré aux grands frais généraux d'installer de nouvelles lignes téléphoniques. L'ADSL avait été conçu donnent l'accès à grande vitesse sur ces lignes téléphoniques existantes. [17]

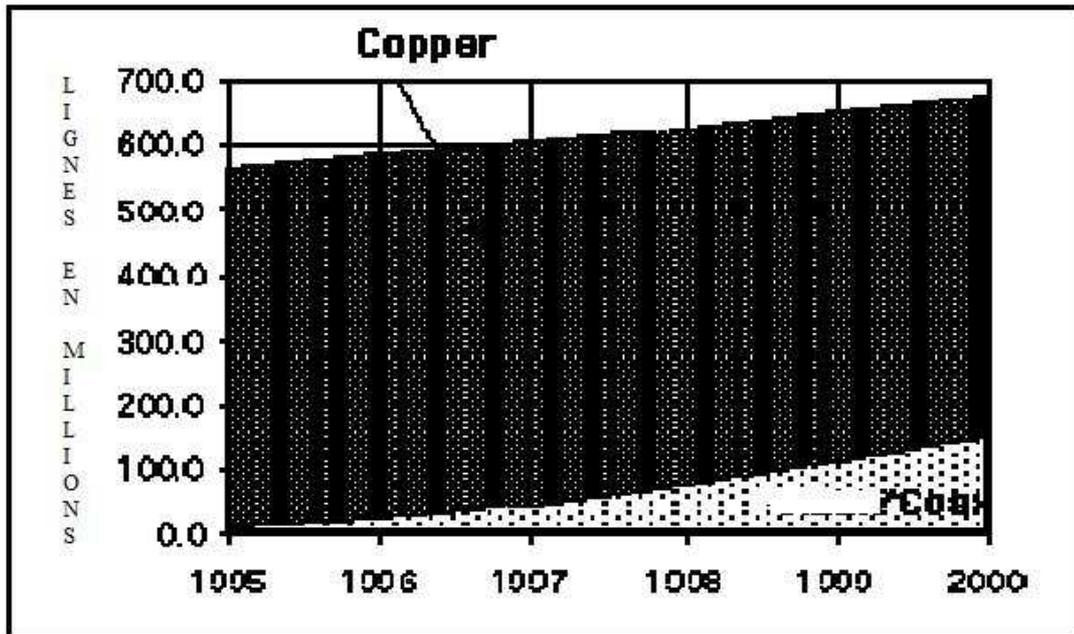


Figure 3.01 : *Utilisations de la paire cuivre, de la fibre optique et du câble coaxial en local*

Les compagnies ont commencé à regarder à l'ADSL comme alternative à court terme à remplacer le vieux service téléphonique plat existant (POTS). Le diagramme ci-dessus compare le nombre de lignes téléphoniques de cuivre en existence comparé au nombre de lignes de fibre et de coaxial prévues pour être en existence jusqu'à l'année 2000. Il est évident que les lignes de cuivre domineront l'industrie de télécommunications bien dans le 21^{ème} siècle. [19]

3.4 Principes de base de fonctionnement

ADSL ne concerne que la couche physique et traite les signaux émis entre deux points, essentiellement sur le lien entre l'abonné et son central auquel l'on se réfère sous la fameuse appellation de « dernier kilomètre ».

L'idée d'utiliser l'infrastructure déjà en place des paires téléphoniques reliant pratiquement chaque foyer à un central de son opérateur national était fort intéressante d'un point de vue économique, mais il s'est trouvé qu'il y avait aussi encore beaucoup à faire avec une simple paire de cuivre torsadée, dont l'utilisation qui en était faite avec le téléphone laissait énormément de marge qui jusque là était encore totalement inexploitée.

En effet, le service de téléphonie analogique traditionnel que nous connaissons (POTS: Plain Old Téléphone Service) opère dans une bande de fréquence relativement restreinte s'étalant entre 300Hz et 3400Hz. Cela laisse une très large bande de fréquence au-dessus de la limite des 3400Hz de la voix complètement inexploitée, et c'est dans cette plage de fréquences que s'est immiscé ADSL, en laissant par la même occasion le service POTS totalement intact et non perturbé.

Dès lors, ADSL s'est ouvert l'accès à des débits largement supérieurs à ceux qui étaient alors offerts à travers la ligne téléphonique avec un modem 56 Kbits/s ou même ISDN et ses 64 Kbits/s, et ce sans installer le moindre câble supplémentaire entre le domicile de l'abonné et les installations centrales. Il suffit simplement de filtrer les deux types de communications aux deux extrémités de la ligne d'abonné: à domicile au niveau de la prise téléphonique, et à quelques kilomètres de là au niveau du répartiteur du central d'abonné auquel la ligne est raccordée. [4]

Pour exploiter au mieux toute la bande passante disponible sur une paire téléphonique, dont le spectre de fréquence est compris entre 0 et 1,104 MHz, ADSL pratique la division de la largeur de bande totale en 256 sous-canaux distincts espacés de 4,3125 kHz. Les canaux inférieurs sont généralement réservés au POTS, ainsi les canaux 1 à 6 (jusqu'à 25,875 kHz) sont en principe laissés pour la téléphonie analogique, et dans le cas d'une ligne numérique ISDN, ce sont les canaux 1 à 28 (jusqu'à 125 kHz) qui sont laissés intacts pour la transmission de la voix. Les canaux restants sont donc entièrement dédiés à l'ADSL, qui les sépare en deux groupes distincts dédiés au flux montant d'une part, et au flux descendant de l'autre.

La division de la largeur de bande totale en sous-canaux distincts et égaux est obtenue grâce à une technique de modulation propre à ADSL que nous étudierons plus en détail dans le chapitre VI, il s'agit de la modulation dite DMT (pour Discrete Multi Tone). D'autres techniques comme FDM (Frequency Division Multiplexing) ou EC (Echo Cancellation) permettent la répartition des plages réservées à l'upstream et au downstream parmi les canaux qui ont été créés. [4][10]

En général, on utilise les canaux inférieurs pour le débit upstream car les équipements des utilisateurs ont une puissance d'émission plus faible que l'équipement installé au central donc en émettant dans les fréquences inférieures, le signal subira une plus faible atténuation et on utilise les canaux supérieurs pour le débit downstream car les équipements situés au central sont fortement perturbés par les appareils de transmission en fréquences élevées donc il apparaît plus efficace d'émettre dans les canaux supérieurs afin de bénéficier d'un meilleur rapport signal/bruit.

Mais le spectre de fréquences de la paire de cuivre est limité. En effet, en hautes fréquences, les problèmes liés à la distance sont les plus contraignants (affaiblissement, diaphonie, distorsion de phase). De plus, au-delà de 1 Mhz, les difficultés liées aux bruits impulsionnels deviennent délicates, car les perturbations deviennent trop grandes pour permettre un flux stable et cela nécessite des systèmes de transmission très performants. En contrepartie, la technologie ADSL profite d'une nouvelle génération de processeurs DSP (Digital Signal Processor) plus puissants et aptes à exécuter une transmission simultanée et des corrections indispensables aux débits fournis, de manière à réduire les effets du bruit sur la ligne, qui s'y trouve de plus en plus vulnérable, plus les signaux qui l'empruntent montent en fréquence.[23]

Cela permet une meilleure utilisation de la paire téléphonique et des performances accrues, mais il n'en reste pas moins qu'ADSL possède aussi ses limites.

3.5 Spectre de fréquence ADSL

Le spectre de fréquences ADSL héberge trois canaux : un canal de diffusion haut débit dans le sens réseau-abonné pour recevoir des données (débit de plusieurs Mbit/s), un autre canal de diffusion dans le sens abonné-réseau pour émettre, qui ne demande pas un débit important : par exemple 640 kbit/s pour interagir sur cette diffusion et transmettre des données de la part de l'utilisateur, et un canal réservé à une communication téléphonique classique.

La base du système est constituée d'un multiplexeur d'accès ADSL qui multiplexe les flux voix provenant des réseaux de commutation de circuit et le flux vidéo en provenance du réseau haut débit. Chez l'utilisateur, une terminaison numérique ADSL achemine le flux voix vers le poste téléphonique et le flux vidéo vers le récepteur de télévision.

Les modems effectuent un traitement spécifique du signal pour réduire l'influence du bruit et supprimer les échos parasites. Ces techniques permettant d'atteindre un débit de plusieurs Mbits/s sur une distance de quelques kilomètres. [4][26]

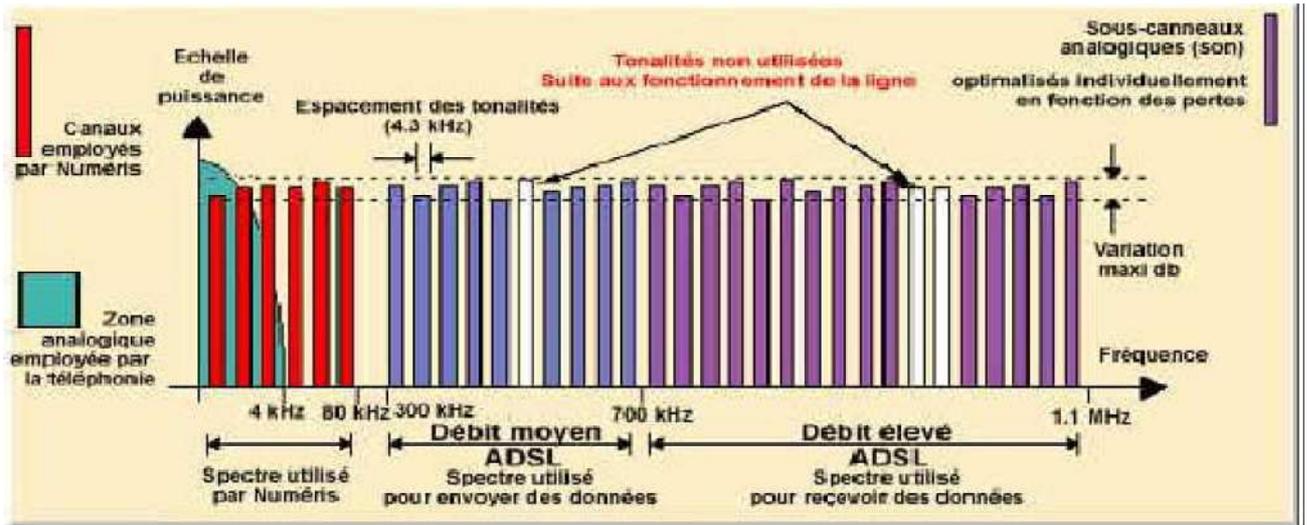


Figure 3.02 : Spectre de fréquence spécifique à la technologie ADSL

3.6 Architecture ADSL

Malgré la confusion sur les rapports entre SDSL, xDSL, et ADSL, une chose est sûre: ADSL est le plus normalisé de tous, en termes de documentation disponible, évaluations de service, et spécifications ouvertes. La figure ci-dessous montre la structure élémentaire d'un système ADSL. Bien que le schéma puisse sembler un peu complexe, l'arrangement général des composants ADSL est direct. Entre les interfaces, divers blocs fonctionnels sont définis. Ils peuvent être rassemblés par des vendeurs d'équipement ADSL en des produits qui fournissent les fonctions nécessaires.

Les fabricants sont libres d'apporter les options ou les améliorations qui sont nécessaires.

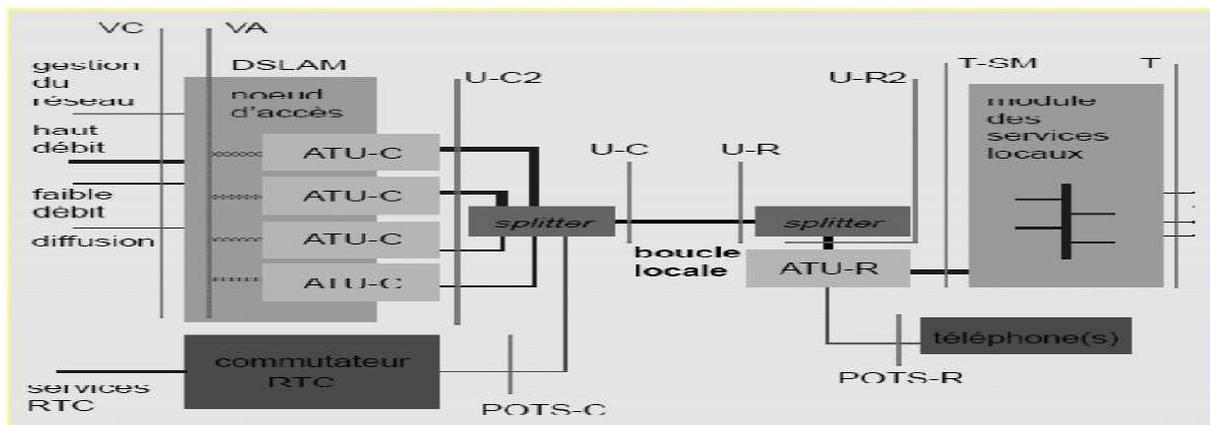


Figure 3.03 : Architecture ADSL

Une des caractéristiques importantes de l'ADSL est le fait qu'il supporte le service analogique de voix (plain old telephone service, ou POTS). Un dispositif spécial appelé splitter impose la voie analogique de 4KHz entre le commutateur et l'équipement analogique de l'abonné.

Beaucoup de services sont imaginés pour le système ADSL, incluant la transmission large bande et la diffusion numérique (vidéo et accès Internet), ainsi que la gestion du réseau.

Tous ces services sont accédés 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 parfois appelé DSLAM (DSL module d'accès). Bien qu'un DSLAM puisse certainement alimenter l'accès de service aux lignes ADSL, une architecture complète d'un DSLAM est beaucoup plus complexe que celle illustrée sur le schéma.

Certaines des interfaces présentées sur le schéma sont optionnelles. L'interface T-SM entre le ATU-R et le module de service pourrait dans certains cas être le même que l'interface T, surtout si le module de service est intégré dans l'ATU-R. Si l'interface T-SM existe, on peut desservir plusieurs types de périphériques incluant les réseaux locaux. Par exemple, un ATUR pourrait avoir les deux connecteurs: 10Base-T Ethernet et V.35. Les diverses interfaces U ne pourraient pas exister si le *splitter* était une partie intégrante du ATU-C, ou si le *splitter* disparaîtrait entièrement. C'est la nouvelle tendance parmi les vendeurs d'équipement, mais cela empêche l'utilisation des téléphones analogiques sur la même ligne. [4][21]

Les interfaces V pourraient être logiques plutôt que physiques, ce qui est surtout vrai de l'interface VA si le DSLAM où accède l'ADSL exécute certaines tâches de commutation.

Enfin, les installations d'ADSL dans les locaux de client peuvent prendre diverses formes. Cela peut être aussi simple qu'une paire de fils raccordée aux périphériques, tels qu'un poste de TV ou un ordinateur personnel, et aussi complexe qu'un réseau local Ethernet

3.7 La norme ADSL

3.7.1 G.dmt

La norme ITU 992.1, ou G.dmt, ou encore full-rate ADSL, reprend le principe de la modulation DMT standardisée par l'ANSI et en a fait un standard mondial.

Cette modulation est de loin la plus répandue actuellement, et spécifie des débits jusqu'à 864 Kbps en flux montant, et 8 Mbps en flux descendant.

Il existe aussi une adaptation de G.dmt pour les accès ISDN qui porte le nom de G.992.1 Annex B.

3.7.2 G.Lite

La norme ITU 992.2, ou G.Lite, est une version allégée de G.dmt, et qui spécifie l'usage d'ATM comme protocole de couche basse.

La norme définit une nouvelle architecture matérielle au niveau des modems, en préconisant l'utilisation de filtres distribués et intégrés directement sur les équipements connectés à la paire de cuivre, ainsi il n'y a plus de séparateur central mais des micro-filtres en amont de chaque téléphone, modem ou fax.

C'est la raison pour laquelle il est aussi fait référence à ce standard sous la dénomination de splitterless.

Le débit maximum avec G.Lite est de 512 Kbits/s en flux montant et de 1,5 Mbits/s en flux descendant.

3.7.3 G.hs

La norme ITU 994.1, ou G.hs, intervient lors de la phase de pré-activation d'une session sur ADSL, et correspond au protocole de contrôle de flux que l'on peut retrouver dans PPP (hs tient pour handshake), qui va permettre aux modems DSL qui sont de chaque côté de la ligne de négocier plusieurs paramètres propres au mode de connexion qui sera adopté, et de se synchroniser entre eux.

Parmi les paramètres négociés il est question de la vitesse qui sera retenue, ainsi que des considérations propres au service et aux particularités requises par l'application.

La recommandation G.994.1 est actuellement partie intégrante des procédures de pré-activation pour G.992.1 (G.dmt) et G.992.2 (G.Lite). [26]

3.8 Comparaison des performances de l'ADSL à celles des modems existants (V.90)

Une comparaison n'est ici pertinente que si l'on s'intéresse à deux produits visant un marché concurrentiel. Les modems développés par la technologie X2 par 3Com, ou K56flex par Rockwell respecte la norme V.90 définie selon l'IUT-T, permettant un transfert de données maximal de 56 kbit/s dans le sens réseau/abonné et moins dans le sens inverse. La technologie ADSL est particulièrement bien adaptée sur ce segment de marché. Les modems ADSL pourront transporter des données de tailles importantes contenant aussi bien de la vidéo, du son etc. De part son asymétrie, cette technologie permet des débits adaptés à la charge de travail demandée, soit un débit de 8Mbit/s dans le sens réseau/abonné et de 640 kbit/s dans le sens inverse. De plus elle dispose d'un canal pour les communications téléphoniques dans une bande passante de 4kHz tout à fait adaptée à cet usage. Ainsi l'utilisateur peut se connecter à Internet et recevoir un appel sur sa propre ligne téléphonique.

Un modem classique respectant la norme V.90 se trouve donc pénalisé par un débit restreint (au maximum 56 kbit/s et encore si le fournisseur d'accès est doté d'une infrastructure supportant le débit théorique maximal de ces modems) ce qui se traduit par des connexions plus coûteuses aussi bien pour le particulier que pour les PME/PMI, car le coût est proportionnel à la durée de connexion. La qualité de transmission n'est pas aussi confortable que celui-ci des modems ADSL (des composants analogiques équipent encore des modems classiques tandis que l'on vise le tout numérique pour les modems ADSL). Ce dernier met en place des techniques numériques et de correction d'erreurs de plus en plus élaborées permettant des performances optimales avec une qualité bien supérieure. Au vu des résultats, il est certain que ces super modems vont diminuer la facture de l'utilisateur et surtout il va permettre un service de bien meilleure qualité. La fabrication de ces supers modems en vue d'une consommation de masse va permettre une diminution du prix de revient unitaire.

Cependant l'ADSL rencontre deux problèmes.

D'une part, des perturbations sont engendrées par la ligne de cuivre, d'autre part la vitesse du procédé décroît avec la distance : la vitesse est de 8 Mbit/s sur une ligne de moins de deux kilomètres, elle passe à 1 Mbits/s sur une ligne de cinq à six kilomètres. Les performances des systèmes dépendent du profil et de l'état de la ligne de cuivre. Celle-ci n'étant pas constituée d'un seul câble continu, mais de plusieurs tronçons reliés entre eux, c'est au moment du passage à ce

point de jonction que le signal transmis peut se dégrader et réduire la vitesse de transmission. En prime, deux lignes téléphoniques installées trop proches l'une de l'autre ont tendance à se parasiter. Avant de déployer les modems ADSL, les opérateurs doivent donc tester la qualité de leur réseau afin d'évaluer les caractéristiques exactes des lignes d'abonnés et, éventuellement, de corriger les erreurs rencontrées. Reste que tous ces problèmes sont en passe d'être résolus : la quasi-totalité des opérateurs a en effet lancé des expérimentations afin de tester la viabilité économique des services et de résoudre les problèmes techniques qui subsistent. [21]

3.9 Les raisons d'investir dans l'ADSL

L'ADSL fournit un accès très rapide à l'Internet et aux réseaux locaux à distance : 100 fois plus vite qu'un modem 56 kbit/s (à la norme V.90). L'ADSL permet de faire du temps réel, du multimédia interactif et de la diffusion de vidéo de qualité « broadcast » pour des services tels que la vidéoconférence, la diffusion à la volée de clips sonores et vidéo sur Internet, l'accès aux services de vidéo à la demande ou de formation à distance. L'ADSL donne accès simultanément au vocal et aux données, et il n'est plus nécessaire de dédier la ligne de l'abonné à l'un de ces services. Sur les modems classiques, la connexion à Internet privait l'utilisateur de la ligne téléphonique par exemple.

L'ADSL est une liaison privée et sécurisée, l'utilisateur n'étant plus « commuté » pour aller de son installation à son destinataire. Il est également une liaison permanente, « always on line », qui ne nécessite plus de composer un numéro et d'attendre la connexion.

3.10 ADSL face à la solution ATM

ATM est la contraction d'Asynchronous 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 ne sont pas synchronisées. [7]

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.

3.10.1 Les Caractéristiques de l'ATM

Les caractéristiques d'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 (comme RNIS, Transpac) opposé 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). [7]

3.10.2 Les Intérêts de l'ATM

Les intérêts d'ATM sont :

- Technologie pour voix, données, images (négociation de Quality of Service)
- 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 acheminés 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. [7]

3.10.3 Les Inconvénients d'ATM

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 modifiés pour pouvoir tourner sur ATM et exploiter judicieusement les ressources. ATM n'intègre pas les services de sécurités, 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

3.10.4 ADSL et ATM

Les fournisseurs des services Internet sont très intéressés par la technologie ADSL. Ceci pour deux raisons : l'ADSL offre d'une part un accès à haut débit à Internet et d'autre part l'accès large bande. Les services large bande nécessitent une importante bande passante et des temps de transfert non seulement faibles mais aussi constants. L'architecture de l'Internet est pour instant

caractérisée par une bande passante limitée à certains endroits et des temps de transfert qu'on ne peut en aucun cas qualifier de faibles ni des constants.

Pourtant, accéder à Internet en utilisant l'ADSL et le protocole TCP/IP reste une bonne idée et les gens sont prêts à payer cher pour disposer d'un accès plus rapide à internet. Mais tous les services à large bande ne sont pas et ne seront pas accessibles par des réseaux TCP/IP. Par exemple, les utilisateurs qui ont tentés de téléphoner par Internet ont bien vite compris que le transport de la voix par le protocole TCP/IP n'est pas spécialement adapté.

Une nouvelle version de ce protocole (Ipv6) devrait apporter des améliorations dans ce domaine. Des fournisseurs de services ont aussi commencé à délivrer des services de diffusion vidéo par Internet, TCP/IP n'est pas adapté à cet usage.

Pour le moment, les serveurs ATM sont mieux adaptés à ces services sophistiqués. Cela ne signifie pas qu'ATM est un système d'exploitation mais seulement que les serveurs en question sont capables d'envoyer et recevoir des cellules ATM à un débit important, de 155 Mbit/s par exemple. L'infrastructure est déjà disponible, la technologie est bien maîtrisée et tout à fait adaptée au transport simultané différents types d'informations (voix, vidéo, données par exemple). L'ATM a été développé dans un sens, comme un protocole devant supporter des services large bande.

Lorsqu'il est utilisé pour le RNIS large bande, ATM est généralement supporté par des réseaux en fibre optique de type SONET (synchronous Optical Network). On retrouve ce type de support dans les réseaux cœur dédiés à la voix ou aux données de bon nombre d'opérateurs et il semble logique de les utiliser pour la technologie ADSL.

3.10.5 Réseaux multiservices avec ADSL/ATM

On appelle « réseaux multiservices », un réseau qui transporte sur un même support, différents services et flux d'informations associés. Ce type de réseau a toujours été l'objectif des opérateurs de télécommunications. Cela permet de mutualiser les équipements, de réduire les coûts des maintenances et de supervision puisque l'opérateur n'a plus à gérer qu'un seul réseau. Le standard international des réseaux multiservices est le RNIS large bande. Ces réseaux utilisent des commutateurs et des cellules ATM pour le transport des informations et s'appuient sur les liens

physiques SONET, en fibre optique. Il est possible de constituer un réseau multiservices en utilisant la technologie ADSL.

Tous les terminaux de l'abonné (ordinateur personnel, téléviseur, chaîne, etc....) sont connectés à un commutateur ATM par des câbles UTP cat-5 à 25 Mbit/s. Ce commutateur ATM chez l'abonné peut être intégré à l'ATU-R. Evidemment, les cellules ATM sont transmises à l'intérieur des trames ADSL sur la liaison. Elles possèdent une taille fixe de 53 octets (soit 424 bits). Il y a plus des symboles « 7 E » comme auparavant pour le protocole PPP ou d'autres protocoles de transmissions de données. En revanche, des cellules ATM spéciales « idle cells » sont insérées lorsqu'aucune donnée utilisateur n'est à transmettre. Ce processus est appelé « ATM cell rate decoupling » et permet de conserver un débit constant sur la liaison ADSL même lorsque cette dernière n'est pas utilisée par l'abonné. [7][8]

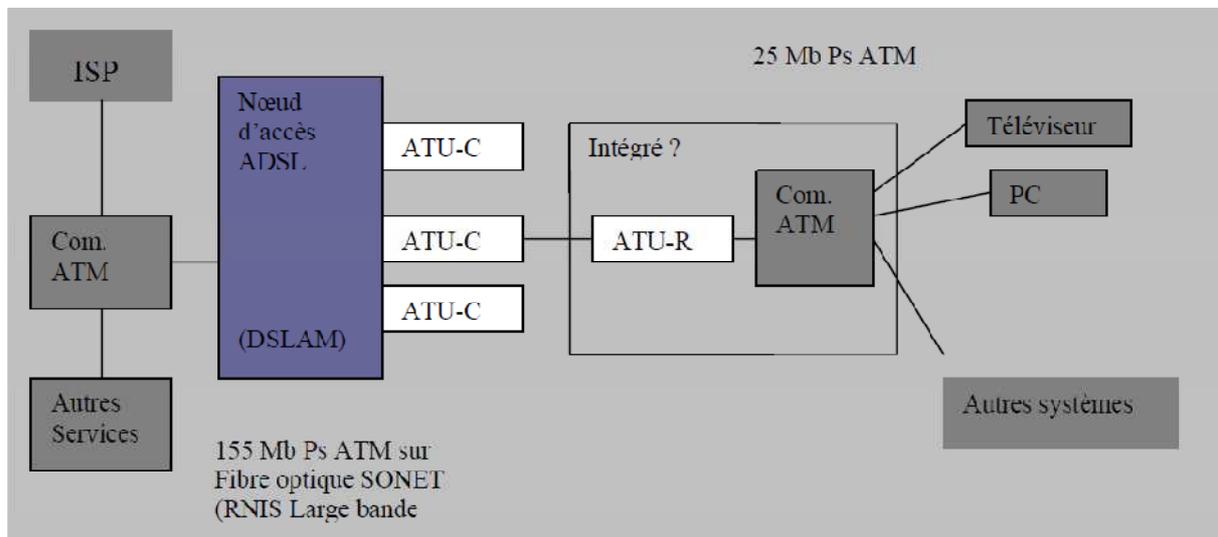


Figure 3.04 : Réseau multiservice ATM et ADSL

Du côté du fournisseur de services, l'accès aux réseaux large bande et services se fait par l'intermédiaire d'un commutateur ATM 155 Mbits/s et des liaisons en fibre optique SONET. Ces réseaux à large bande ont tout point conforme à la norme RNIS à large bande et à ses spécifications. Cette norme est généralement très bien respectée par les opérateurs car elle provient de l'organisme international UIT en charge depuis bien des années de la normalisation des services téléphoniques.

Le réseau multiservices basé sur le RNIS à large bande et l'ATM peut être émis en place grâce à l'ADSL sans que l'on soit obligé d'installer de fibre optique jusqu'à domicile de l'abonné. [4][7]

3.11 Trames ADSL

Les données sont transmises sous la forme de super-frames contenant 68 trames ADSL. Chaque super-frame contient une trame supplémentaire avec signaux de synchronisation. Chaque trame ADSL contient deux parties : le tampon rapide (fast buffer) et le tampon entrelacé (Interleaved buffer). Le tampon rapide commence avec « l'octet rapide » qui contient dans les trames 1,34 et 35 des bits à vocation administratives, il est clôturé par un CRC et des bits de corrections d'erreurs (Forward Error Correction). Le tampon entrelacé ne contient que des données.

En plus des codes treillis au niveau de la modulation, le code de correction d'erreur est du type Reed-Solomon.

La longueur du code varie en fonction des bits assignés dans les deux tampons de la trame. Les données à transmettre sont groupées en trames de 246 ms, soit 4000 trames par seconde. 69 trames sont regroupées pour former une multitrame de 17 ms. Chaque trame est composée des champs suivants :

- Fast Data : 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 : 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.

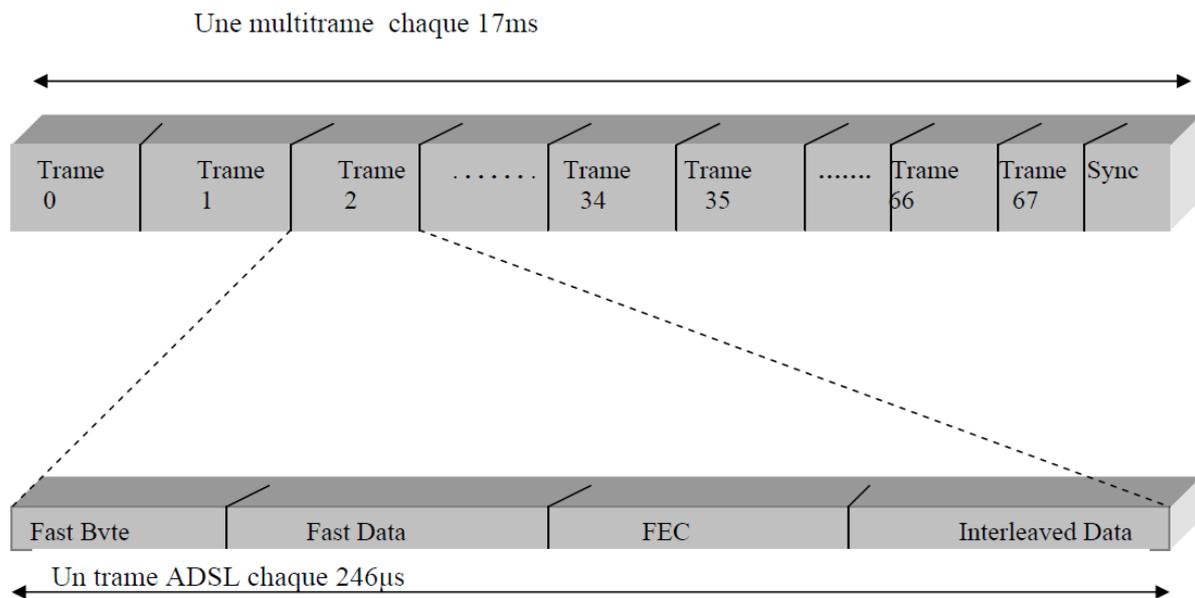


Figure 3.05 : Trame ADSL

- 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 multiframe.
- 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.

3.11.1 Détail d'une trame

On a 4 canaux possibles en downstream simplex et 3 en full duplex. Pour le full duplex, on a différentes cadences possibles qui doivent être un multiple de 32 kbps, dont une de 0 dans une ou deux directions. Donc on peut choisir si l'on veut :

- simplex en upstream ou en downstream.
- duplex.

Dans beaucoup d'implémentations on utilise juste AS0 en downstream simplex et LS0 en upstream simplex.

Canal	Type	Cadence possible
AS0	Downstream simplex	0 – 8192 Mbps
AS1	Downstream simplex	0 – 4608 Mbps
AS2	Downstream simplex	0 – 3072 Mbps
AS3	Downstream simplex	0 – 1536 Mbps
LS0	Duplex	0 – 640 Kbps
LS1	Duplex	0 – 640 Kbps
LS2	Duplex	0 – 640 Kbps

Tableau 3.1 : les canaux logiques et les cadences correspondants



Figure 3.06 : Détail de la partie rapide d'un canal downstream



Figure 3.07 : Détail de la partie rapide d'un canal upstream



Figure 3.08 : Détail de la partie entrelacement d'un canal downstream



Figure 3.09 : 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.

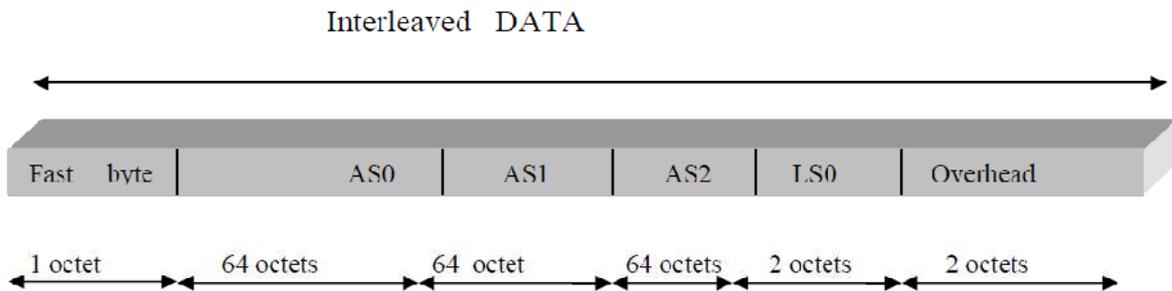


Figure 3.10 : Exemple de trame pour la transmission de $3 * 2 \text{ Mbit/s}$

Chaque trame peut être codée et modulée dans un canal DMT de 4kHz. 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.

3.11.2 Emission

Tous les blocs verts (Vitesse des trames, Encodeur constellation, IFFT, P/S, DAC, Mise en forme) représentent, les blocs pris en considération lors de nos simulations.

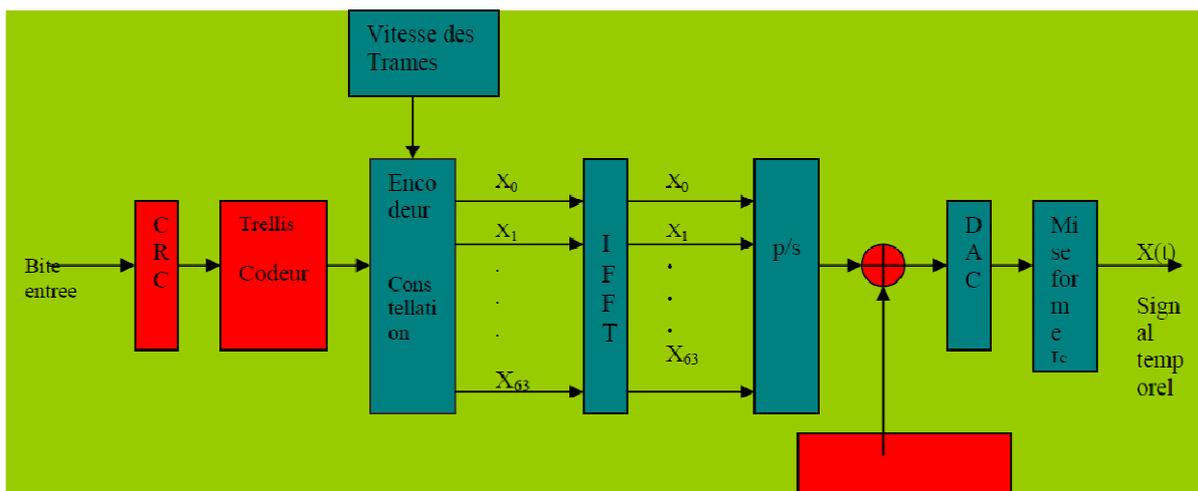


Figure 3.11 : Schéma simplifié de l'émission

- CRC et Trellis codeur

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

- Encodeur constellation

Ce bloc a pour but de coder le message binaire à transmettre dans les différents subcanaux. Afin d'émettre de nouvelles trames, ce bloc a évidemment besoin de connaître la période des trames (période d'une trame = 246 ms), ainsi que le nombre de bits que code chaque subchannel.

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 subcanaux, et la code sur un subchannel, en fonction de sa capacité de codage.

- IFFT ()

Cette fonction permet de calculer les échantillons de la trame à transmettre. Nous avons déjà soulevé qu'une trame comportait un nombre d'échantillons égal à deux fois le nombre de subchannel. Donc une trame upstream 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 léger 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 69^{èmes} trames, de sorte à garantir la cadence.

- DAC

Nos signaux étant numériques et le media analogique, il est obligatoire de transformer tous les signaux numériques en des signaux analogiques avant de les transmettre sur le media. Ce bloc 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 assure 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 simplement, le filtre de mise en forme adapte les signaux au canal. [4][7][8]

3.11.3 Réception

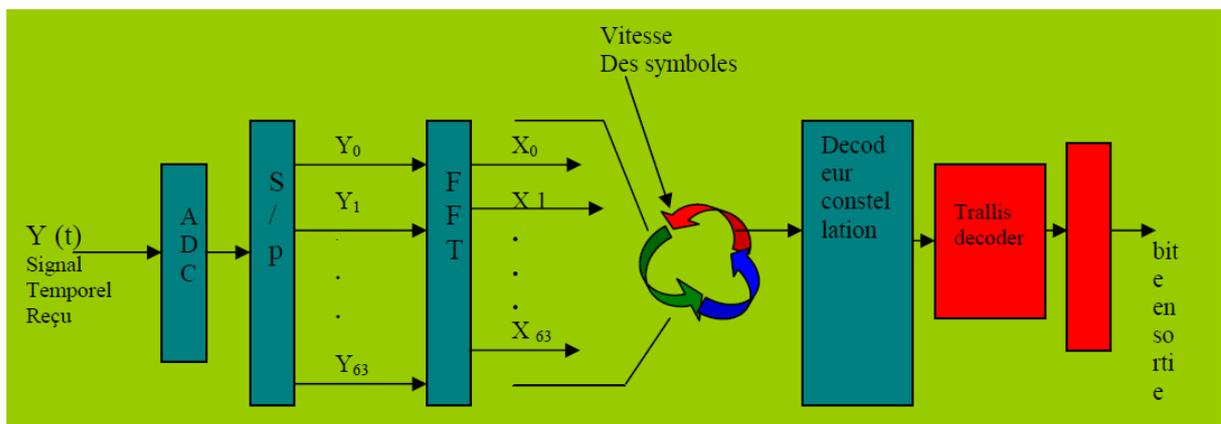


Figure 3.12 : Schéma bloc simplifié de la réception

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 FFT (), code une tranche du message émis, il suffit de décoder ces coefficients les uns après les autres, selon la constellation adéquate (nombre d'état de la constellation est égal à deux puissance n , n étant le nombre de bits que code le subchannel). 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. [8]

3.12 Les Applications :

Il existe trois types d'application pour la technologie ADSL qui sont :

- Applications communes :
 - Applications Internet (max asymétrique)
 - Visioconférence (≥ 384 kbps symétrique)
 - VoIP (Voix sur IP) (64 kbps garanti symétrique)
- Applications professionnelles : Telecommuting (1 Mbps asymétrique)
- Applications privées :
 - jeux en réseau (pas de règles, asymétrique)
 - Vidéo à la demande (2 Mbps asymétrique)

3.13 La télévision par ADSL

Avec le pilotage et le chargement de contenus à domicile, le client pourra à tout moment visionner, soit en mode de consommation immédiate (dit « streaming » c'est-à-dire envoi des images au fil de l'eau), soit en mode différé et programmé (par téléchargement) des programmes tels que :

La TV à la demande : une sélection de programmes diffusés par les chaînes TV, disponible à tout moment, en dehors des contraintes horaires de la grille de programmes. Le client pourra décider de suspendre à tout moment et reprendre quand il le Souhaite le visionnage d'une émission.

- Principe :

Pour recevoir des programmes, le matériel nécessaire chez le particulier est proche de celui requis pour la télévision par satellite. Le système est simplement composé du téléviseur, relié à un

décodeur numérique équipé d'un disque dur, le set top box. (STB), et connecté au modem ADSL via une prise téléphonique.

Les programmes commandés sont collectés chez les différents éditeurs de programmes. Les données récoltées transitent par un serveur, avant codage et décodage, puis sont acheminées en haut débit par le réseau ADSL jusqu'à leur destination finale. [5]

La technique de numérisation utilisée offre une grande qualité d'image et de son, équivalente à celle du DVD.

3.14 La télévision sur l'internet par ADSL

Mais la technologie ADSL offre également des possibilités pour la télévision sur l'Internet. Contrairement à la "télévision sur ADSL", il ne s'agit pas de placer la télévision sur un canal spécifique, mais au contraire de bénéficier de toute la bande passante disponible pour passer indifféremment la vidéo et les données. La norme ADSL prévoit 8 mb/s en voie descendante (en fait plutôt 5,5 mb/s utiles) qui n'avaient pas été utilisés jusque là en France. Ainsi, il est possible d'offrir des débits bien plus importants que les offres ADSL actuelles, offrant la place à des données consommatrices de bande passante comme la télévision. Le dégroupage total qui permet également de récupérer le canal normalement dédié à la téléphonie permet d'augmenter encore un peu ce débit (en particulier pour la voie montante qui est le parent pauvre de l'ADSL).

La difficulté pour la télévision sur l'Internet ne se situe pas là où l'on pense : dans la grande majorité des agglomérations, la ligne téléphonique qui relie le foyer au central téléphonique dispose de la bande passante suffisante. Il faut surtout éviter les encombrements du réseau entre le serveur de streaming vidéo situé n'importe où sur la planète et le répartiteur téléphonique local.

La télévision ADSL, qui limite l'offre à un bouquet de chaînes, utilise le réseau de l'opérateur et le mode multicast pour acheminer sa centaine de programmes jusqu'aux autocommutateurs. Mais la télévision sur l'Internet peut passer par les réseaux de différents opérateurs, rendant difficile une approche en terme de qualité de service. Quant au multicast, il n'est pas encore très répandu sur l'Internet du fait de la difficulté d'en trouver un modèle économique. Pourtant, plusieurs experts pensent que l'augmentation des débits dans les cœurs de réseaux permettra de supporter l'émergence de la télévision sur Internet.

3.15 L'Internet par l'ADSL

Une ligne téléphonique, l'ADSL (Asymétric Digital Subscriber Line) ou Ligne d'abonné numérique asymétrique, et voilà l'Internet à haut débit, (jusqu'à 1 Mbits par seconde), tout en gardant sa ligne téléphonique libre pour recevoir ou envoyer des messages téléphoniques. L'ADSL est une nouvelle technologie de transfert de données qui permet une augmentation considérable du débit sur les réseaux téléphoniques classiques (paire de cuivre arrivant sur votre prise téléphonique). En effet, conçue à l'origine pour transporter uniquement de la voix, la paire téléphonique retrouve une seconde jeunesse, grâce à cette technologie. Tout le monde le sait, la voix oscille dans une plage de fréquences comprise entre 300Hz et 4KHz environ, sur le réseau téléphonique. C'est la fréquence également utilisée par les s pour la transmission de données sur le même réseau, même si des artifices permettent d'augmenter le débit de ceux-ci jusqu'à 56 KHz pour les derniers à la norme V90.

3.15.1 Principe

La bande de fréquences disponible sur une paire de cuivre est supérieure à 1 MHz. La technologie ADSL prévoit le découpage de cette bande en trois tranches:

- La bande comprise entre 300 KHz et 700 KHz est utilisée dans le sens montant (transfert des informations et des requêtes de l'utilisateur vers le fournisseur d'accès internet - FAI).
- La bande comprise entre 800 KHz et 1,1 MHz est utilisée dans le sens descendant (transfert des pages web, ou images, ou vidéo du FAI ou du serveur vers l'utilisateur).
- La bande 0 à 8 KHz est réservée à la téléphonie classique (analogique ou numérique), ce qui autorise la téléphonie simultanément avec la consultation internet.
- La bande passante restante est utilisée pour les besoins du service (transmission des informations de contrôle propre à ADSL).

Le protocole ADSL prévoit un contrôle permanent de la qualité de transmission de chaque canal, et un repli du trafic du canal dont la qualité se dégraderait au point de compromettre les performances du système, sur l'un ou l'autre des canaux peu chargés.

3.15.2 Les équipements

Le réseau doit être équipé d'interfaces ADSL et de séparateurs voix - données chez l'opérateur. Côté utilisateur, la prise téléphonique classique est remplacée par un filtre voix -données. Un modem ADSL permet de raccorder le PC au réseau téléphonique via une carte réseau Ethernet (probablement en 10B-T comme pour le modem câble). Evidemment, à ce niveau de débit, il n'est même pas envisageable d'utiliser la classique liaison série comme avec les modems traditionnels. [13]

3.16 Conclusion

Même si la technologie ADSL est souvent une bonne solution à un tarif très intéressant, elle n'offre malheureusement pas toujours une liaison d'une qualité irréprochable. En effet, une ligne en ADSL est par définition constituée d'une ou deux paires de fils de cuivre; et elle est influencée par des éléments externes et par la longueur et la résistance ohmique de la liaison considérée. Sa qualité peut varier dans le temps.

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 ainsi que de la qualité de service rendue de la part des opérateurs de télécommunication, même si d'autres technologies peuvent à long terme sembler convenir aux réseaux à hauts débits tels que la fibre optique, les liaisons par faisceaux hertziennes.

Il peut sembler évident que par le nombre d'acteurs majeurs dans l'élaboration des standards, l'investissement considérable engagé dans la recherche des solutions technologiques dans ce domaine montre que ces technologies ADSL représentent une solution viable dans la mesure où elles allient des performances satisfaisantes tout en s'appuyant sur une infrastructure existante. De plus, la technologie ADSL se montre performante sur le créneau du réseau à hauts débits à laquelle elle est destinée.

L'ADSL est pour l'instant la technologie la mieux adaptée au haut débit. En effet elle n'entraîne pas de grosses installations comme le câble ou la fibre optique. Elle est simple à mettre en œuvre et peu coûteuse.

CHAPITRE 4

TECHNIQUES DE MODULATIONS UTILISEES

4.1 Introduction

Comme il l'a été exprimé plusieurs fois déjà jusqu'à présent, le but principal des technologies xDSL est d'exploiter la totalité de la bande passante disponible sur la paire de cuivre arrivant chez chaque abonné, en évitant et limitant autant que possible les effets néfastes qui apparaissent lorsque le signal transmis monte en fréquence.

La clé pour parvenir à de telles prouesses réside essentiellement dans les techniques de modulation qui vont être employées.

Il existe différentes façons de traiter la porteuse HF, en fonction des données à transmettre. Pour la transmission des données sur ADSL, deux techniques de modulation sont utilisées par les fabricants d'équipements: on utilise les techniques Carrierless Amplitude/Phase Modulation (CAP) et Discrete Multitone Modulation (DMT).

Toutes deux utilisent ou reprennent une modulation en phase et en amplitude appelée Quadrature Amplitude Modulation (QAM), mais différent dans la manière de l'appliquer. Ces techniques sont apparues en complément des techniques de codage 2B/1Q (2 Binary 1 Quaternary-codage de 2 éléments binaires en un moment de modulation quaternaire), utilisées notamment sur ISDN.

4.2 Codage de ligne

Le codage de ligne est l'opération qui consiste à coder les "zéros" et les "un" sur une ligne téléphonique, en transformant les bits en tension. On parlera de deux techniques de codage en ligne : le NRZ (non-return-to-zero) et le Manchester (utilisé principalement pour Ethernet).

NRZ génère deux valeurs discrètes basées sur le voltage de la ligne pour transmettre chaque bit. Avec cette technique, deux valeurs possibles sont disponibles pour transmettre un bit d'information (une valeur pour transmettre un "1" et une autre pour transmettre un "0") pour chaque signal émit. Il utilise un voltage négatif pour un bit à "1" et un voltage positif pour un bit à "0". Pour cette raison, NRZ est considéré comme une forme de simple de modulation d'amplitude.

Manchester est une technique très fréquemment utilisée. Pour cette dernière; un bit d'information à "1" est transformé en un signal électrique subissant en son milieu une transition de 1 vers 0 tandis qu'un bit à "0" est transformé en un signal électrique subissant une transition de 0 vers 1. Avec cette technique, il existe au moins une transition par bit qui permet une meilleure synchronisation du récepteur sur l'émetteur. Il en résulte un certain gaspillage de la bande passante et donc une perte de capacité utile.

Malgré que ces techniques de codage soient relativement inefficaces dans l'utilisation de la bande passante, elles ont connu un succès important pour deux raisons :

Les câbles LAN (câbles coaxiaux 10Base2 ou 10Base5...) qui couvrent de relatives courtes distances ont une largeur de bande importante qui permet un certain gaspillage.

Ces techniques de codage binaire sont simples et bon marché à implémenter. Afin de prendre au maximum avantage de la largeur de bande, d'autres techniques de codage ont été développées pour générer plus de deux valeurs possibles distinctes par signal. Ce qui a permis d'encoder plus d'un bit par impulsion. [2]

Les deux techniques sont la modulation d'amplitude et la modulation de phase.

4.2.1 Modulation d'amplitude

NRZ utilise deux niveaux d'amplitude pour encoder les bits d'information. En augmentant le nombre possible de niveaux d'amplitude, il est possible de transmettre plus de deux bits par impulsion.

En augmentant encore le nombre de niveaux d'amplitude, on peut encore augmenter le nombre de bits d'information émis à chaque impulsion. Si on utilise 8 niveaux d'amplitude (4 positifs et 4 négatifs), chaque impulsion pourra transmettre un groupe de trois bits.

On peut encore continuer le raisonnement pour arriver au cas plus général: m bits d'information peuvent être transmis en une impulsion s'il est possible de générer 2^m niveaux d'amplitude.

4.2.2 Modulation de phase

Pour la modulation de phase, la distinction entre "0" et "1" est effectuée par un signal qui commence à des emplacements différents de la sinusoïde (phase).

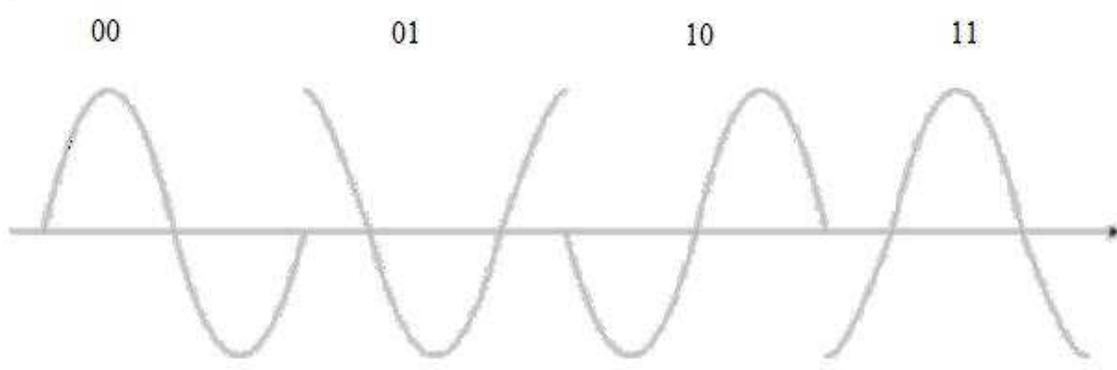


Figure 4.1 : Modulation de phase à quatre moments

On peut remarquer quatre endroits différents où la sinusoïde peut débuter, ce qui permet de coder quatre informations différentes (00, 01, 10, 11).

Pour coder un couple de bits "00" la phase doit débuter à 0° . Si la séquence de bits à envoyer change, on doit opérer un décalage de phase. Dans le cas où la séquence de bits devient 01, la sinusoïde doit être décalée de 90° etc.

En général, lorsqu'on peut coder n bits par instant de modulation on parle d'un codage à n dimensions de 2^n symboles.

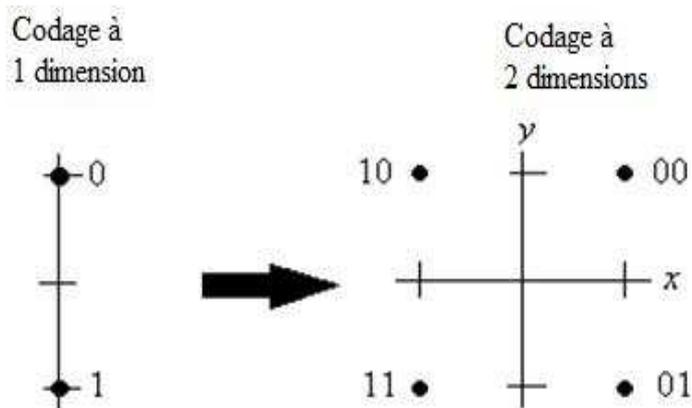


Figure 4.2 : Codage de ligne à une ou deux dimensions

La transmission numérique sur paire torsadée dans la boucle locale est soumise à de nombreuses perturbations (diaphonie, bruit impulsif, bruit thermique, etc...) au delà de 1Mhz les signaux sont sévèrement atténués. A titre d'expérience montre que les lignes de plus de 4Km peuvent présenter un affaiblissement pouvant atteindre 90db à de telles fréquences. Plusieurs techniques de codage en ligne et de modulation ont été développées pour l'ADSL. Deux d'entre elles sont aujourd'hui utilisées par les fabricants de modem ADSL: la modulation CAP (Carrierless Amplitude and Phase Modulation) , et la modulation DMT (Discrete Multi- Tone), la majorité des équipements CAP-ADSL utilisent le multiplexage en fréquence alors que la majorité des équipements DMT-ADSL utilisent l'annulation d'écho. Néanmoins le CAP-ADSL comme le DMT-ADSL peuvent fonctionner indifféremment en utilisant la technique FDM ou EC, la modulation CAP s'inspire de la modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) utilisée dans les modems à fréquence vocale analogique V34. Dans le cas des modems V34, la distorsion d'atténuation introduite par la paire torsadée est négligeable en égard à la bande de fréquence utile limitée de 4khz. Cela autorise l'utilisation d'une fonction d'égalisation assez rudimentaire au niveau du récepteur dit d'égalisation linéaire. Celle-ci consiste à introduire dans le modem récepteur avant démodulation et décodage un filtre dont la caractéristique est symétrique de la caractéristique supposée linéaire du support de transmission. Le canal de transmission couplé à l'égaliseur peut alors être assimilé à un filtre équivalent dont la fonction de transfert est plate. Dans le cas des modems HDSL et ADSL, la caractéristique du rapport signal sur bruit S/B dépend fortement de la fréquence à l'intérieur de la bande [20Khz, 1100Khz], on utilise alors en réception des égaliseurs adaptatif ou DEF (decision Feed back Equalizer) pour lesquels le rapport signal sur bruit S/B considéré est égal à la moyenne géométrique du rapport S/B sur toute la bande de fréquence. [1][2]

4.3 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

La modulation QAM est la combinaison d'une modulation de phase et d'amplitude, afin d'augmenter le nombre d'états par symbole. A chaque état correspondent une amplitude et une phase. Ceci augmente la difficulté de modulation et de démodulation, mais permet une augmentation importante de la bande passante transmise. En théorie, on peut ainsi transmettre de 1 à 6 bits/s/Hz. L'utilisation de la modulation en amplitude et en phase a permis une amélioration sensible de la transmission de données. En effet, à la différence du 2B/1Q, les codes CAP et DMT, dérivées du QAM que nous verrons ci-après, sont typiquement passe-bande et peuvent être

conçues pour opérer sur une bande de fréquence spécifiée. Ceci va permettre de séparer les canaux réservés à la ligne téléphonique, la réception et l'émission.

La modulation est obtenue très simplement :

- On découpe le signal $x(n)$ en symboles $s(i)$ de N bits chacun ;
- On assigne aux symboles successifs les valeurs complexes $SQ_I(i) + jS_I(i)$ obtenues dans le diagramme de constellation ;
- On utilise ces valeurs complexes comme coefficients d'une FFT créée de toute pièce. On prend bien soin, lors de cette opération, à ce que la FFT créée soit bien celle d'un signal réel. Il faut pour ce faire que la FFT possède la propriété de *symétrie hermitienne*

Le débit binaire D pour une voie de rapidité de modulation R et pouvant transmettre N symboles ($N=2^{\text{nombre de bits/symboles}}$), aura pour valeur : [1]

$$D = R \log_2 N \quad (4.1)$$

4.4 Carrierless Amplitude and Phase Modulation (CAP)

Cette technique a été mise au point par AT&T. Elle est une variante de la technologie QAM (Quadratic Amplitude Modulation), mais n'utilise pas la transposition en fréquence. De ce fait, elle est purement numérique et est implémentée avec des DSP qui réalisent le traitement du signal. 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.

Le système d'annulation d'échos permet le recouvrement du spectre des canaux montants et descendants.

Très utilisé au début de l'ère ADSL, ce type de modulation n'a jamais été correctement normalisé et, de ce fait, il n'y a pas d'interopérabilité possible entre équipements de fabrications différentes.

Bien que CAP fût la technique de modulation initiale pour les déploiements ADSL, la méthode DMT est maintenant la méthode préférée et normalisée. La technique de modulation CAP a donc été délaissée pour la technique DMT qui fut retenue pour le standard ANSI T1.413-1995. [17]

4.5 Discrete Multi Tone (DMT)

Ce procédé a été normalisé par l'ANSI (American National Standards Institute) sous l'appellation T1.413, i1 ou i2 (pour issue1 ou issue2). Il est aussi standardisé par tout un ensemble d'organismes internationaux de normalisation. DMT est un système de modulation de forme multi porteuse. Pour son application à l'ADSL, le spectre de fréquences compris entre 0 Hz et 1,104 MHz est divisé en 256 sous canaux distincts espacés de 4,3125 kHz, chacune des porteuses pouvant être modulée de 0 à 15 bps/Hz, ce qui permet un débit de 60 kbps pour chacun de ces canaux de transmission.

En émission, la norme spécifie l'utilisation de 20 porteuses. Ces sous-canaux sont créés à partir d'une application particulière de la transformée de Fourier, la Discrete Fast Fourier Transform (DFFT), et chaque canal est modulé par une méthode QAM, dont l'avantage comme nous l'avons vu est de permettre d'augmenter le débit en bits/seconde sans pour autant avoir à augmenter la largeur du canal de transmission, et d'augmenter l'immunité au bruit du signal ainsi modulé.

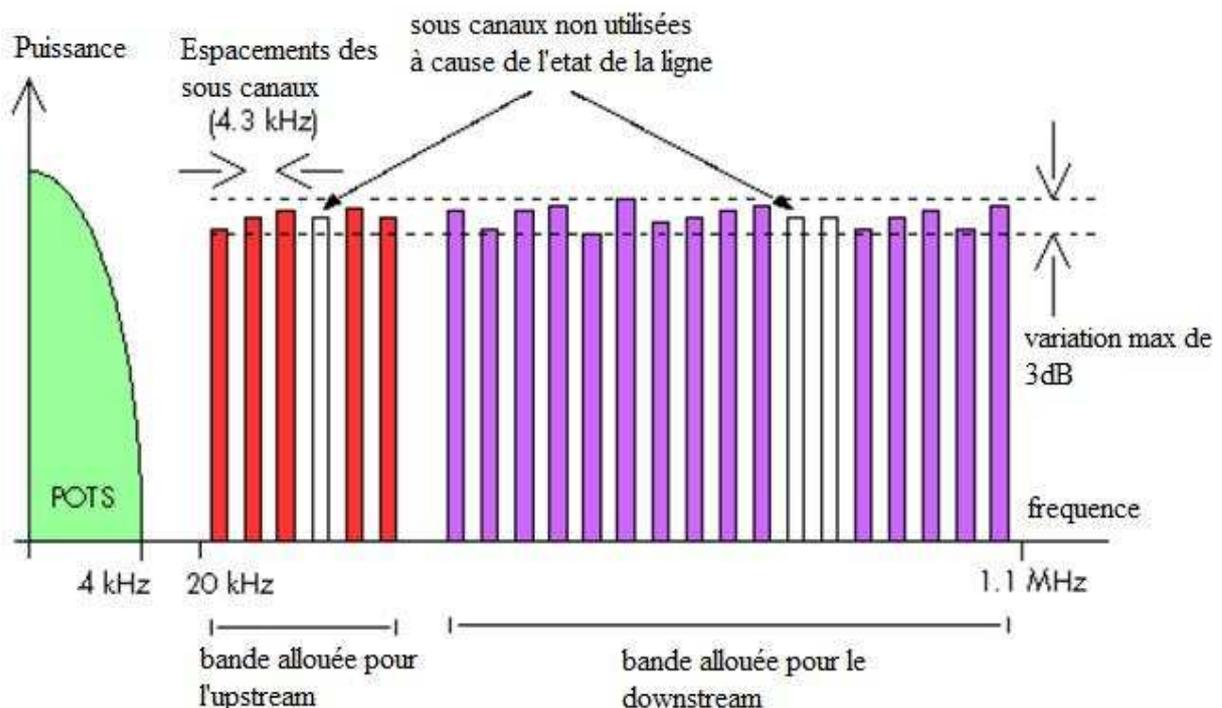


Figure 4.3 : Les canaux de la DMT

La norme ADSL spécifie une largeur de 4,3 125 KHz pour chacun des 256 sous-canaux, soit une largeur globale de 1104 Khz. Le sous-canal 1 est réservé canal téléphonique analogique. Les sous-

canaux 2 à 6 sont réservés à la signalisation associée à ce canal téléphonique analogique. Ils servent aussi de bande de garde avec les sous-canaux ADSL proprement dits. La bande utile pour les données ADSL s'étant donc environs 25Khz à 1,1Mhz. Un certain nombre de sous-canaux sont réservés à des fins de signalisation entre modems. La plupart des modems constructeurs prenant en compte 249 ou 250 sous-canaux parmi les 256 pour le transport du trafic de données. Dans la pratique, en égard à la qualité moyenne des lignes d'abonnés être adaptées pour chaque sous-canal DMT.

Deux versions de l'ADSL étaient possibles ; l'une utilisant la technique FDM afin de clairement séparer les canaux montants des canaux descendants, l'autre plus sophistiqué autorisant un chevauchement partiel entre ces deux types de canaux (technique EC).

Considérant cette dernière et plus récente version, il est donc possible d'évaluer la capacité théorique maximale des canaux montants et descendants. A mieux 249 canaux sont utilisés dans le sens descendant, ce qui represent 249×15 bits /Hz

$249 \times 15 \text{ bit/Hz} \times 4 \text{ kHz} = 1,5 \text{ Mbit/s}$. La densité spectrale de puissance maximale a l'émission est respectivement de -40 dBm/Hz au niveau du commutateur (ATU-C) et de -36 dBm /Hz au niveau de l'utilisateur (ATU -R). Ces deux puissances s'appliquant donc respectivement aux données descendantes et montantes. Dans la pratique, l'espacement entre deux porteuses QAM Successives est de 4,3 KHz.

Il existe donc une bande de garde 300 Hz entre les sous- canaux adjacents.

Selon T1.413, seuls les sous-canaux 1 à 31 peuvent être utilisés pour le débit upstream, et DMT utilise principalement deux techniques pour séparer les flux montants et les flux descendants et minimiser les interférences entre signaux émis et reçus:

Soit par EC (Echo Cancellation) qui permet d'utiliser les sous-canaux inférieurs (de 1 à 31) pour le downstream et/ou le upstream: étant donné que les caractéristiques du signal émis sont connues, il est possible de soustraire au signal reçu la perturbation due au signal émis, ce qui permet ainsi un chevauchement des fréquences dans les deux sens de transmission.

Soit par FDM (Frequency Division Multiplexing), qui est la plus utilisée en raison de sa simplicité et son faible coût, et qui sépare les sous-canaux upstream/downstream par un filtre passif: FDM

est une technique de multiplexage par répartition de fréquence utilisée pour accroître les débits sur paires torsadées et plus particulièrement des lignes téléphoniques. L'avantage de FDM sur EC est que cette technique n'introduit pas de nouvelles interférences, toutefois à débit équivalent, elle utilise une bande passante plus importante, ce qui a pour effet de diminuer la distance maximale de transmission.

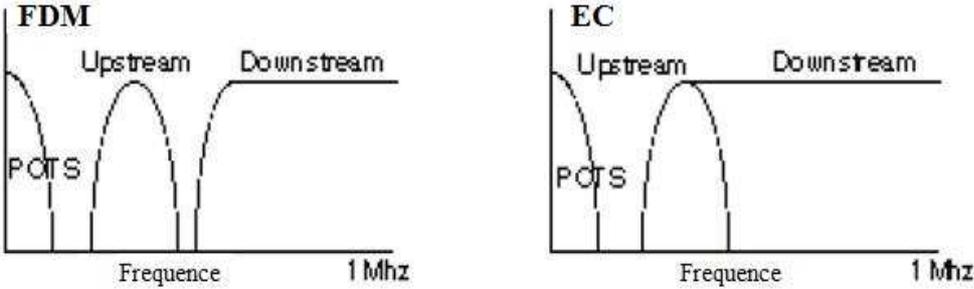


Figure 4.4 : Spectres de fréquence FDM et CAP

4.5.1 Les sous canaux

Lorsque la liaison est mise en service, le bruit et l'atténuation de chaque subchannel sont testés. Le débit optimal peut ainsi être atteint dans chaque subchannel, en fonction de ses caractéristiques propres. Donc chaque subchannel codera un nombre plus ou moins grand de bits en fonction de ses 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 subchannel. 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).

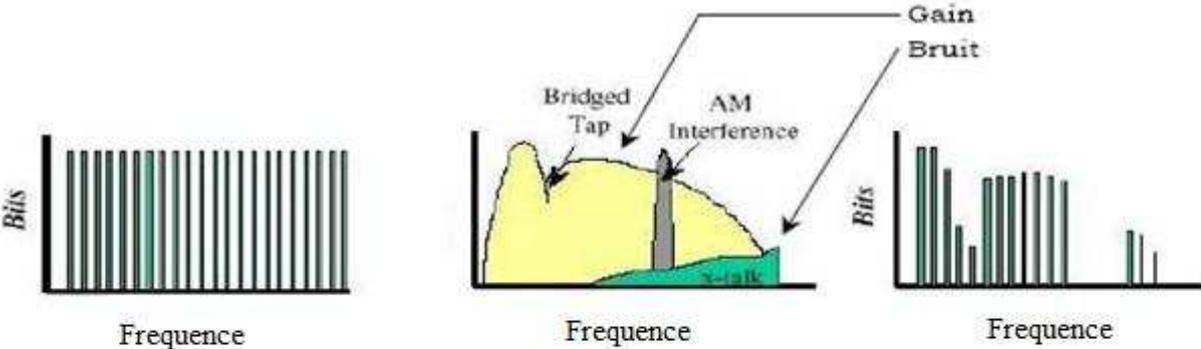


Figure 4.5 : Spectre général d'une paire torsadée

On remarque nettement que le nombre de bits que code chaque subchannel dépend de son atténuation et de son bruit. Un subchannel 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 subchannel 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.

Comment ces procédures d'analyse de ligne fonctionnent-elles ? Sans entrer dans les détails, signalons simplement qu'un partenaire transmet 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. Il est clair que ces procédures ont à disposition une durée limitée pour analyser la ligne. Passé cette limite, l'analyse est terminée même si les filtres ne sont que partiellement adaptés.

L'utilisation des sous canaux est ainsi répartie :

- Les sous canaux 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 splitters ADSL (séparant les données standards téléphoniques aux données ADSL) en est donc simplifiée.
- Les sous-canaux 7 à 31 sont exploités pour le flux montant, le sous-canal 32 est réservé, et les sous canaux 33 à 256 sont utilisés pour les flux descendant.
- Les sous-canaux 16 et 64 sont utilisés pour transporter un signal pilote. Ils sont modulés à 276 kHz et restent stables afin de servir de référence dans la mesure des signaux. Ce qui permet une grande interopérabilité entre les solutions proposées par les différents constructeurs.

A noter aussi que les canaux 250 à 256 ne sont utilisables que sur des lignes de raccordement de faible longueur, et qu'ils ne transportent généralement pas de données.

En effet, au dessus de 1 MHz, les perturbations sont trop grandes pour permettre un flux stable. On considère généralement que les installations téléphoniques supportent en général une bande passante de 800 kHz seulement par rapport aux 1100 kHz théoriques.

Dans ce cas, DMT utilise la technique d'annulation d'écho (EC) sur ces sous-canaux, ce qui résulte en un flux en duplex sur les sous-canaux 7 à 31.

Sur ISDN, la bande passante inférieure utilisée s'élève jusqu'à 80 KHz. Pour permettre l'utilisation simultanée d'ISDN et d'ADSL sur la même ligne téléphonique, les sous-canaux 1 à 28 sont donc libérés.

C'est la technique de multiplexage par répartition de fréquence (FDM) qui est utilisée pour opérer la séparation entre débits montants et descendants sur une ligne ISDN.

4.5.2 L'avantage de DMT

En utilisant DMT, le modem peut moduler chacune des fréquences à différentes densités de bits (jusqu'à un maximum de 15 bits/sec/Hz ou 60 kbps/4kHz) en fonction du bruit sur la ligne.

Par exemple, dans les basses fréquences, là où il y a le moins d'interférences, la ligne peut supporter 10 bits/sec/Hz alors qu'à des fréquences plus hautes, cela peut passer à 4 bits/sec/Hz et aller jusqu'à l'extinction du canal correspondant dans les cas les plus défavorables.

De plus, DMT alloue les données de manière à optimiser le débit de chaque canal c'est-à-dire qu'il devient possible d'adapter la transmission aux caractéristiques de la ligne téléphonique.

Le nombre de bits porté sur chaque porteuse est variable, parce que les capacités internes de transport de chaque sous-porteuse varient en fonction de leur fréquence. Plus la fréquence est élevée et plus l'atténuation est importante, permettant aux fréquences les plus basses de transmettre plus d'information. De plus, on fait varier le nombre de bits par porteuse en fonction des conditions de transmission, en plaçant un nombre plus important de bits sur les canaux les plus robustes. Ainsi pour éviter les perturbations dues aux bruits ou les interférences radio il suffit de coder plus ou moins de bps/Hz sur les porteuses. [21][27]

4.6 Comparaison entre CAP et DMT

Le choix de la technologie DMT comme la modulation standard de l'ADSL n'a pas été fait au hasard. Quand elle est utilisée pour l'ADSL, DMT présente de nombreux avantages sur CAP. Les nouvelles versions de la modulation CAP ont tendance à rattraper leur retard avec de nouvelles et meilleures caractéristiques. L'ANSI mobilise beaucoup d'efforts pour faire accepter la modulation CAP comme un deuxième standard pour l'ADSL et préconise que les équipements ADSL puissent fonctionner avec les modulations DMT, CAP voire avec QAM.

Les raisons qui ont conduit à choisir DMT pour l'ADSL sont :

- optimisation de la transmission pour chaque sous canal
- contrôle continu des performances
- technologie adaptée aux conditions de transmission de la boucle locale
- flexibilité du débit
- bonne résistance au bruit permettant de hauts débits
- coût et disponibilité des composants électroniques
- bonne interopérabilité entre équipements.

Tout d'abord, DMT est capable d'optimiser la transmission des données sur chaque sous canal, grâce à la mesure de l'atténuation. Le débit est ainsi adaptatif. Ceci est difficilement faisable avec CAP car il n'est pas possible de modifier le gain fréquence par fréquence dans le cas des modulations à une seule porteuse. DMT permet un ajustement de ce gain de façon périodique. Cela permet à DMT d'être déployée dans de nombreux cas où CAP ne fonctionnerait pas.

DMT permet d'obtenir une grande flexibilité du débit. La granularité de DMT en termes de débit est de 32 Kbits/s alors que CAP ne peut en fournir une que de 340 Kbits/s. De plus DMT permet de ne pas utiliser certains canaux trop brouillés afin d'éviter d'introduire d'erreurs. Rappelons que moins il y a des erreurs lors de transmission, moins de données sont à retransmettre et plus le débit utile est important.[11]

DMT est un standard ouvert (les droits de licence sont peu élevés), ainsi les composants électroniques peuvent être développés par tous, Alors qu'un seul constructeur produit des composants CAP. Il s'agit de Globespan Semi-conductor. Le prix des composants s'en ressent

inévitablement. La normalisation de DMT s'est attachée à garantir l'interopérabilité des équipements des différents constructeurs.

4.7 Conclusion

CAP et DMT utilisent le QAM comme base. Ils diffèrent dans leur mode de transmission, CAP est plus vulnérable aux interférences, qui implique un débit amplement bas, chaque fois qu'une partie du spectre est bruité. Par contre DMT est très robuste aux bruits, elle peut adapter la mode de transmission selon le rapport signal/bruit su canal.

DMT a été adopté comme le standard international pour la transmission ADSL malgré la rivalité entre elle et le CAP. Cependant de nouvelles techniques sont en phase d'expérimentation pour remédier au maillon faible du DMT.

CHAPITRE 5

LES EQUIPEMENTS ADSL

5.1 Introduction

Bien qu'ADSL utilise comme infrastructure de transport la paire de cuivre déjà présente entre chaque central d'abonné et les abonnés qui y sont reliés, l'établissement d'une connexion ADSL nécessite certains équipements particuliers qui doivent être installés tant chez le client que chez l'opérateur téléphonique ou le fournisseur d'accès. Il s'agit toutefois de modifications mineures.

5.2 Le modem

C'est le rôle du modem est de décoder et démoduler dans un premier temps le signal reçu, pour ensuite moduler à son tour les données qui vont être transmises sur la ligne téléphonique en additionnant les canaux DMT qu'il peut utiliser pour atteindre le débit maximum.

Le modem disposé chez l'abonné est aussi appelé parfois ATU-R (ADSL Transceiver Unit, Remote terminal end)

Il existe à l'heure actuelle quatre types de modems suivant les besoins de l'utilisateur:

- Avec interface Ethernet 10/100 base T, pour les PC équipés de carte Ethernet
- ATMF-25 pour les PC équipés de carte ATM ou pour redistribuer ADSL sur un réseau ATM (côté Provider le plus souvent)
- Avec interface USB, pour les PC équipés d'interface USB
- Avec interface PCI pour les modems intégrés directement au PC.

Si l'utilisateur veut redistribuer ADSL sur son réseau informatique, celui-ci préférera l'utilisation d'un routeur avec interface ADSL. On trouve en effet des modems ADSL faisant aussi office de routeurs, tandis que les autres sont principalement utilisés en mode bridge.

5.3 Le splitter / micro filtre

Le splitter est de toute façon installé dans le central téléphonique, en aval du répartiteur d'accès (DSLAM) et du switch des connexions voix.

Ensuite, si l'utilisateur a une connexion ISDN, il devra installer un splitter chez lui en amont de son modem et de son NT ISDN.

Si l'utilisateur a une connexion analogique traditionnelle, il n'a pas besoin d'installer de splitter chez lui, mais un micro-filtre avant chaque appareil téléphonique.[13]

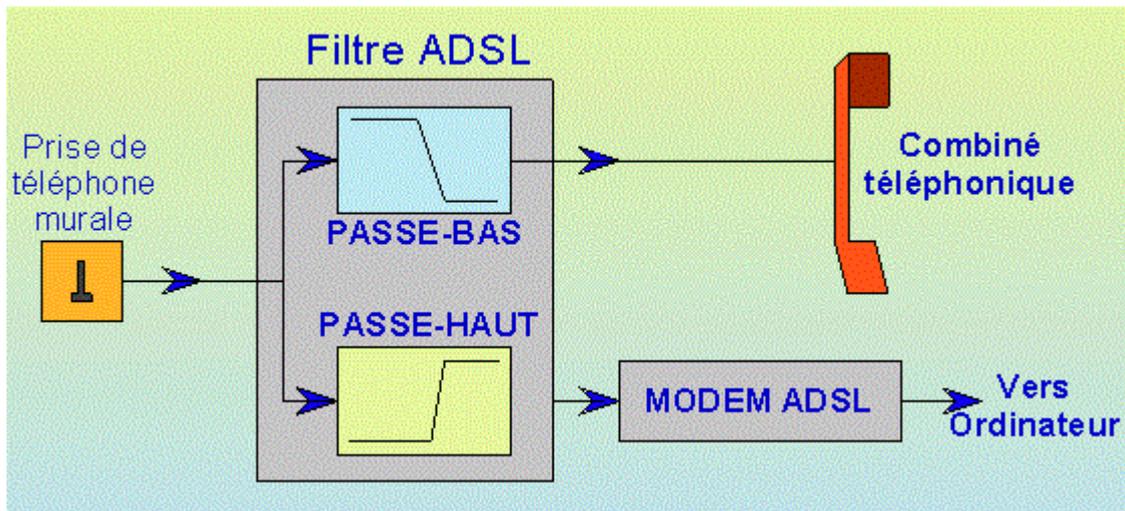


Figure 5.1 : Schéma simplifié du filtre à l'abonné



Figure 5.2 : Splitter

5.3.1 Rôle du splitter

Le splitter est un filtre passe-bas passif d'aiguillage qui sépare la bande passante réservée au service téléphonique de la bande passante utilisée pour la transmission ADSL. Il assure un découplage suffisant pour éviter que les signaux émis sur l'une des bandes de fréquences ne viennent perturber le fonctionnement de l'autre. L'installation du splitter est obligatoire pour avoir ADSL avec une connexion ISDN.

5.3.2 Rôle du micro filtre

Le micro filtre est aussi un filtre passe-bas et est installé sur les connexions analogiques. Il n'y a donc pas besoin d'installer de splitter, mais d'autant de micro-filtres que l'abonné dispose d'appareils analogiques (téléphone, fax, ...)

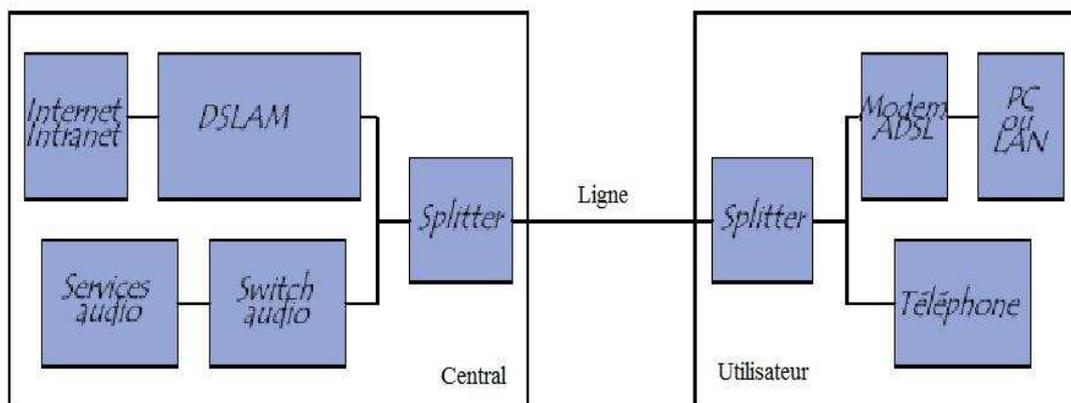


Figure 5.3 : Installation du splitter

5.4 Le DSLAM

Le DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) est un équipement généralement installé dans les centraux téléphoniques et assurant l'interface entre les lignes ADSL et le réseau d'accès de l'opérateur, qui est bien souvent de l'ATM. Il gère donc aussi le multiplexage des flux ATM vers le réseau de transport.

Physiquement, il s'agit d'une armoire contenant des cartes qui assurent aussi la fonction de modem ADSL communiquant avec le modem situé chez l'utilisateur.

Toutefois cet élément n'accueille plus seulement des cartes ADSL mais peut aussi accueillir différents services DSL tels que SDSL ou HDSL en y insérant les cartes de multiplexages correspondants.

Chaque carte supporte plusieurs modems ADSL. Communément, les éléments regroupés dans le DSLAM sont appelés ATU-C (*ADSL Transceiver Unit, Central office end*).

En fait, tous les services disponibles sur le réseau (Internet, LAN-MAN-WAN, téléshopping, vidéo MPEG) arrivent par haut débit vers un répartiteur DSLAM pour être ensuite redistribués vers les utilisateurs.

La maintenance et la configuration du DSLAM et des équipements ADSL est effectuée à distance par l'opérateur.

5.5 Configuration typique du DSLAM

La configuration et les fonctions du DSLAM ne sont abordées dans aucune norme. Le concept de base du DSLAM consiste à intégrer les équipements ATU-C. Mais en l'absence de normes ce que fait le DSLAM et comment il le fait est laissé à l'appréciation des constructeurs. Cela ne signifie pas pour autant que la marge de manœuvre des constructeurs soit illimitée. La plupart des produits supportent à peu près les mêmes fonctionnalités mais les capacités et les débits offerts des équipements DSLAM varient selon les constructeurs. Le DSLAM occupe une place prépondérante dans l'architecture ADSL. Tous les trafics en provenance ou à destination des abonnés transitent par cet équipement. Ce qui revient à dire que tous les trafics en provenance ou à destination des serveurs des fournisseurs de services transitent également par le DSLAM. Le DSLAM est généralement localisé à proximité d'un commutateur d'abonnés, pour une bonne et simple raison, il doit avoir accès à la boucle locale et aux lignes des abonnés.

Il est courant de diviser un réseau ADSL en trois parties. Cette « modélisation » est très souvent employée dans les documents des différents constructeurs. Dans ce modèle, les équipements ATU-R ou leurs équivalents (HTU-R pour HDSL et HDSL2) forment la partie appelée « Service User » (SU) du réseau. Les équipements ATU-C ou équivalents (par exemple HTU-C) forment la partie appelée « Network Access Provider » (NAP). Le réseau d'accès et les réseaux de services où se trouvent les différents serveurs qui hébergent les services forment ce que l'on appelle la

partie « Network Service Provider » (NSP). Le rôle du DSLAM est la connexion des deux parties Service User et Network Service Provider comme le montre la Figure 5.4.

Dans cette figure, le DSLAM ne se contente pas d'héberger les ATU-C. Le DSLAM inclut aussi le réseau d'accès aux services. Cela peut être juste un routeur IP ou un commutateur ATM ou alors un véritable réseau. Le type de réseau supporté dépend bien évidemment du type de connectivité offert par le DSLAM lui-même. Et cela dépend du constructeur et du modèle de l'équipement.

Le DSLAM est un équipement qui n'est pas spécifique à l'ADSL mais qui supporte de nombreuses technologies xDSL.

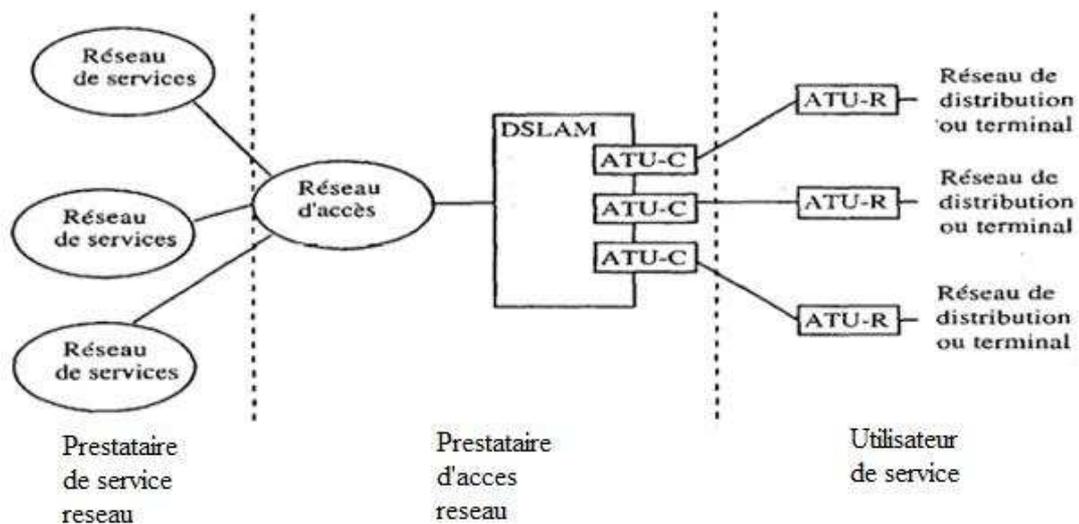


Figure 5.4 : Interfaces DSLAM

La connexion de la boucle locale au DSLAM est réalisée grâce à des cartes qui comprennent le hardware et le software adaptés à la technologie xDSL utilisée. Ces cartes sont regroupées dans des baies ou châssis et partagent ainsi la même alimentation électrique. Elles peuvent être toutes gérées par un même outil de supervision et de maintenance. La capacité du DSLAM dépend bien sûr directement du nombre de ces cartes. La plupart des DSLAM supportent la technologie ADSL ainsi que la modulation CAP ou DMT, voire les deux en même temps. Certains DSLAM supportent d'autres technologies xDSL comme HDSL, IDSL, SDSL ou VDSL. Si le DSLAM gère ces autres technologies, il doit également supporter les modulations associées, comme QAM et 2B1Q.

La connexion au réseau d'accès peut être de différents types ATM, 10BaseT ou 100BaseT. Certains DSLAM acceptent des interfaces High Speed Serial Interface (HSSI), assez courantes pour les réseaux Frame Relay et des interfaces T1 ou T3. Le DSLAM peut effectuer des fonctions de routage et il doit être capable d'envoyer et de recevoir des cellules ATM et des paquets IP. Parfois d'autres protocoles sont supportés comme le protocole propriétaire IPX de Novell, le protocole Point to Point Protocol (PPP), Frame Relay (FR), Net- BIOS ou le protocole d'IBM Synchronous Data Link Control (SDLC) pour les réseaux SNA.

Concernant la supervision de réseau, le célèbre protocole Simple Network Management Protocol (SNMP) est supporté par la totalité des équipements DSLAM. Un autre standard international est parfois utilisé. Il s'agit du Common Management Interface Protocol (CMIP).

Dans certains cas, les DSLAM n'utilisent pas directement le protocole SNMP mais un « Proxy agent ». Il s'agit généralement d'un PC qui sait traiter le protocole SNMP et qui s'interface au DSLAM. Ces Proxy agent sont souvent utilisés lorsque le logiciel de supervision et de maintenance d'un équipement est propriétaire et donc non standardisé. Ces logiciels supplémentaires sont à éviter car ils ajoutent une couche logicielle supplémentaire, bien souvent source de problèmes.

Le nombre de lignes d'abonnés que peut gérer un DSLAM varie énormément d'un équipement à un autre. Cela peut aller d'une centaine à plusieurs milliers. Evidemment le prix des équipements dépendent directement du nombre de lignes gérées comme des performances du système de supervision.

Pour résumer, il semble juste de dire qu'un DSLAM « typique » supporte les technologies ADSL et RADSL avec les modulations DMT et CAP. Les ATU-C sont intégrés au DSLAM. La connexion au réseau d'accès aux services est généralement une interface ATM (SONET à 155 Mbits/s) ou LAN Ethernet (à 10 ou 100 Mbits/s). Ce DSLAM « typique » n'est pas un équipement « passif » mais il réalise des fonctions de routage de cellules ATM ou de paquets IP. Insistons sur le fait qu'il existe une grande variété de produits proposés par les constructeurs. [23]

5.6 Configuration ADSL

Les équipements ADSL (essentiellement l'ATU-C et l'ATU-R) gèrent l'envoi et la réception de bit au niveau de trames et des super-trames ADSL. Ces trames peuvent supporter des bits sans

structure particulière, des paquets ou des cellules ATM. Les quatre modes de fonctionnements, combinés avec les formats d'informations utilisés sur l'ensemble du réseau ADSL présentent six configurations présentées dans la figure 5.5.

Le haut de la figure montre la structure, certes simplifiée d'un réseau ADSL mais tous les équipements principaux y sont indiqués. La technologie ADSL n'intervient que dans la partie droite de l'architecture. Du côté de l'abonné, on retrouve l'équipement ATU-R permettant de connecter différents terminaux par l'intermédiaire d'un réseau de distribution 10baseT ou d'un bus CEBus, pour ne citer qu'eux. Du côté du fournisseur de services, l'équipement ATU-C est connecté ou bien souvent intégré au multiplexeur d'accès : le DSLAM.

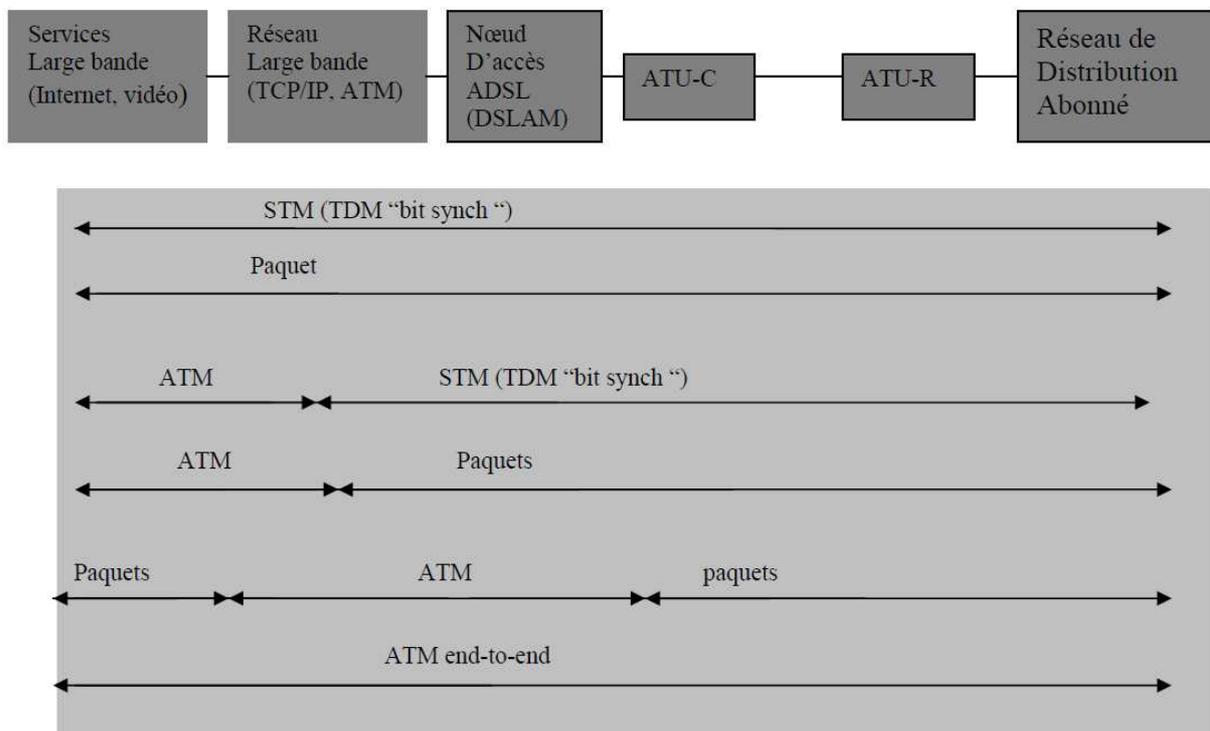


Figure 5.5 : Six configurations de réseau

Le DSLAM possède plusieurs interfaces permettant l'accès à nombreux réseaux et services. Sur ces interfaces, il est par exemple possible de connecter un commutateur du RTCP pour les services voix, un routeur IP ou un commutateur ATM permettant l'accès au réseau Internet. D'autre service comme la vidéo à la demande peuvent être également proposés à partir de serveurs dédiés. Ce sont de ces réseaux et serveurs que provient l'intégralité des informations reçues par l'ATU-R

de l'abonné. Dans la majorité des cas, ces réseaux externes et le DSLAM offrent une bande passante et un temps de transfert suffisamment court pour pouvoir parler de services large bande.

Les six scénarios ADSL proviennent donc de la combinaison des quatre modes des fonctionnements de l'ADSL et des différents types de trafic véhiculé sur les réseaux que l'on a appelé externes. Dans certains documents du ADSL, le mode « bit synchronous mode » est généralement appelé STM pour synchronous transfert mode, soit en français mode de transfert synchrone, afin de le distinguer du mode de transfert asynchrone. On retrouve les quatre modes de fonctionnements de l'ADSL dans la figure 5.5 : le mode « bit synchronous », le mode « packet adapter », le mode « End to end packet » et le mode « End to end ATM ».

Derrière le DSLAM du côté du fournisseur de services, il n'existe que 3 modes : le mode STM (cas où les bits sont transmis sur un ou plusieurs circuits TDM) le mode paquets (cas où les bits sont transmis par paquets, généralement des paquets IP) et le mode ATM (cas où les bits sont transmis par des cellules ATM). Signalons aussi que le cas où les paquets IP sont transportés par un réseau ATM est couvert par l'architecture présentée.

De nombreux fournisseurs de services et constructeurs ADSL considèrent l'ATM de bout à bout comme la solution la plus pérenne du fait notamment de la capacité de la technologie ATM à supporter en même temps différents types de trafic. Malgré les modifications apportées au protocole IP pour supporter efficacement la voix et la vidéo, ATM a conservé une certaine avance dès son apparition.

La première configuration de réseau présentée dans la figure 5.5 utilise le mode STM de bout en bout. Dans ce cas, le réseau ADSL transporte les informations quelle que soit leur structure. On peut le comparer à un simple tuyau ou « bit pipe » en anglais. Le réseau utilise la technologie de multiplexage temporel et offre un débit constant sur les canaux ADSL tels qu'AS0 et LS1.

La deuxième configuration propose de transporter les informations par paquets de bout en bout. Il s'agit généralement des paquets IP. Mais ce n'est pas toujours le cas, il peut s'agir des paquets gérés par d'autres protocoles ou par des services vidéo tant que les équipements à chaque extrémités de la liaison sont à même de les interpréter. L'avantage d'utiliser des paquets de bout en bout est que le réseau peut agréger sur certain lien plusieurs flux de paquets provenant de différentes sources et destinés à différents destinataires.

La troisième configuration utilise le mode STM et les cellules ATM. Le réseau d'accès (ATUR, ATU-C et DSLAM) supporte des circuits STM alors que les réseaux externes supportent des cellules ATM. Cette configuration nécessite que le DSLAM sache gérer la technologie ATM. Mais l'avantage est que les fournisseurs de services peuvent réutiliser les réseaux ATM qu'ils ont déjà déployés pour offrir des services ADSL sans pour autant devoir adapter les ATU-C et ATU-R mais surtout les terminaux des abonnés à la technologie ATM.

La quatrième configuration utilise, elle aussi, la technologie et les cellules ATM au niveau des réseaux externes. Mais cette fois-ci, la liaison ADSL proprement dite transporte des paquets IP ou autres. Ce scénario est très intéressant car il permet de s'affranchir du mode STM tout en préservant le potentiel d'agrégation des réseaux ATM.

L'avant dernière configuration de réseau ADSL est un mélange de technologie ATM et de paquets. Cette configuration provient du fait que des nombreux fournisseurs de services ont déjà déployé des réseaux ATM mais que la technologie ATM est rarement employée par les serveurs et les ordinateurs clients. Cette configuration permet de fournir des services ADSL sur ATM tout en conservant les interfaces paquets existantes au niveau des serveurs et les ordinateurs clients. Cette approche semble tout de même difficile à mettre en place mais elle reste possible.

La dernière configuration utilise la technologie ATM de bout en bout. La seule différence entre cette configuration et la deuxième configuration évoquée auparavant est que le réseau transporte un flux de cellules ATM au lieu d'un flux de paquets. Un nombre important de réseaux utilise cette dernière configuration, surtout ceux qui proposent leurs services à des clients professionnels qui disposent déjà l'équipement ATM dans leurs locaux. L'avantage que possède la technologie ATM sur la technologie IP en termes de temps de transfert et de bande passante même avec des trafics de différents types pourrait disparaître avec l'arrivée de la nouvelle version du protocole IP. Etant donné la prééminence d'IP sur les matériels et logiciels du réseau Internet, l'intérêt porté sur ATM par les utilisateurs pourrait alors diminuer.

5.7 Equipements et raccordements

En plus d'un raccordement téléphonique, il nous faut :

- Un modem ADSL chez l'utilisateur.
- Un filtre à l'introduction de la maison.

- Une nouvelle ligne jusqu'au modem ADSL.
- Un filtre à l'introduction du central.
- Un modem ADSL dans le central.

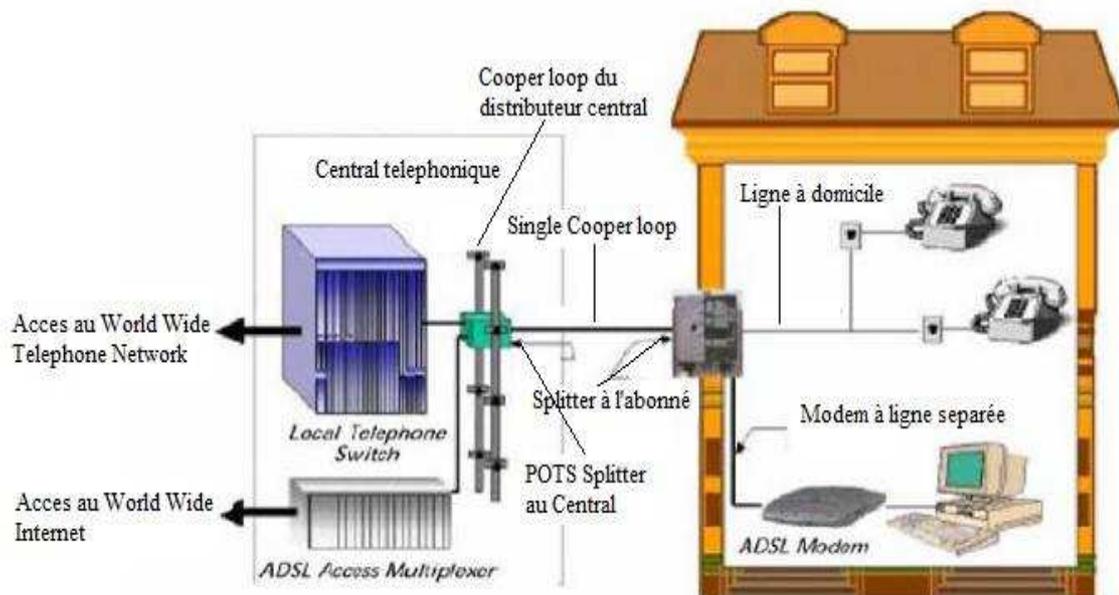


Figure 5.6 : Eléments de raccordements

5.7.1 Le modem ADSL de l'utilisateur

Il a les mêmes fonctions qu'un modem normal, sauf qu'il module nos données dans le format ADSL.

5.7.2 Le filtre à l'introduction de la maison

Son rôle est très important et c'est ce qui pose le plus de problèmes aux industriels. Il sépare les données ADSL des données téléphoniques normales.

5.7.3 La nouvelle ligne jusqu'au modem ADSL

Comme on sépare les données téléphoniques des données ADSL à l'introduction, il faut tirer une nouvelle ligne jusqu'au modem ADSL.

5.7.4 Le filtre à l'introduction du central

Il s'occupe de séparer les données ADSL des données téléphoniques normales. Il les envoie directement sur un modem ADSL.

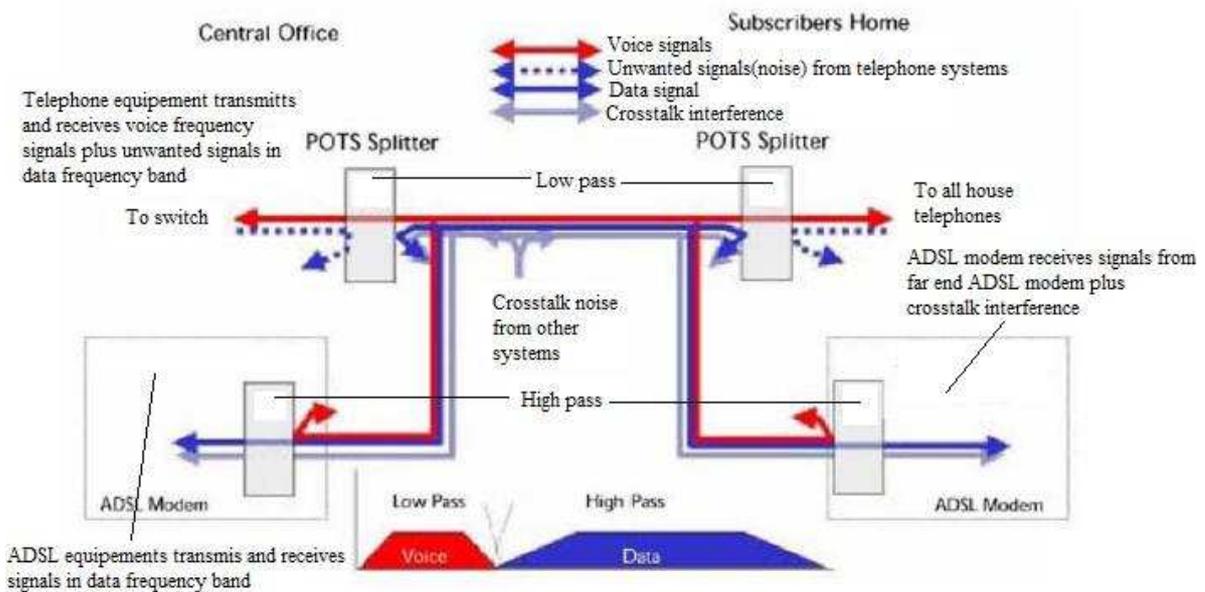


Figure 5.7 : Fonctionnement du filtre

5.7.5 Le modem ADSL du central

Il démodule les données ADSL pour les envoyer sur le service numérique voulu.

5.8 RTC/ADSL

Une fois tout installé la connexion par l'ADSL est possible. En plus de laisser libre la ligne téléphonique, le but premier de l'ADSL est aussi de permettre d'augmenter le débit de connexion, nous allons voir par le biais d'un exemple la différence entre le RTC et l'ADSL.

Nous rappelons le théorème de Shannon :

$$C = \omega \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_b} \right) \quad (5.1)$$

Nous utiliserons le même rapport signal/bruit que pour le RTC. On constate alors qu'une seule valeur reste variable : c'est la fréquence Omega. Or, si Omega augmente, C augmente. Donc, à rapport signal/bruit constant, la capacité dépend de la largeur de la bande passante de la ligne téléphonique utilisée. Nous prendrons une largeur de bande de 75 KHz, qui correspond à la largeur utilisée pour le downstream d'une connexion ADSL. Les calculs qui en découlent paraissent absolument logiques :

$$C1=75000 \times \log_2 \left(1 + \frac{Ps}{Pb} \right) \text{ et } C2=4000 \times \log_2 \left(1 + \frac{Ps}{Pb} \right)$$

$$C1 = \frac{75000}{4000} \times C2$$

Nous aurons donc avec le même rapport Signal/Bruit, un débit théorique de l'ADSL qui pourra être presque 19 fois supérieure à une connexion RTC.

En sachant que le débit théorique d'une connexion RTC est de 56 Kbits/s, on obtient un débit pour l'ADSL de :

$$D = 56000 \times 18.75$$

$$D = 1050000 \text{ Bits/s}$$

Soit un débit légèrement supérieur à 1 Mbits/s. Bien sûr tout dépend du rapport Signal/Bruit mais ces calculs permettent de donner une idée des différences de débit offert par l'ADSL par rapport au RTC. [18][22]

5.9 Conclusion

Des équipements sont obligatoires pour l'installation d'une connexion ADSL. Le filtre mural fait partie de l'essentiel de ces fourniments. Par contre dans les versions améliorées, certains équipements sont devenus inutiles, comme le splitter dans l'ADSL lite.

CHAPITRE 6

SIMULATION DE LA TRANSMISSION UTILISANT LE DMT SUR UNE LIGNE TELEPHONIQUE

6.1 Le logiciel Matlab

Matlab est un logiciel de calcul et de simulation très puissant, dédié pour des réponses de calculs très rapides, contrairement au langage C ou au Java, et qui permet de visionner le fonctionnement fictif du schéma bloc de toute la procédure.

De plus, l'outil Simulink de Matlab, nous offre l'opportunité de construire les éléments essentielles de la simulation en des simples click et glissements, et quelques changements de valeurs pour simplifier le travail.

6.2 Déroulement de la simulation

La simulation qu'on va faire n'est pas absolument conforme au système de l'ADSL. Elle est réalisée avec une certaine approche sur le DMT et surtout sur les modèles de lignes téléphoniques.

Le but de cette simulation est de trouver les conditions nécessaires pour avoir une transmission de qualité acceptable, en fonction de la qualité de la ligne téléphonique. A noter que les codes de corrections d'erreurs telles que Reed Solomon n'est pas encore intégré dans le système.

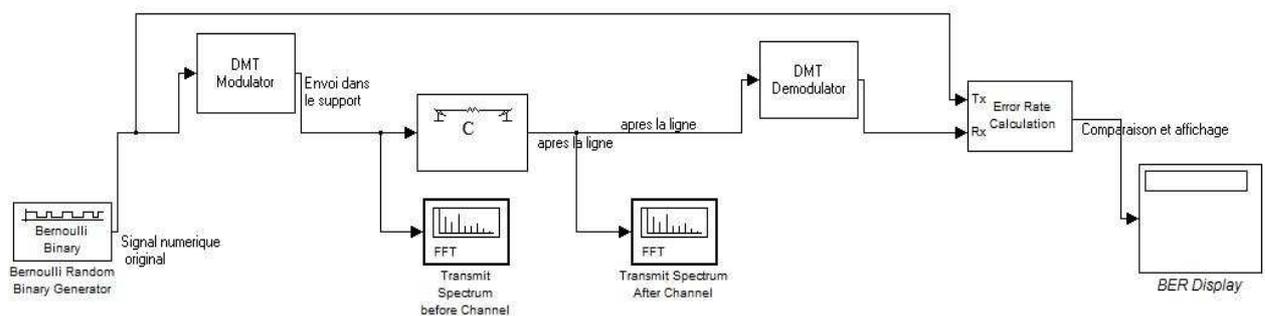


Figure 6.01 : Schéma de base de la simulation

Bernoulli Random Binary Generator : c'est un générateur de signal numérique aléatoire, signal qui sera idéal pour notre simulation.

C : c'est le canal de transmission du signal, la ligne téléphonique du modèle Bruit Blanc Gaussien

Transmit Spectrum : Affiche la puissance transmise par canal.

Error Rate Calculation : Calcule le taux d'erreur qui était survenu pendant la transmission.

DMT Modulator : Modulateur DMT utilisant le CAP en bande de base

DMT Demodulator : Démodulateur DMT utilisant le CAP en bande de base.

Le contenu du bloc AWGN nous intéresse fortement en raison que celui qui nous offre la possibilité de modifier les caractéristiques de la ligne.

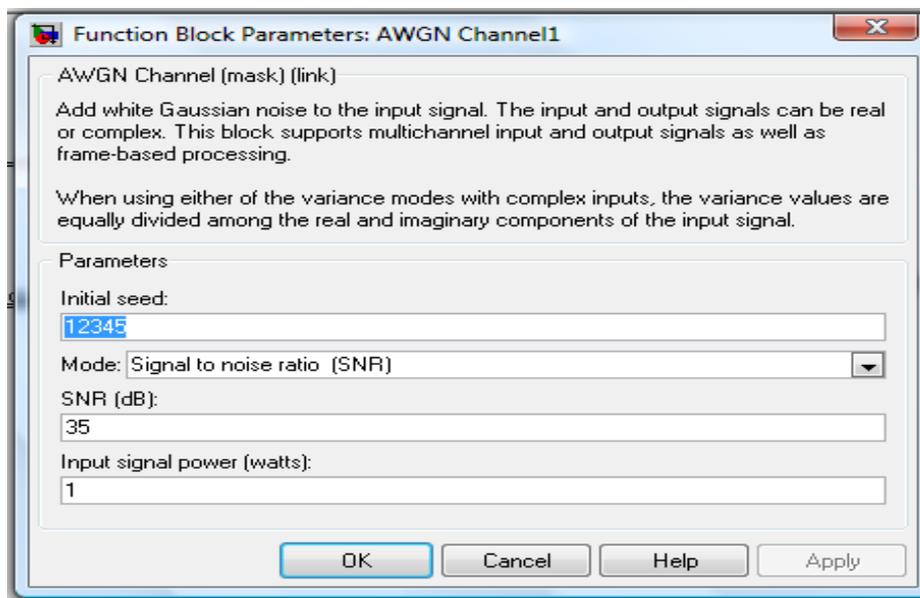


Figure 6.02 : *Le bloc caractéristique du signal/bruit*

Etant donné que le bruit est de type aléatoire, il nous reste juste à définir le taux de signal sur bruit et la puissance du bruit.

Les types de variables manipulés dans la simulation sont donnés par le schéma suivant.

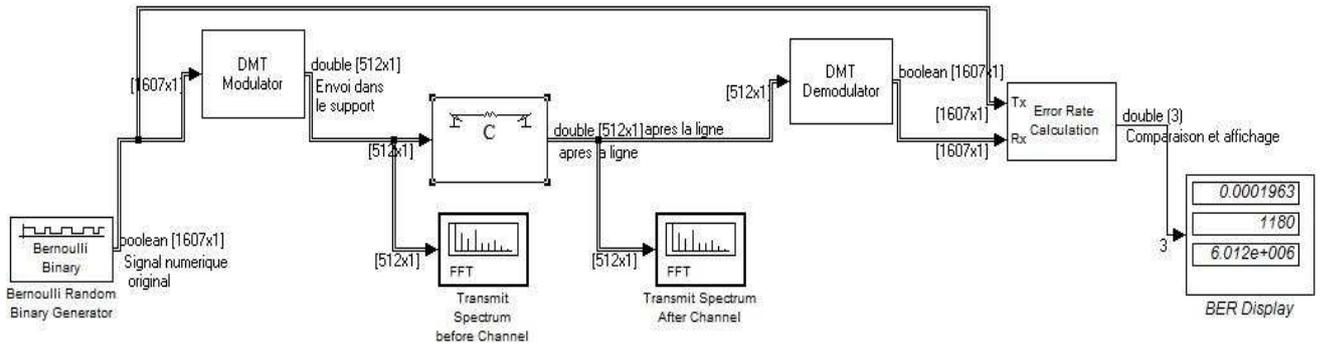


Figure 6.03 : Les types de variables

L'afficheur de Taux d'erreur Binaire nous montre le taux d'erreur après comparaison du chaîne de bit transmis et la chaîne de bit après démodulation.

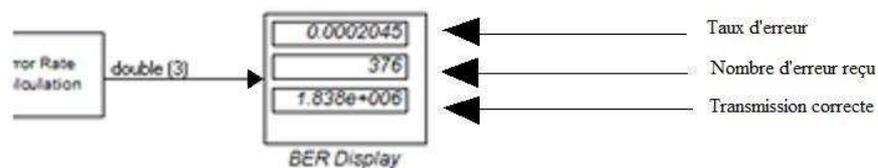


Figure 6.04 : L'afficheur du taux d'erreur binaire

6.3 Simulation

- 1^{er} cas : cas idéal :

Puissance du bruit nulle et rapport signal/bruit infiniment élevée

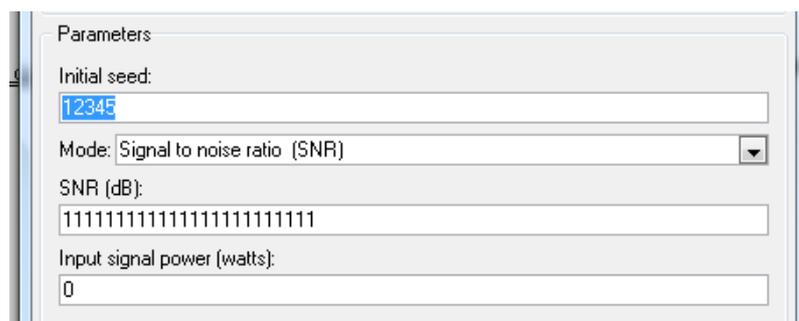


Figure 6.05 : Cas idéal de la simulation

Cela implique un taux d'erreur quasiment nulle pendant la transmission.

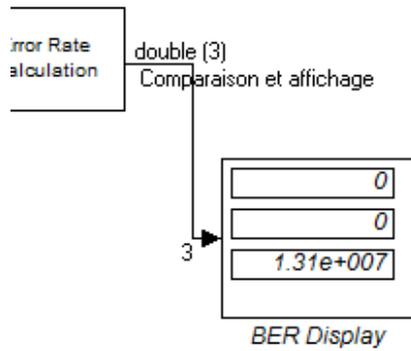


Figure 6.06 : *Transmission sans erreur*

L'allure du spectre du signal est alors identique à l'entrée et après la ligne de transmission.

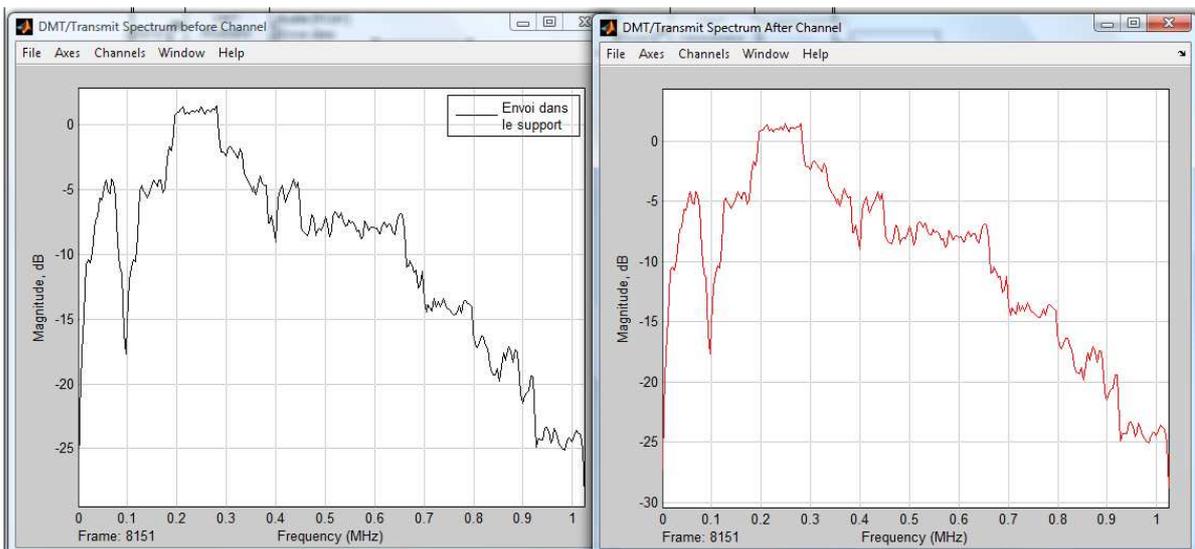


Figure 6.07 : *Spectre du signal à l'entrée et à la sortie pour le cas idéal*

- 2^e cas : Transmission totalement bruité

Cas résultant de la puissance assez élevé du bruit et ainsi du rapport signal/bruit faible

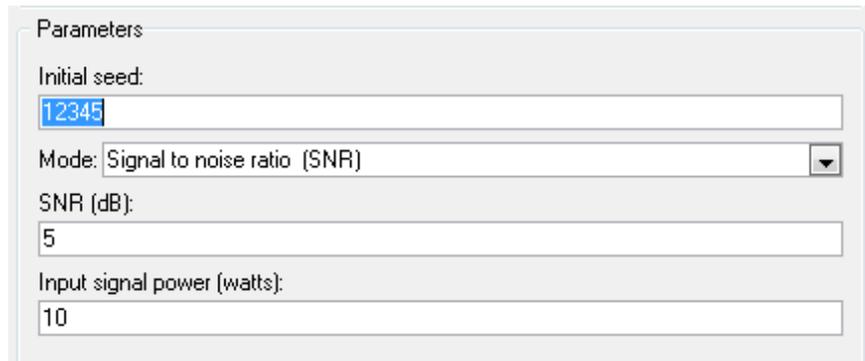


Figure 6.08 : SNR très faible

Ce cas provoque un taux d'erreur environnant 50%

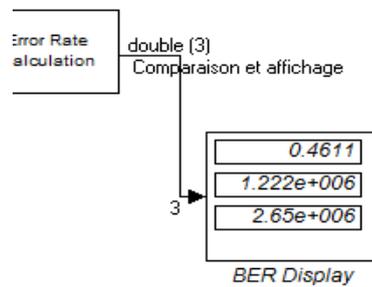


Figure 6.08 : Taux d'erreur critique

Le spectre du signal est complètement déformé, il n'est plus possible de reconnaître le message dans le signal reçu

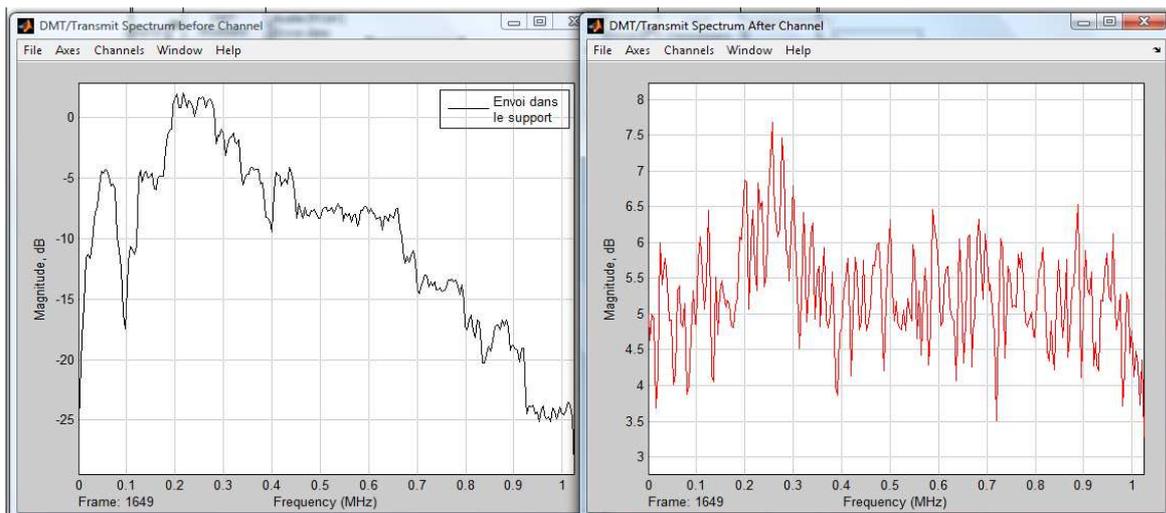


Figure 6.09 : Spectre totalement déformé

- 3è cas : signal bruité avoisinant la réalité

Ce cas résulte d'un rapport signal/bruit assez élevé mais pas assez pour englober le signal utile.

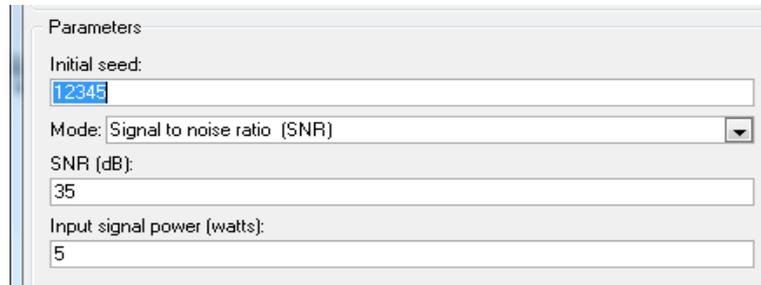


Figure 6.10 : SNR largement élevé

Cela implique un taux d'erreur d'environ 0,2%

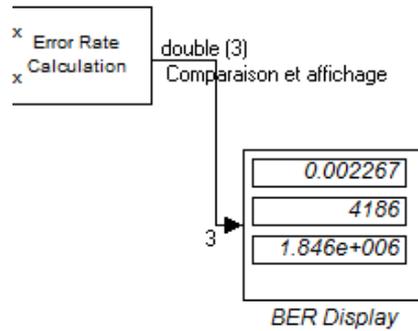


Figure 6.11 : Taux d'erreur acceptable

Et différence de spectre à l'entrée et à la sortie du canal, mais les pics et creux du signal sont encore détectables. Cette transmission est encore acceptable.

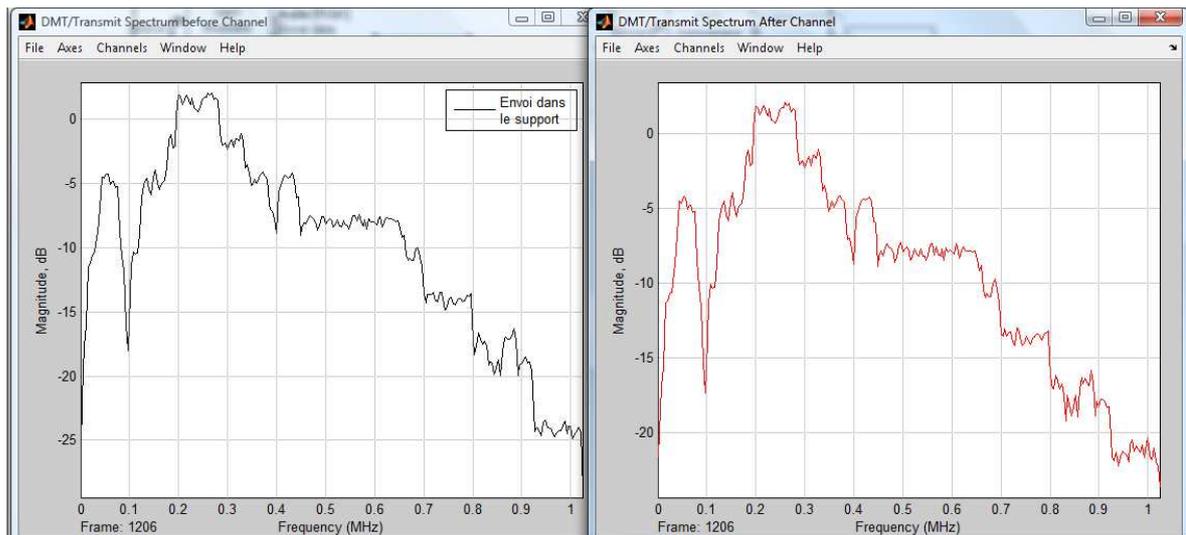


Figure 6.12 : *Spectre non déformé*

6.4 Récapitulatif

La figure suivante montre le taux d'erreur en fonction des paramètres de la ligne.

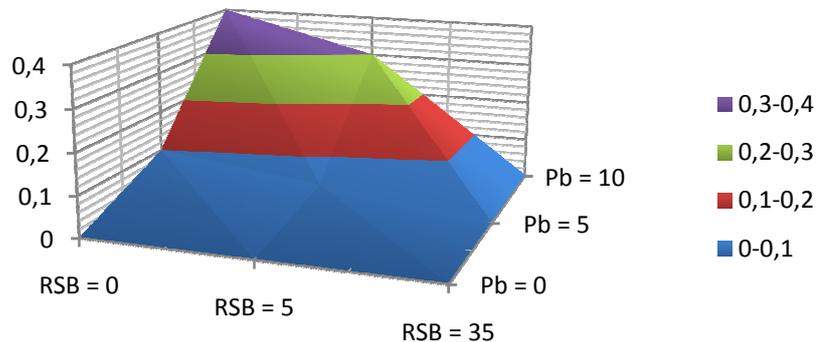


Figure 6.13 : *Qualité de transmission en fonction du RSB et du Pb*

6.5 Conclusion

Malgré la chaîne de bit à l'entrée du modulateur, les propriétés du système restent invariables et indépendantes de l'entrée. La marge de bruit, c'est le bruit perçu sur la ligne ADSL, provoqué par les interférences, autres émissions sur les mêmes fréquences, perturbations et parasites divers, filtres en mauvais état et connecteurs corrodés, anciens câblages ou rallonges.

La marge de bruit dépend uniquement de la qualité de la ligne.

Une ligne est considérée comme de bonne qualité pour un SNR supérieur à 15db, et qualifiée comme médiocre si celui-ci descend au dessous de 7dB.

CONCLUSION GENERALE

Même si la technologie xDSL est souvent une bonne solution à un tarif très intéressant, 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. C'est pourquoi il est recommandé de conserver en parallèle une liaison classique, comme une ligne ISDN.

Malgré cette limitation, on s'attend dans les années à venir à un impact significatif des technologies xDSL, intrinsèquement 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, ainsi que la transmission de la voix entre les PME qui précéderont les consommateurs dans l'utilisation de cette application.

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 ainsi que de la qualité de service rendue de la part des opérateurs de télécommunication, même si d'autres technologies peuvent à long terme sembler convenir aux réseaux à hauts débits tels que la fibre optique, les liaisons hertziennes à micro-ondes. Il peut sembler évident que par le nombre d'acteurs majeurs dans l'élaboration des standards, l'investissement considérable engagé dans la recherche des solutions technologiques dans ce domaine montre que ces technologies xDSL représentent une solution viable dans la mesure où elles allient des performances satisfaisantes tout en s'appuyant sur une infrastructure existante. De plus, chaque technologie xDSL se montre performante sur le créneau du réseau à hauts débits à laquelle elle est destinée.

ANNEXES

ANNEXE 1

ALTERNATE MARK INVERSION

A1.1 Définition

Bipolar Alternate Mark Inversion (Bipolar-AMI) est une technique de codage en ligne pour les lignes T1 qui utilisent des impulsions bipolaires pour représenter les états logiques. C'est en réalité un système à 3 niveaux. Un 0 logique est représenté par une absence de symbole, tandis qu'un 1 logique est représenté par une impulsion de polarité alternative. L'utilisation d'un codage alternatif prévient l'apparition d'une composante continue dans le conducteur. Ceci est un avantage non négligeable, car les conducteurs sont souvent utilisés pour transporter une petite quantité de courant pour alimenter les équipements intermédiaires tels que les répéteurs.

A1.2 Principe et utilisation

Le codage AMI était utilisé massivement dans la première génération des réseaux PCM, mais une longue suite de 0 ne provoquait pas de changement d'état dans le flux de données (n'autorisant pas une synchronisation suffisamment précise). Les transmissions fiables s'appuient sur le fait que l'utilisateur n'a pas besoin d'envoyer de longues suites de '0'. Pour le transport de la voix, le bit de poids faible est toujours mis à '1', ce qui générerait des transitions sur le conducteur. Ceci fonctionne bien pour la voix, mais pas pour les données.

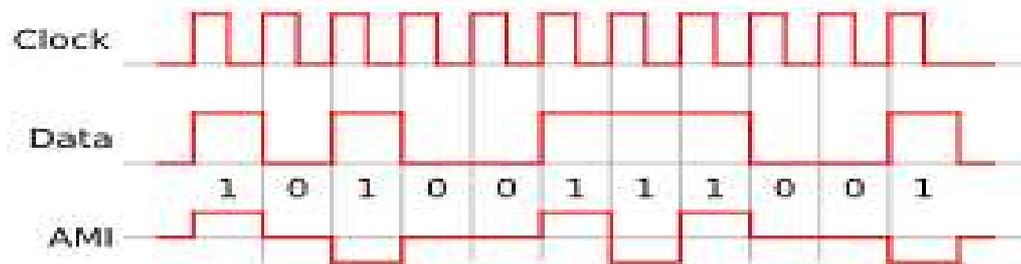


Figure A1.1 : Codage AMI

D'autres types de codage en ligne sont apparus pour fournir des transitions quel que soit les données transportées. B8ZS est une version pour l'Amérique du Nord, alors que HDB3 est le codage utilisé en Europe et au Japon.

ANNEXE 2

CODE DE REED SOLOMON

A2.1 Vue d'ensemble

Les codes Reed Solomon sont des codes par bloc. En effet ils prennent en entrée un bloc de données de taille fixée, qui est transformé en un bloc de sortie de taille fixée. Ces codes travaillent sur un corps de Galois qui possède le plus souvent 2^m éléments. Le plus souvent on prend $m = 8$ ou $m = 16$. Grâce à un ajout de redondance, ces codes permettent de corriger deux types d'erreurs:

- Les erreurs induisant une modification des données, ou certains bits passent de la valeur 0 à la valeur 1 et vice versa comme sur le canal binaire symétrique,
- Les erreurs provoquant des pertes d'informations aussi appelées effacements, lorsque des paquets d'informations sont perdus ou effacés comme sur le canal binaire à effacement.

On note un codage de Reed-Solomon $RS(n,k)$ ou $RS(n,k,t)$.

A2.2 Principe et exemple

Imaginons un bloc de 3 nombres que l'on souhaite transmettre : 02 09 12

Ajoutons deux nombres de redondance d'information.

Le premier est la somme des 3 nombres : $02 + 09 + 12 = 23$

Le second est la somme pondérée des 3 nombres, chacun est multiplié par son rang : $02 \times 1 + 09 \times 2 + 12 \times 3 = 56$

À la sortie du codeur, le bloc à transmettre est : 02 09 12 23 56

Suite à une perturbation, le récepteur reçoit : 02 13 12 23 56

À partir des données reçues, le décodeur calcule :

- Sa somme simple : $02 + 13 + 12 = 27$
- Sa somme pondérée : $02 \times 1 + 13 \times 2 + 12 \times 3 = 64$

La différence entre la somme simple calculée (27) et celle reçue (23) indique la valeur de l'erreur :
4 ($27-23 = 4$)

La différence entre la somme pondérée calculée (64) et celle reçue (56), elle-même divisée par la valeur de l'erreur indique la position où l'erreur se trouve : 2 ($(64-56) / 4 = 2$).

Il faut donc retirer 4 au nombre du rang 2.

Le bloc original est donc 02 (13-4=09) 12 23 56

Lors d'une transmission sans perturbation, les différences des sommes simples et des sommes pondérées sont nulles.

A2.3 Propriétés

La longueur maximale d'un code de Reed–Solomon est définie comme :

$$n = k + 2t$$

$$n = 2m - 1$$

Avec :

m : nombre de bits par symbole ;

k : nombre de symboles d'information, appelé charge utile ;

n : nombre de symboles transmis (charge utile et correction d'erreur) ;

$2t$: nombre de symboles de contrôle.

Si la localisation des erreurs n'est pas connue à l'avance - et c'est le cas en pratique - le codage Reed-Solomon sait corriger $(n - k) / 2$ erreurs.

En général, un symbole sera un octet et donc $m=8$ (un octet fait huit bits). Souvent, on a $t = 8$, $n = 255$ (un octet) et $k = 239$.

n étant souvent trop important en pratique, une partie des informations peut être remplacée par des zéros avant encodage et ne sera pas transmise, mais devra être ajoutée avant décodage. On parle dans ce cas de code Reed-Solomon raccourci (shortened Reed-Solomon codes).

En ADSL/ADSL2/ADSL2+, le codage est souvent RS (240, 224, $t=8$) ou encore RS (255, 239, $t=8$).

A2.4 Faiblesse

Suite au faible nombre de symboles que le codage Reed-Solomon peut corriger, ce codage est très mauvais en cas de bruit impulsif de longue durée, ou de bruit aléatoire régulier.

A2.5 Utilisation dans un modem avec codeur convolutif

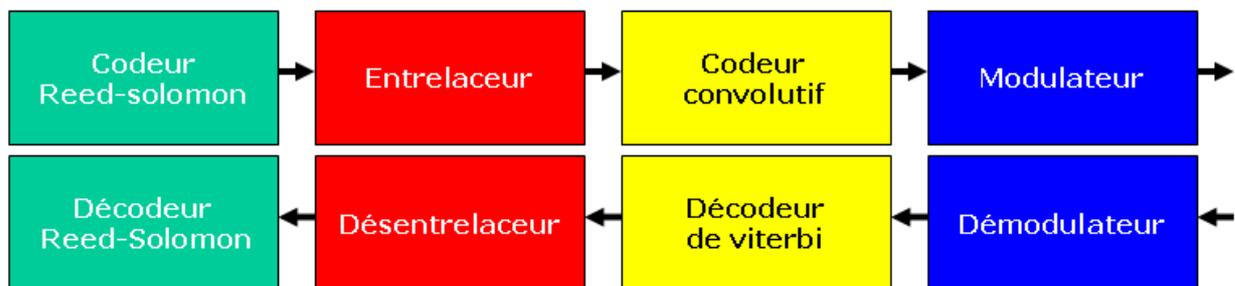


Figure A2.1 : *modem avec codeur convolutif*

En général, en émission, dans un modem (ADSL, modem satellite IDR/SMS, DVB-S, etc), le codage Reed-Solomon, renforcé par un entrelaceur est accompagné d'un codeur convolutif. En réception, les erreurs résiduelles non corrigées par le décodeur de Viterbi seront alors désentrelacées dans les blocs d'origines et corrigées par le décodeur Reed-Solomon dans la mesure de son pouvoir correcteur.

Le but du désentrelaceur est de remplacer en réception, une salve d'erreurs regroupées et souvent non corrigeables (bruit impulsif) par une multitude d'erreurs réparties et souvent corrigeables pour le décodeur de Reed-Solomon.

ANNEXE 3

T/E-CARRIER

A3.1 Généralités

En télécommunications, T-carrier est la désignation d'un système générique de télécommunication numérique multiplexé originalement développé par Bell Labs et utilisé en Amérique du Nord et au Japon.

L'unité de base dans le système T-carrier est le DS0 qui a une transmission de 64 kbit/s, et est couramment utilisé pour un circuit voix.

Le système E-carrier, où « E » signifie Européen, est incompatible et est utilisé partout dans le monde en dehors du Japon et des États-Unis.

A3.2 T1

Cette technique consiste à diviser le tronc numérique du réseau sur deux paires de fils.

Grâce à cette technique, il est possible d'atteindre un débit de 1,544 Mbit/s dans les 2 sens sur deux paires torsadées. Il est possible que le débit, s'il est à 2 Mbit/s, puisse tomber à 384 kbit/s par exemple en fonction de la qualité de la ligne et de la distance de la ligne sur le dernier kilomètre (entre 3 et 7 km suivant le diamètre du fil, respectivement entre 0,4 mm et 0,8 mm).

Les circuits T2 et T3 transportent plusieurs canaux T1 multiplexés, permettant d'atteindre des débits jusqu'à 44,736 Mbit/s.

On suppose que le débit de 1,544 Mbit/s a été choisi empiriquement. Les tests menés par AT&T Long Lines à Chicago étaient réalisés sur des circuits enterrés et les parties accessibles situées à 6600 pieds l'une de l'autre. La vitesse du circuit a donc été augmentée jusqu'à ce que le taux de perte soit inacceptable, puis réduite

T-Carrier Systems	Amérique du Nord	Japon	Europe
Niveau0 (débit du canal)	64 kbit/s (DS0)	64 kbit/s	64 kbit/s
Niveau 1	1,544 Mbit/s (DS1) (24 canaux) (T1)	1,544 Mbit/s (24 canaux)	2,048 Mbit/s (32 canaux) (E1)
Niveau intermédiaire (États-Unis seulement)	3,152 Mbit/s (DS1C) (48 canaux)	-	-
Niveau 2	6,312 Mbit/s (DS2) (96 canaux)	6,312 Mbit/s (96 canaux), ou 7,786 Mbit/s (120 c.)	8,448 Mbit/s (128 canaux) (E2)
Niveau 3	44,736 Mbit/s (DS3) (672 canaux) (T3)	32,064 Mbit/s (480 canaux)	34,368 Mbit/s (512 canaux) (E3)
Niveau 4	274,176 Mbit/s (DS4) (4032 canaux)	97,728 Mbit/s (1440 canaux)	139,268 Mbit/s (2048 canaux) (E4)
Niveau 5	400,352 Mbit/s (5760 canaux)	565,148 Mbit/s (8192 canaux)	565,148 Mbit/s (8192 canaux) (E5)

Tableau A3.1 : Equivalence T - E

Couramment pour un téléphone, la bande passante dédiée est de 300 Hz à 3,4 kHz. Pour chaque bande passante, l'échantillonnage se fait au rythme de 8000 fois par seconde (8 kHz) soit 125µs

De plus, chaque échantillon pour un signal audio (300 Hz à 3,4 kHz) est codé par 8 bits.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] RAZAKARIVONY Jules., « *Modulation et démodulation* », Cours L2 – TCO, Dép. TCO.-ESPA., A.U. : 2007-2008.
- [2] RAZAFINDRADINA Henri Bruno, « *Communication numérique* », Cours L3 – TCO, Dep. TCO – ESPA, AU. : 2008-2009
- [3] « *Le réseau téléphonique classique*» <http://www.framasoft.net/article2458.html>
- [4] « *Memento ADSL*» <http://www.commentcamarche.net/>
- [5] <http://www.creusot.net/pilonet/adsl/technique.htm>
- [6] ENSEIR Bordeaux, « *Le haut débit* » <http://uuu.enseirb.fr>
- [7] Ybet website, « *Liaisons hauts débits* » <http://www.ybet.be/>
- [8] <http://aicof.free.fr/technologie.html>
- [9] <http://www.guideinformatique.com/fiche-xdsl-718.htm>
- [10] <http://www.testeur-adsl.com/technologie-adsl-xdsl.php>
- [11] ENSEIR Bordeaux, « *Les technologies xDSL* » <http://uuu.enseirb-matmeca.fr>
- [12] « *Généralités sur le DSL* » <http://kadionik.developpez.com/cours/reseau/xdsl/>
- [13] « *xDSL et matériels* » <http://www.materiel-informatique.be/dsl.php>
- [14] « *La nouvelle génération du haut débit : DSL*» <http://ntrg.cs.tcd.ie/undergrad/>
- [15] <http://membres.multimania.fr/planethurlante/xdsl/xdsl-i1.htm>
- [16] <http://www.zdnet.fr/actualites/telecoms/0,39040748,39387877,00.htm>
- [17] « *Mettre le point sur les modulations* » <http://www.s2.chalmers.se>
- [18] <http://www.adsl-france.org/>

- [19] <http://christian.caleca.free.fr/modulation/>
- [20] <http://www.adsl-france.org/>
- [21] http://deptinfo.cnam.fr/Memoires/LUSTEAU.Franck/Page/Les_modulations_avancees.htm
- [22] « The xDSL technologies » <http://www.gel.usherbrooke.ca/gei500/cours/adsl.pdf>
- [23] <http://www.web-ee.com/primers/files/5965-7160E.pdf>
- [24] « Discrete Multitone et évolutions » www.orange.multiplexage-modulationADSL.fr
- [25] www.adsl.com/adsl-technique-dsl.pdf

PAGE DE RENSEIGNEMENT

Nom : ANDRIANJAFIMANANA
Prénoms : Nasoloniaina Dimbimahonona
Adresse : Logt n°12 Cité des Postes Antanetibe
Ivato
105 Ambohidratrimo
Madagascar
Tel : 034 01 271 67 / 033 41 314 15
E-mail : xniaina@gmail.com



Titre du mémoire : EXPLOITATION DE LA LIGNE TELEPHONIQUE
ETUDE DE LA QUALITE DE LA TRANSMISSION
UTILISANT LE DMT : CAS DE L'ADSL

Nombre de pages : 89
Nombre de tableaux : 2
Nombre de figures : 46

Mots clés : Boucle locale, POTS, Bande passante, Haut débits, DMT, RSB,
RNIS, Taux d'erreur binaire, Analogique-numérique.

Directeur de mémoire : M. BOTO ANDRIANANDRASANA Jean Espérant

RESUME

Matlab est un logiciel puissant, nous permettant des calculs à une réponse très rapide. Cependant, nous n'avons pas pu faire la totalité de la simulation de tout le système de l'ADSL, ni du DMT, mais juste une partie de ce dernier, a cause de la complexité du système.

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 ainsi que de la qualité de service rendue de la part des opérateurs de télécommunication, même si d'autres technologies peuvent à long terme sembler convenir aux réseaux à hauts débits tels que la fibre optique, les liaisons hertziennes à micro-ondes.

Malgré tout cela, l'ADSL est comme toute technologie de transmission, a des points faibles, qui sont influencés par les facteurs externes, et est très limitée en distance.

Enfin, la technologie ADSL offre aux pays en voie de développements, comme Madagascar, un moyen de connexion de bonne qualité et non pas de bon marché, sans avoir à recourir à des nouvelles installations qui ne feront qu'augmenter le prix de l'implantation de l'infrastructure.

ABSTRACT

Matlab is a powerful software, allowing us some calculations to a very fast answer. However, we could not make the totality of the simulation of the whole system of the ADSL, nor of the DMT, but just a part of this last because of the complexity of the system.

The technology ADSL Lite is going to permit to accelerate the adoption of these technologies to a more and more people demands to the level of the performances waited as well as of the quality of service returned on behalf of the operators of telecommunication, even though other technologies can long-term to seem to suit the networks to high level data transfer as the optic fiber, the hertzian links to microwave.

In spite of all it, the ADSL is like all transmission technology, and has the weak points, that are influenced by the external factors, and very limited in distance.

Finally, the ADSL technology offers to the countries in way of developments, like Madagascar, a means of good quality connection and not expensive, without having resort to new infrastructures that will only make increase the price of the its implantation.