REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique et de l'Informatique



Projet de fin d'etude

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

Option : *Systèmes de Télécommunications*

THEME

Etude et analyse des effets du retard et bruit dans le système ADSL

Proposé et dirigé par,

M. MIMEN Bakhti. .

Préparé et présenté par,

M. AOUINA Hakim.

M.OUALHA Mohamed.

Devant le jury composé de

Pré: *Mr* ***DALI***

Exa: *M*r **OULDZMIRLI**

Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier tout le corps enseignant qui a contribué à notre formation, plus particulièrement notre encadreur **Mr. Mimen Bakhti** pour son aide et les précieux conseils qu'il a bien voulu nous donner.*

Nos remerciements s'étendent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents, pour leurs patience, leurs soutien et Leurs confiance ; mon père qui s'est sacrifié afin que rien n'entrave le déroulement de mes études, ma mère qui m'encourager, et me soutenir dans les moments difficiles ; qui a sa su m'entourer de tout son amour et son affectation pour que je ne puisse manquer de rien.

A mes très chères sœurs et frères.

A toute ma famille.

A mon binôme ***AOUINA Hakim*** *et toute sa famille.*

A tous mes enseignants sans exception.

A mes collègues de l'université de Médéa.

A tous les étudiants de l'université de Médéa on particulier les étudiants de télécommunication.

A tous ceux qui me sont chères, en particulier :

Mekki alhadi ,softa billal,benguermit mohamed,debedabi mohamed amine.

OUALHA Mohamed

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents, pour leurs patience, leurs soutien et Leurs confiance ; mon père qui s'est sacrifié afin que rien n'entrave le déroulement de mes études, ma mère qui m'encourager, et me soutenir dans les moments difficiles ; qui a sa su m'entourer de tout son amour et son affectation pour que je ne puisse manquer de rien.

A mes très chères sœurs et frères.

A toute ma famille.

A mon binôme ***OUALHA Mohamed*** *et toute sa famille.*

A tous mes enseignants sans exception.

A mes collègues de l'université de Médéa.

A tous les étudiants de l'université de Médéa on particulier les étudiants de télécommunication.

A tous ceux qui me sont chères, en particulier :

Mekki alhadi ,softa billal,benguermit mohamed,debedabi mohamed amine.

AOUINA Hakim

الملخص :

تكنولوجيا ADSL يسمح نقل البيانات الرقمية عبر الإنترنت باستخدام شبكات الهاتف الثابت (PSTN و ISDN). رأيت آثار التدهور المعلومات المنقولة عبر ADSL، ونحن نرى أن التأخير الناجم عن interleaver التشفير هو السبب الرئيسي للتدهور من المعلومات، ولكن العملية تعويض يسمح القرار للمشكلة. وعلاوة على ذلك، والضوضاء قناة هو مصدر آخر للتدهور من المعلومات. وبالتالي فإن حسن سير العمل في ADSL يجب أن يتم ضمن مستويات مقبولة نسبة الضوضاء .

كلمات مفتاحية :التأخر .الضجيج.

Résumé :

La technologie ADSL permet la transmission des données numérique à travers l'internet en utilisant les réseaux téléphoniques fixes (RTC et RNIS). Vu les effets de dégradation de l'information transmise par ADSL, on constate que le retard causé par le codeur interleaver est la principale cause de dégradation de l'information, mais l'opération de compensation permet la résolution du problème. D'autre part, le bruit du canal est une autre source de dégradation de l'information. Donc le bon fonctionnement de l'ADSL doit être effectué dans des niveaux de bruit acceptables .

Mots clés : Retard, Bruit.

Abstract :

ADSL technology allows the transmission of digital data over the Internet using fixed telephone networks (PSTN and ISDN). Seen the effects of degradation of information transmitted via ADSL, we see that the delay caused by the encoder interleaver is the main cause of degradation of information, but the compensation operation allows the resolution of the problem. Furthermore, channel noise is another source of degradation of information. So the proper functioning of the ADSL must be made within levels acceptable noise ratio.

Key words: delay, Noise.

LISTE DES FIGURES ..... **I**

LISTE DES TABLEAUX ..... **II**

LISTE DES ACRONYMES ..... **III**

INTRODUCTION GENERAL **1**

CHAPITRE I :LES SYSTEMES DE TELEPHONIE FIXE (RTC & RNIS)

1. Introduction **3**

2. Le réseau téléphonique commuté (RTC) **3**

2.1Les caractéristiques du réseau téléphonique commuté. 3
2.1.1*L'aspect technique du RTC et la transmission des données*…… 3
2.1.2*Les limite du RTC* 4
2.2Structure du réseau RTC 5
2.3Composants du réseau RTC 5
2.4Architecture du système téléphonique 6
2.5Hiérarchie des commutateurs 7
2.6Principales fonctions du réseau RTC 8

3. Le Réseau Téléphonique Numérisé RNIS **10**

3.1Qu'est-ce qu'un réseau RNIS 10
3.2Le développement des réseaux RNIS 10
3.3Comment fonctionne un réseau RNIS 11
3.3.1*Les canaux logiques RNIS* 11
3.3.2*Les interfaces standards RNIS* 11
3.3.3*L'adaptation des débits* 12
3.4Dispositif de connexion RNIS 12
3.4.1*Terminal Numérique de Réseau ou de Ligne* 13
3.4.2*Terminal Numérique d'Abonné* 13
3.4.3*Terminal RNIS* 14
3.4.4*Adaptateur* 14
3.4.5*Terminal non-RNIS* 14
3.4.6*Points de référence* 14
3.5Les protocoles RNIS 15
3.5.1*Couche Physique (1)* 15
3.5.1.1 *Formats de trames* 15
3.5.1.2 *Méthode d'accésau bus S0* 16
3.5.2*Couche laison (2)* 17
3.5.2.1 *Canal B* 17
3.5.2.2 *Canal D* 17
3.5.2*Couche Reseau (3)* 18
3.5.2.1 *Canal B* 18
3.5.2.2 *Canal D* 19
4. Conclusion **19**

CHAPITRE II :DESCRIPTION ET TECHNOLOGIE DU SYSTEME ADSL

1. Introduction **20**

2. La connexion à Internet **21**

3. Les Technologie xDSL **21**

3.1Les différentes technologies xDSL 22
3.1.1*HDSL/HDSL2 (High rate DSL)* 23
3.1.2*SDSL (Symetric ou Single pair DSL)* 22
3.1.3*RADSL (Rate Adaptative DSL)* 23
3.1.4*CDSL (Consumer DSL)* 23
3.1.5*VDSL (Very High speed DSL)* 23
3.1.6*IDSL (ISDN DSL)*.. 23
3.1.7*ADSL (Asymmetric DSL)* 24

4. Technologie ADSL **25**

4.1Pourquoi l'ADSL 25
4.2Architecture du réseau ADSL 27
4.3Les protocoles de communication 31
4.4Trame et canaux ADSL 32
4.4.1*Trame et super-trame ADSL* 32
4.4.2*Canaux de transport ADSL* 34
4.5Techniques de multiplexage 35
4.5.1*FDM* 35
4.5.2*TDM* 36
4.6Techniques de modulation 36
4.6.1*DMT* 37
4.6.2*CAP* 37

5. Conclusion **38**

CHAPITRE III :RETARDS ET BRUITS AU NIVEAU DU SYSTEME ADSL

1. Introduction **39**

2. Généralité de retard dans le système de transmission **39**

2.1Les causes du retard 40
2.2Le retard total sur un nœud 40
2.3 Gestion des erreurs de transmission 41

3. fonctionnement du model ADSL **41**

3.1Description des blocs 43
3.2*Bernoulli binary* 43
3.3*Interleaver (intercaleur)* 43
3.4*Générateurde CRC/ Détecteur du syndrome* 44
3.5*Scrambleur /descrambleur* 44
3.6 *Le codage de Reed Solomon* 45
3.7*Modulateur et démodulateur DMT* 45

4. Discussions du bloc de retard **46**

5. Conclusion **47**

CHAPITRE IV :IMPLEMENATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

1. Introduction **48**

2. Blocs sources 48

3. Configuration des blocs du système ADSL 50

3.1Schéma globale du système ADSL 50
3.2Description et configuration des blocs 51

4. Présentation et discussion des resultas 60

4.1Effet du retard et du bruit 60

5. Conclusion 66

CONCLUSION GENERAL 67

BIBLIOGRAPHIE 69

LISTE DES FIGURE

Figure I.1. *Architecture du réseau Télécommunication* 6
Figure I.2. *Organisation d'un réseau Téléphonique - Schéma générale* 8
Figure I.3. *Fonctions d'un réseau* 9
Figure I.4. *Dispositif de connexion RNIS* 13
Figure I.5. *Protocoles RNIS - vue complète* 15
Figure I.6. *Formats des trames RNIS* 16
Figure II.1. *Schéma de principe d'une connexion ADSL* 26
Figure II.2. *Le réseau ADSL* 27
Figure II.3. *Principe du filtrage au niveau du DSLAM* 28
Figure II.4. *Format d'une super-trame ADSL* 33
Figure II.5. *Constellation pour un codage de ligne à 2-CAP et 64-CAP* 37
Figure III.1. *Schéma de bloc d'un système ADSL* 42
Figure III.2. *Schéma de l'interleaver convolutionel* 43
Figure III.3. *Schéma de interleaver et non-interleaver* 44
Figure III.4. *Schéma d'une structure de Scrambleur* 45
Figure III.5.*Utilisation de la bande passante par la DMT* 45
Figure III .6. *Le chemin de intercalée* 46
Figure IV.1. *Blocs de source* 48
Figure IV.2. *Blocs de communication.* 50
Figure IV.3. *Système ADSL simulé* 50
Figure IV.4. *Schéma du registre à décalage du Scramble* 52
Figure IV.5 *Modulateur DMT.* 53
Figure IV.6. *Modulateur Bank* 55
Figure IV.7. *Schéma de la Transformée de Fourier Inverse* 56
Figure IV.8. *Model de ligne téléphonique* 56
Figure IV.9. *Paramètres du bloc Digital Filter Design.* 57
Figure IV.10. *Prise d'écran des paramètres du bloc AWGN* 58
Figure IV.11. *Schéma Transformée de Fourier* 59
Figure IV.12. *Schéma interne d'interleaved de réception* 60
Figure IV.13. *signal retarde* 60
Figure IV.14. *Schéma présentant le chevauchement des trames* 61
Figure IV.15. *Variation de BER on fonction de SNR* 65
Figure IV.16. *Variation de BER on fonction de retard* 65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. *Caractéristiques des diverses technologies xDSL* 25
Tableau II.2. *Super-trame ADSL* 33
Tableau II.3. *Trame ADSL*. 34
Tableau III.1. *Résumé des retards dans le chemin non-interleaver*. 47
Tableau IV.1. *Varation du BER en fonction du retard dans les cas d'interleaver et non interleaver* 61
Tableau IV.2. *BER en fonction de retard* 62
Tableau IV.3. *BER* en *fonction des niveaux de bruits pour diffèrents de retard* 63

Liste des ACRONYMES

DSL **:** *Digital Subscriber Line* =ligne numérique d'abonnés.
ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line = Ligne d'abonné numérique à débit asymétrique.
ATM : Asynchrones Transfer Mode
ATU-C : ADSL Transeiver Unit, Central Office Sidé
ATU-R : ADSL Transeiver Unit, Remote Terminal End
BAS : Broadband Access Server
CAP : Carrierless Amplitude Phase modulation
CDSL : Consumer *Digital Subscriber Line*
CRC : Cyclic Redundancy Check
CNET : Centre national d'étude des télécommunications
CPE: Customer Premises Equipment
CSMA/CD: Carrier Sence Multiple Access/Collision Detect
DMT: Discrete Multi Tone
DSL: Digital Subscriber Line
DSLAM : DSL Access Multiplexer
FAI : Fournisseur d'accès à Internet
FAC: *Forward Error Control*
FDM: Frequency Division Multiplexing
HTTP: Hyper Text Transfert
HDLC: High-Level Data Link Control
HDSL: High bit rate Digital Subscriber Line
IP: Internet Protocol
ISP: Internet Service Provider
ISDN: Integrated Services Digital Network
LLC: Logical Link Control
L2TP: Layer 2 Tunneling Protocol
LAC: L2TP Access Concentrator = Concentrateur d'accès L2TP
LAN: Local Area Network = Réseau local
LAP-B :Link Access Protocol - Balanced Mode.
LNS: L2TP Network Server = Serveur L2TP
NT : Network Termination
NSP: Network Service Provider
PDH: Plesichronous Digital Hierarchy
PoP : Point of Presence
POTS : Plain Old Telephone Services
PPP : Point-to-Point Protocol
PPPoA : PPP over AAL
PP PoE : PPP over Ethernet
PSTN :Public Switched Telephone Network
PVC : Permanent Virtual Connection
PVP : Permanent Virtual Path
QAM : Quadrature Amplitude Modulation

QoS : Quality of Service
RADIUS : Remote Access Dial In User Service
RBCI : Réseau Backbone et de Collecte IP : c'est l'épine dorsale du réseau
RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Services
RTCP : Réseau Téléphonique Commuté Public
SDH : Synchronous Digital Hierarchy
STM : Synchronous Transfer Module
TA : terminal adaptateurs
TE : Terminal Equipment
TNL : Terminal Numérique de Ligne-
TNR : Terminal Numérique de Réseau
TCP : Transport Control Protocol
UBR : Unspecified Bit Rate
VC : Virtual Connection
VLAN : Virtual Local Area Network
VP : Virtual Path
ZAA : zone à autonomie d'acheminement
ZAS :zone transit secondaire
ZTP : zone transit principal

Introduction générale

Les réseaux des télécommunications ont subi plusieurs évolutions pendant depuis les années 90. Ces évolutions concernent aussi bien des aspects technologiques que financiers. L'émergence des communications multimédia ainsi que la prise en compte des services évolutifs de l'Internet sont les deux exemples les plus marquants.

Avec le développement du réseau Internet, et la constante augmentation de la demande en largeur de bande, les opérateurs de réseau, comme les fabricants d'équipements, ont été amenés à reconsidérer leurs offres de services, la structuration de leur réseau, leurs gammes de produits,…etc.

Par ailleurs, pour garantir la qualité de service, il faut soit accroître la capacité des réseaux des télécommunications existants, soit implanter de nouveaux réseaux, voire de nouvelles techniques d'accès.

Actuellement, plusieurs systèmes de réseaux d'accès sont disponibles sur le marché mondial : raccordement des abonnés par fibre optique, nœuds d'accès basés sur la hiérarchie numérique synchrone (SDH), système d'accès radio, système d'accès xDSL…

La nouvelle technologie utilisée dans le réseau d'accès est dénommée « xDSL » (*Digital Subscriber Line* - ligne numérique d'abonné), qui permet d'obtenir des débits allant jusqu'à des Mbit/s avec les « anciens » fils de cuivre pour une distance associée à la boucle comprise entre quelques centaines de mètres et 6 km.

La technologie ADSL est la plus intéressante lorsque l'on cherche à mettre à niveau un réseau d'accès à fils de cuivre. Avec cette technique, une partie importante (en général le tronçon de 2 à 3 Km le plus proche du central local) d'une connexion à paires torsadées en cuivre existante peut acheminer des débits beaucoup plus importants, typiquement de l'ordre de 2 Mbit/s (ou plus encore sur de petites distances), sans qu'il soit nécessaire d'ajouter des dispositifs d'amplification.

Dans les systèmes de transmission, le problème de bruit et de retard de réception est prédominant dans divers recherches, car il faut que l'information transmise entre un émetteur et récepteur doive être effectuées dans les bonnes conditions de sécurité et de fiabilité.

En transmission ADSL, les séquences numériques transmises vont subir des retards ce qui va causer une dégradation totale de l'information.

Notre projet est porté sur l'étude de l'effet des retards et bruit dans le système ADSL, car nous avons organisé notre mémoire comme suite :

Le chapitre I donne quelques notions sur des systèmes téléphoniques fixes (RTC et RNIS), qui parle sur la technologie et fonctionnement de ces deux derniers.

Le chapitre II est consacré à l'étude des systèmes d'accès à Internet tels que les systèmes XDSL.

Le chapitre III, se porte sur l'étude de l'effet des retards et bruit dans le système ADSL

Le chapitre IV, est partie fruit de notre travail qui base sur l'implémentation logiciel du système ADSL en utilisant le Simulink sous Matlab. Où une étude les effets précédents seront étudiés.

Finalement on terminera par une conclusion générale.

1. Introduction

En 1854, l'inventeur français Charles Bour seul fut le premier à imaginer un système de transmission électrique de la parole. En 1877, l'américain Alexander Graham Bell construisit le premier téléphone capable de transmettre la voix humaine, tout en respectant sa qualité et son timbre.

Un réseau téléphonique est constitué de l'ensemble des organes nécessaires pour mettre en communication deux installations téléphoniques d'abonnés en utilisant les renseignements fournis par l'abonné demandeur (numérotation), maintenir celle-ci pendant toute la durée de conversation avec une qualité d'écoute satisfaisante, tout en supervisant cette communication pour détecter toute coupure ou raccrochage afin de libérer les organes qui ont servi à la réalisation de la liaison et en fin, de faire une taxation.

Le RTCP (Réseau Téléphonique Commuté Publique) ou PSTN (Public Switched Téléphone Network) constitue un des plus grands réseau au monde avec plusieurs centaines de millions d'abonnés.

Essentiellement analogique au départ, le réseau s'est progressivement numérisé mis à part la ligne d'abonné qui reste encore analogique. Pour les abonnés du RNIS, la ligne d'abonné a été aussi numérisée.

2. Le réseau téléphonique commuté(RTC)

2.1. *Les caractéristiques du réseau téléphonique commuté*

2.1.1. *L'aspect technique du RTC et la transmission des données*

Le fonctionnement du RTC repose sur un système de nœuds, appelés commutateurs, communiquant entre eux par l'émission de fréquences. Ce réseau met en relation deux installations terminales, permettant aux utilisateurs de communiquer entre eux. Le téléphone de chaque abonné est relié à une borne de répartition, elle-même connectée à un commutateur local. La liaison entre abonné et le premier commutateur est appelée boucle locale. L'appel, aiguillé par les commutateurs, est transmis par multiplexage au destinataire. Effectué manuellement au début de la téléphonie par des opératrices (plus connues sous le vocable de

«demoiselles du téléphone»), le système a été ensuite mécanisé. La clientèle ne cessant d'augmenter, le système devint électrique, puis informatique, avec les progrès scientifiques.

Chaque abonné dispose d'un numéro fixe permanent sur lequel il peut être joint. Le premier chiffre permet d'identifier l'opérateur chargé d'établir la communication, le deuxième, la position géographique de l'abonné, et les quatre derniers, le poste téléphonique dans le commutateur local.

Lorsqu'un abonné compose un numéro, le RTC achemine l'appel via les commutateurs et actionne la sonnerie du destinataire via le dernier central autocommutateur local. La sonnerie est activée par un signal sinusoïdal de fréquence environ 50Hz et de tension de 50 à 80 V par rafale ; activé pendant environ deux secondes et désactivé pendant environ quatre secondes.

Lorsque le destinataire décroche le poste, un courant continu d'environ 40 mA s'établit dans la ligne. Le central RTC supprime la sonnerie pour mettre en liaison les deux utilisateurs.

Le RTC permet aussi de transporter des données. Cette opération s'effectue par l'intermédiaire d'un modem (abréviation de modulateur et démodulateur) défini comme « un appareil électronique utilisé en télécommunication et en transmission de données qui assure la modulation des signaux émis et la démodulation des signaux reçus. (Il permet notamment l'échange d'informations entre des ordinateurs par le réseau téléphonique) ». Au début de l'internet à la fin du XXème siècle, le modem placé en mode données sur le RTC avait un débit maximal de 128 ko/s. Face au besoin de bande passante, ce mode de transmission des données limitait l'utilisation des consommateurs.

2.1.2. *Les limite du RTC*

Le fonctionnement du RTC repose sur une bande passante faible (300 Hz – 3400 Hz) correspondant à la gamme de fréquence de l'énergie vocale. Le rapport signal / bruit étant de 40 décibels, la qualité du signal en est altérée, d'autant plus qu'elle dépend aussi de la distance entre le poste téléphonique et le commutateur local. Cette lacune du RTC se traduit par le retard qui peut être observé lors d'une conversation téléphonique entre deux abonnés se trouvant particulièrement éloignés.

De nos jours, la plupart des postes téléphoniques sont reliés au RTC par une paire de fils de cuivre d'environ 0,5 mm de diamètre. Vu les besoins des consommateurs, on utilise de plus

en plus des câbles coaxiaux ou fibres optiques, augmentant ainsi la bande passante disponible. Ces progrès seront développés dans les technologies d'accès à internet.

2.2. *Structure du réseau RTC*

- Les abonnés sont reliés aux centraux (autocommutateurs) par des paires torsadées
- Les centraux sont reliés entre eux par :
  - D'autres paires torsadées.
  - Des câbles coaxiaux.
  - Des fibres optiques.
  - Des faisceaux hertziens.

Le réseau public de téléphonie est un gigantesque réseau maillé avec une structure hiérarchique du centre du réseau vers l'abonné. L'intérêt de ce type de réseau est sa grande fiabilité. En effet en cas de défaillance d'une des liaisons les données peuvent être acheminées par une autre. Ce réseau présente cependant l'inconvénient d'avoir un coût élevé.

Le RNIS n'a jamais réussi à le supplanter malgré ses atouts essentiellement pour des raisons de coûts (abonnement, matériel).

2.3. *Composants du réseau RTC*

Le R.T.C est constitué de :

- **centraux téléphoniques** ou **autocommutateurs.**
- **circuits d'interconnexion.** On en distingue 3 types :
  - ✓ la ligne d'abonné.
  - ✓ le circuit local.
  - ✓ le circuit interurbain.
- **équipements d'abonnés.** On en distingue 3 types :
  - ✓ les postes téléphoniques.
  - ✓ les terminaux de téléservice (Minitel, Télécopieur, Modem, etc).
  - ✓ les autocommutateurs privés ou, **P.A.B.X.** (Private Automatic Branch eXchange).

2.4. *Architecture du système téléphonique*

Le réseau téléphonique commuté public est essentiellement un réseau public de type ouvert. Cela signifie que tout client peut en demander l'accès, à condition d'accepter les procédures d'exploitation et les frais d'utilisation. Une fois raccordé au réseau, l'abonné peut avoir accès sans restriction aux autres clients du réseau.

En téléphonie, la zone de distribution constitue la cellule élémentaire. Chaque zone est munie d'un commutateur à autonomie d'acheminement (CAA), capable d'orienter le trafic sortant de la zone dans un certain nombre de directions, conformément à une topologie en étoile, comme la montre la figure (1).

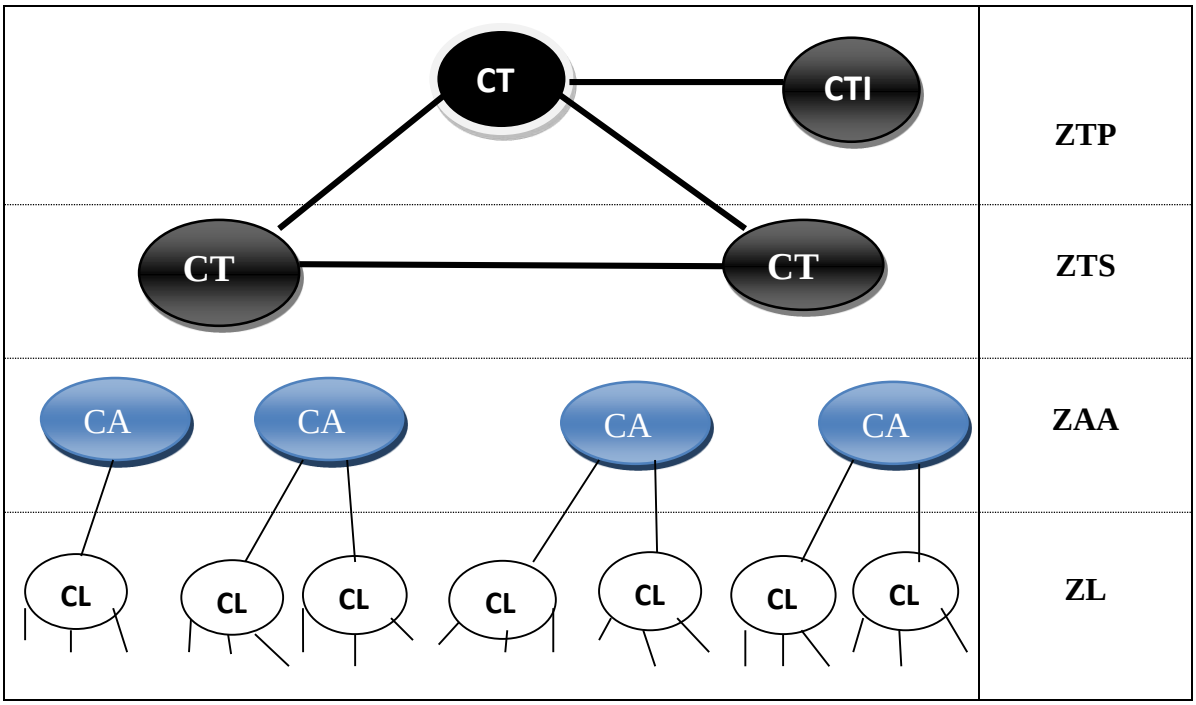


Figure I.1. *Architecture du réseau Télécommunication*

Un abonné peut être raccordé de deux façons à son commutateur à autonomie d'acheminement : soit directement, soit par l'intermédiaire d'un commutateur local. Les commutateurs à autonomie d'acheminement sont reliés entre eux par des lignes à 4 fils, alors que les commutateurs locaux le sont par des lignes à 2 fils. La ligne à 4 fils procure une paire de transmissions dans chaque sens et permet de réaliser un circuit duplex intégral. Quant à la ligne à 2 fils, elle fournit une paire de transmissions pour l'ensemble du circuit.

Du point de vue matériel, le réseau téléphonique est constitué :

- de commutateurs qui assurent la concentration du trafic des abonnés raccordés et la répartition des communications.
- de postes d'abonnés qui assurent la conversion de la parole en signaux électriques, et vice versa.
- de supports de transmission appelés lignes, ou circuits, dont la fonction est de propager des signaux, à courte ou grande distance, dans la bande de fréquence.

Permettant la reproduction fidèle de la parole, soit de 300 à 3400 Hz. L'établissement d'une communication entre deux abonnés, le demandeur et le demandé, se réalise en connectant de proche en proche des centres de commutation reliés par les supports de transmission. Les commutateurs échangent des informations, entre eux et avec les abonnés, et cela jusqu'à la rupture de la connexion.

Plusieurs types de support sont utilisés dans les réseaux téléphoniques. Les lignes de raccordement des abonnés à leur commutateur à autonomie d'acheminement sont généralement constitués de simples paires de conducteurs métalliques faits de cuivre, recouverts d'un isolant et torsadés. Les artères de transmission qui relient entre eux les centres de commutation utilisent des câbles coaxiaux, des faisceaux hertziens et, de plus en plus fréquemment, des fibres optiques.

2.5. *Hiérarchie des commutateurs*

On distingue :

- le commutateur local (C.L) sur lesquels sont raccordés les abonnés.
- le commutateur à autonomie d'acheminement (C.A.A).
- le commutateur de transit secondaire (C.T.S).
- le commutateur de transit principal (C.T.P).
- le commutateur de transit international (C.T.I).

Les zones :

- zone locale correspondant au CL.
- zone à autonomie d'acheminement correspondant à un ou plusieurs C.A.A.

- zone de transit secondaire correspondant à un CTS.
- zone de transit principal correspondant à un CTP.

On constate que la topologie du réseau est maillée et hiérarchisée dans la partie nationale. Elle est en étoile dans la partie locale.

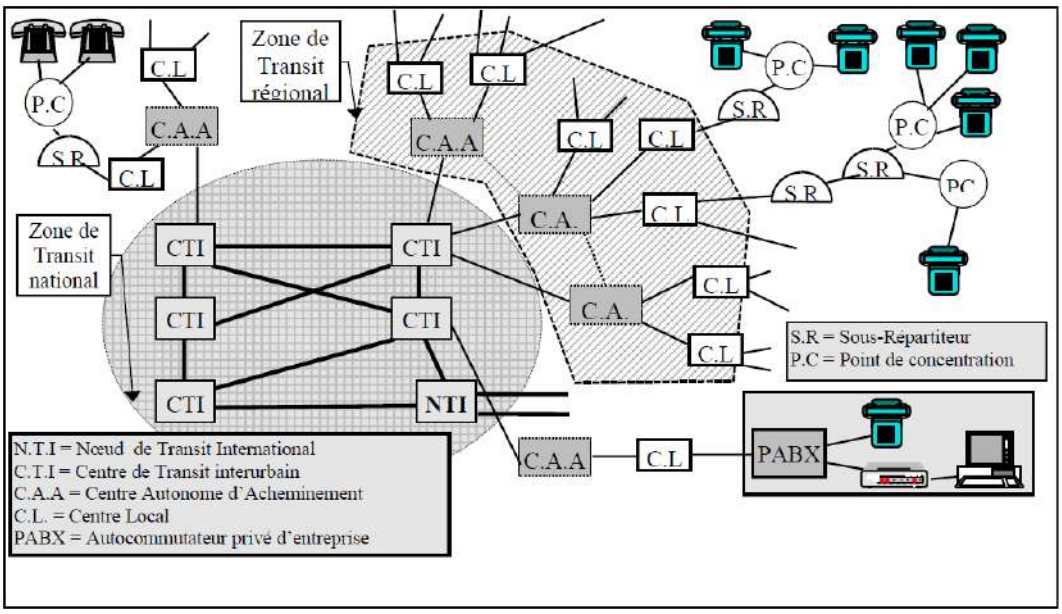


Figure I.2. *Organisation d'un réseau Téléphonique - Schéma générale*

2.6. *Principales fonctions du réseau RTC*

Le RTC, comme tout réseau commuté, assure trois fonctions essentielles.

- la Distribution qui permet de relier les abonnés au réseau. Elle suppose une importante infrastructure de câblage (câbles de capacité différente et équipements relais de répartition géographique) pour assurer l'interconnexion du réseau à ses abonnés (lignes d'abonnés, et circuits locaux). On distingue des raccordements de nature :
  - ✓ des lignes analogiques pour les lignes téléphoniques et les transmissions de données à l'aide de modems. On ne peut véhiculer qu'une seule conversation à la fois.
  - ✓ des lignes numériques pour le RNIS en accès de base (128kbits/s) ou primaire (2Mbits/s) ou pour les PABX.
- la Commutation qui permet d'établir, avant la mise en communication, un chemin reliant les points d'extrémité à travers les différentes artères du réseau. Les

commutateurs sont organisés d'une manière hiérarchique. Ils assurent l'aiguillage des communications et la gestion grâce à un système de signalisation normalisé. Ils effectuent d'autre part une fonction de multiplexage et de démultiplexage pour assurer une rentabilité maximale des artères de transmission.

Pour cela, chaque CL assure localement :

- ✓ l'acheminement local des communications et leur taxation.
- ✓ la concentration locale du trafic (le nombre d'abonnés est plus important que la capacité de commutation), basée sur l'idée que statistiquement les usagers ne seront pas tous actifs au même moment.

Le centre de transit nodal (CN) assure à chaque niveau de hiérarchie considéré (ZAA, ZTS et ZTP.) l'acheminement distant des communications.

- ➢ la Transmission permettant la communication d'un point à un autre sur un support. les artères de transmission acheminent les informations entre les commutateurs sous forme numérique. Ces artères sont constituées soit de fibres optiques qui remplacent peu à peu les câbles coaxiaux soit de faisceaux hertziens. Des normes d'affaiblissement maximum du signal ont été définies par l'UIT-T

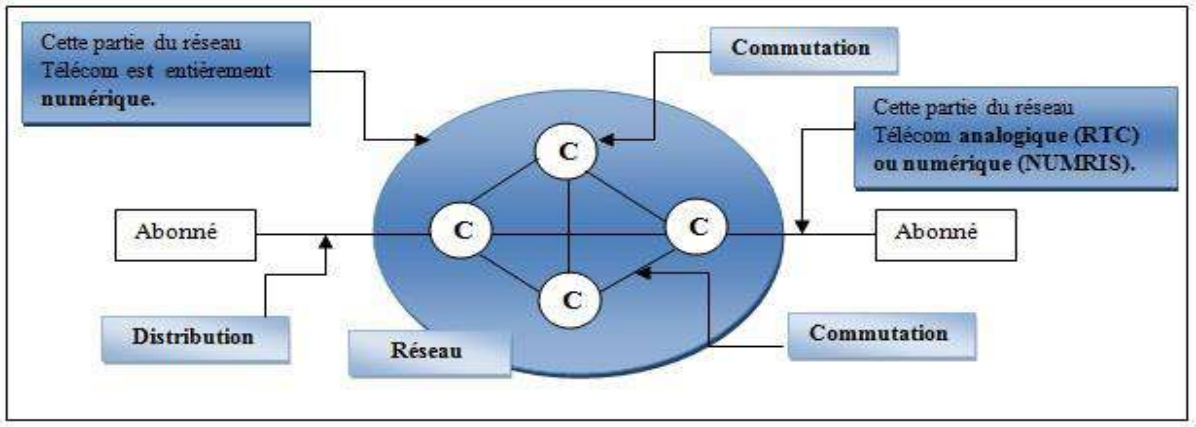


Figure I.3. *Fonctions d'un réseau*

3. Le Réseau Téléphonique RNIS

3.1. *Qu'est-ce qu'un réseau RNIS*

L'architecture des Réseaux Numériques à Intégration de Services (RNIS) a été conçue pour associer la voix, les données, la vidéo et toutes autres applications ou services. Cette architecture peut être vue comme une évolution des réseaux téléphoniques analogiques historiques ou Plain Old Téléphone System (POTS).

Les réseaux RNIS bande de base fournissent des services à faible débit : de 64Kb/s à 2Mb/s. La technologie ATM (Asynchronous Transfer Mode) dédiée aux réseaux grandes distances (WAN) faisait à l'origine partie des définitions RNIS sous la dénomination RNIS large bande pour les services à haut débit : de 10Mb/s à 622Mb/s.

Avec les réseaux RNIS, les sites régionaux et internationaux de petite taille peuvent se connecter aux réseaux d'entreprises à un coût mieux adapté à la consommation réelle qu'avec des lignes spécialisées. Les liaisons à la demande RNIS peuvent être utilisées soit pour remplacer les lignes spécialisées, soit en complément pour augmenter la bande passante ou assurer une redondance. Avec ces mêmes liaisons, les sites ou les utilisateurs distants peuvent accéder efficacement aux ressources critiques à travers l'Internet en toute sécurité.

De nos jours, les mêmes types d'accès réseau sont assurés avec d'autres technologies offrant d'avantage de performances. Dans le monde des réseaux filaires, les technologies xDSL dominent largement et dans le monde des radiocommunications les capacités de transfert de données offertes par les réseaux 3G et 4G dépassent facilement les débits des réseaux RNIS.

3.2. *Le développement des réseaux RNIS*

L'Union Internationale des Télécommunication (ITU) a défini la technologie RNIS comme un réseau fournissant une connectivité numérique de bout en bout avec une grande variété de services.

Deux caractéristiques importantes des réseaux RNIS les distinguent des réseaux téléphoniques traditionnels :

- Les connexions sont numériques d'une extrémité à l'autre,

- RNIS définit un jeu de protocoles d'interface utilisateur/réseau standard. De cette façon, tous les équipements RNIS utilisent les mêmes connexions physiques et les mêmes protocoles de signalisation pour accéder aux services.

RNIS combine la large couverture géographique d'un réseau téléphonique avec la capacité de transport d'un réseau de données supportant simultanément la voix, les données et la vidéo.

3.3. *Comment fonctionne un réseau RNIS*

Dans un réseau téléphonique analogique, une boucle sur une paire torsadée de fils de cuivre entre le commutateur central de la compagnie de télécommunication et l'abonné supporte un canal de transmission unique. Ce canal ne traite qu'un seul service simultanément, la voix ou les données. Avec un Réseau Numérique à Intégration de Services, la même paire torsadée est divisée en plusieurs canaux logiques.

3.3.1. *Les canaux logiques RNIS*

RNIS définit deux types de canaux logiques que l'on distingue par leurs fonctions et leurs débits :

- Les canaux B transmettent à un débit de 64Kb/s en commutation de circuit ou de paquet les informations utilisateur : voix, données, fax. Tous les services réseau sont accessibles à partir des canaux B.
- Les canaux D transmettent à un débit de 16Kb/s en accès de base et 64Kb/s en accès primaire. Ils supportent les informations de signalisation : appels, établissement des connexions, demandes de services, routage des données sur les canaux B et enfin libération des connexions. Ces informations de signalisation ont été conçues pour cheminer sur un réseau totalement distinct des canaux B. C'est cette signalisation hors bande qui donne aux réseaux RNIS des temps d'établissement de connexion rapides (environ 4 secondes) relativement aux réseaux analogiques (environ 40 secondes). Il est aussi possible de transmettre des données utilisateur à travers les canaux D (protocole X.31b), mais comme le débit de ces canaux est limité ce type d'utilisation est rare.

3.3.2. *Les interfaces standards RNIS*

Une interface d'accès à un réseau RNIS est une association de canaux B et D. Il existe deux interfaces standards. Elles correspondent à deux catégories d'utilisation distinctes :

- Résidentielle : utilisation simultanée des services téléphoniques et d'une connexion Internet.
- Professionnelle : utilisation d'un commutateur téléphonique (PABX) et/ou d'un routeur d'agence.

Dans les deux cas, le nombre de canaux utilisés peut varier suivant les besoins. Le débit maximum étant fixé par le type d'interface.

- Accès de base : l'accès de base ou Basic Rate Interface (BRI) comprend 2 canaux B et un canal D pour la signalisation : 2B+D.
- Accès primaire : l'accès primaire ou Primary Rate Interface (PRI) comprend 30 canaux B et un canal D à 64Kb/s en Europe (30B+D). Aux Etats-Unis et au Japon la définition est différente (23B+D). Seule la protection des marchés explique les différences de définition entre l'Europe, les Etats Unis et le Japon. Cet accès est l'équivalent RNIS des liaisons T1/E1 à 2,048Mb/s et 1,54Mb/s.

3.3.3 *L'adaptation des débits*

Les équipements non-RNIS n'ont pas nécessairement des débits compatibles avec la définition du canal B : 64Kb/s. Dans ce cas, les adaptateurs de terminal (TA) réalisent une adaptation en réduisant le débit effectif du canal B jusqu'à une valeur compatible avec le dispositif non-RNIS.

3.4. *Dispositif de connexion RNIS*

La configuration physique vue du côté de l'utilisateur RNIS est divisée en groupes fonctionnels séparés par des points de référence. Un groupe fonctionnel est une association particulière d'équipements qui assurent un ensemble de fonctions RNIS. Les points de référence sont les limites qui séparent les différents groupes fonctionnels. À chacun de ces points de référence correspond une interface standard à laquelle les fournisseurs d'équipements doivent se conformer. Ces interfaces standards ont aussi pour but de permettre à l'utilisateur de choisir son équipement librement.

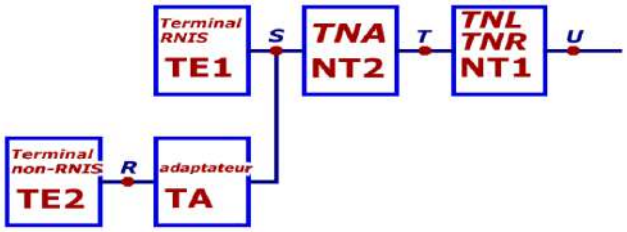


Figure I.4. *Dispositif de connexion RNIS*

• R, S, T, U : points de références

• TNL-TNR/NT1 : Terminal Numérique de Ligne-Terminal Numérique de Réseau/Network Termination 1

• TNA/NT2 : Terminal Numérique d'abonné/Network Termination 2

• Terminal RNIS/TE1 : Terminal Equipment 1

• Adaptateur/TA : Terminal Adapter

• Terminal non-RNIS/TE2 : Terminal Equipment 2

Pour un accès de base (BRI), l'appellation est Terminal Numérique de Réseau. Le TNR comprend les deux groupes NT1 et NT2. Il n'existe pas de TNA. En France, les offres Numéris DUO et Numéris(Itoo) de France Télécommunication utilisent des TNR-G qui répondent à ce critère.

3.4.1. *Terminal Numérique de Réseau ou de Ligne*

Selon la définition, le groupe fonctionnel NT1 est la liaison physique et électrique entre commutateur central de l'opérateur téléphonique et le réseau de l'abonné. Ce groupe supporte les interfaces usager/réseau avec de multiples canaux à multiplexage temporel (Time-Division Mutiplexing - TDM). La connexion n'autorise que des équipements RNIS.

3.4.2. *Terminal Numérique d'Abonné*

Le groupe fonctionnel NT2 n'est utilisé que pour les accès primaires. Ce groupe possède de nombreuses fonctions de commutation de circuits ou de paquets avec plusieurs connexions de bus S0. En règle générale, ce groupe correspond à un commutateur local (PABX) opérant au niveau réseau.

3.4.3. *Terminal RNIS*

Un Terminal RNIS (TE1) possède une interface S0 sans adaptation. Typiquement, les ordinateurs avec des modems internes RNIS sont des terminaux RNIS.

3.4.4. *Adaptateur*

Le rôle de l'adaptateur est de rendre compatible le débit du terminal non-RNIS avec celui du canal B du busS0 : 64Kb/s. Typiquement, les modems externes sont appelés Terminal Adapters.

3.4.5. *Terminal non-RNIS*

Un terminal non-RNIS (TE2) ne possède pas d'interface S0 directe. Tous les dispositifs utilisant des ports série, des bus USB, etc.

3.4.6. Points de référence

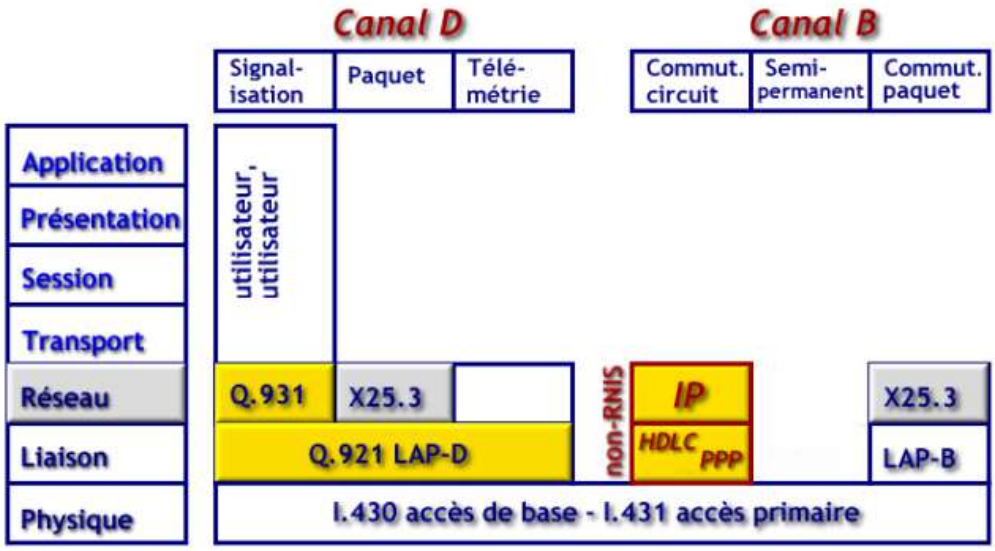
- Le point U est placé entre le groupe NT1 et la boucle de transmission de l'opérateur téléphonique qui fournit une liaison bidirectionnelle (full-duplex) entre l'abonné et le commutateur central sur 2 fils. L'interface U n'est utilisée qu'en Amérique du nord.
- Le point T est placé entre le groupe NT2 qui possède des fonctions de niveaux 1 à 3 et le groupe NT1 qui ne possède que des fonctions de niveau 1. C'est le point de connexion minimal entre l'abonné et l'opérateur.

Il existe plusieurs appellations suivant les types d'accès :

- T0 : accès de base (BRI) 2B+D.
- T2 : accès primaire (PRI) 30B+D. En France, les accès T2 sont déclinables en 15, 20, 25 et 30 canaux B.
- L'interface S peut être assimilée à un bus passif pouvant supporter 8 terminaux (TE) en série sur le même câble. Dans ce cas, chaque canal B est affecté à un terminal particulier pour la durée d'un appel.
- Le point R est la limite conceptuelle entre le terminal non RNIS et l'adaptateur.

3.5. *Les protocoles RNIS*

Organisation des protocoles RNIS dans la modélisation OSI.



FigureI.5. *Protocoles RNIS - vue complète*

3.5.1. *Couche Physique (1)*

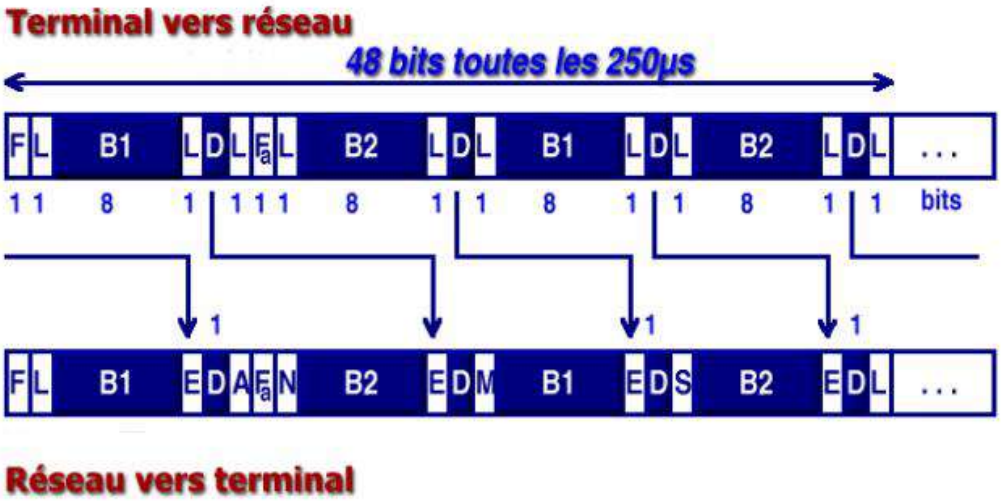
La couche physique (ou niveau 1) est identique pour les canaux B et D qui sont multiplexés pour composer un accès de base ou un accès primaire. Pour la suite de la présentation, nous prenons l'exemple de l'accès de base 2B+D.

La structure de la trame est composée de 48 bits répétés toutes les 250µs, soit un débit total de 192Kb/s. La distribution des débits entre les canaux B et le canal D est réalisé par multiplexage. Chaque trame contient :

- ✓ 2 octets pour le premier canal B (B1),
- ✓ 2 octets pour le second canal B (B2),
- ✓ 4 bits pour le canal D répartis sur la trame.

3.5.1.1. *Formats de trames*

Les formats de trames dépendent du sens de transmission entre le terminal RNIS (TE) et le Terminal Numérique de Réseau (TNR).



FigureI.6. *Formats des trames RNIS*

- F : Framing bit, synchronisation de trame.
- L : DC-balancing bit, équilibrage de la composante continue.
- E : D-channel Echo bit, bit d'écho du canal D.
- A : Activation bit, bit d'activation du terminal.
- Fa : auxiliary Framing bit, synchronisation auxiliaire.
- N : opposé du bit de synchronisation auxiliaire.
- M : Multiframing bit.
- B1, B2 : bits des canaux B ; 16 bits
- D : bits du canal D ; 4 bits par trame.
- S : Spare bits, bits disponibles.

3.5.1.2. *Méthode d'accès au bus S0*

Un canal B est toujours dédié à un terminal alors que le canal D est partagé entre tous les terminaux connectés sur le bus S0. La méthode d'accès au canal D employée par RNIS est voisine de celle d'Ethernet. Son appellation est : CSMA/CR Carrier Sense Multiple Access with Contention Résolution. Une station (ou un terminal) qui n'a rien à transmettre émet continuellement des niveaux '1'logiques (no signal). Le nombre de niveaux '1' logiques (de 8 à 11) correspond à une priorité prédéfinie.

1. Les services téléphoniques sont prioritaires sur les autres types de services.
2. Les informations de signalisation sont prioritaires sur les autres types d'informations.

Une station prête à émettre scrute le bit E des trames provenant du réseau. Le bit E, émis par le réseau (NT), est l'écho bit D précédemment transmis par le terminal (TE). Si une station (ou un terminal) détecte un bit E différent du bit D émis, il y a collision. Cette station stoppe immédiatement son émission. Cette technique simple de résolution des collisions garantit qu'une seule station émet sur le canal D simultanément. Après une transmission complète sur le canal D, la priorité du terminal concerné est réduite. Il doit détecter davantage de niveaux un logiques pour pouvoir émettre à nouveau. La priorité d'un terminal ne peut être augmentée avant que tous les autres terminaux du bus S0 aient cessé d'émettre.

3.5.2. *Couche Liaison (2)*

Comme il est indiqué ci-avant, les modes de fonctionnement des canaux B et D sont très différents.

3.5.2.1. *Canal B*

Il existe 3 modes de connexion :

- **Commutation de circuits :** Le circuit est établi, maintenu et libéré en utilisant la signalisation du canal D. Les données utilisateur sont échangées sur les canaux B avec les protocoles utilisateur.
- **Mode semi-permanent :** Le circuit est établi entre les utilisateurs et le réseau pour une durée délimitée ou non. Une fois le circuit établi, le canal D n'est plus nécessaire pour la signalisation.
- **Commutation de paquets :** Dans ce cas, une connexion en mode commutation de circuits doit être établie entre l'abonné RNIS et un nœud du réseau à commutation de paquets sur le canal B. Cette connexion en mode commutation de circuits implique l'utilisation de la signalisation du canal D. Le réseau à commutation de paquets peut être partiellement RNIS. RNIS peut donc fournir un service de commutation de paquets sur les canaux B (protocole X.31a).

Pour la transmission sur les réseaux de données, notamment Internet, la commutation de circuits est le mode de connexion le plus largement adopté. Ce guide s'appuie sur ce mode de transmission.

3.5.2.2. *Canal D*

Il existe 3 types de services sur le canal D : signalisation, commutation de paquets et télémétrie. Ces services sont tous intégrés dans le même protocole de niveau 2 appelés LAP-D. Ce protocole est voisin de la normalisation X25.2 : trames au format HDLC (High-Level Data Link Control) et protocole LAP-B (Link Access Protocol - Balanced Mode).

Le rôle des trames HDLC est de contrôler la liaison de données entre le Terminal Numérique de Réseau (TNR) et le Terminal RNIS (TE1).

Le protocole LAP-D est normalisé par l'ITU : spécifications Q.920 et Q.921. La principale différence entre les protocoles LAP-B et LAP-D réside dans l'adressage (champ Address). À partir des champs TEI/SAPI, l'adressage LAP-D permet de gérer les liaisons multipoints : plusieurs services pour une même interface ou diffusion d'un message vers toutes les interfaces du bus S0. Les champs Flag et Control sont identiques au format HDLC. La taille maximale de trame est limitée à 260 octets.

3.5.3. *Couche Réseau (3)*

Comme pour le niveau précédent, les modes de fonctionnement des canaux B et D sont très différents.

3.5.3.1. *Canal B*

Il n'existe pas de protocole RNIS spécifique au niveau 3 pour les canaux B. Suivant le mode de commutation choisi au niveau 2, on peut utiliser différents protocoles.

- ✓ La commutation de circuits étant le mode d'accès privilégié pour les connexions à Internet, on retrouve donc les protocoles du modèle TCP/IP au niveau réseau.
- ✓ Les protocoles X.25 et X.75 sont utilisables pour accéder aux réseaux à commutation de paquets. Le protocole X.75 est voisin d'X.25. Il est dédié aux services internationaux de commutations de paquets :

Le mode STE-STE (Signal Ling Terminal Equipement). Il existe deux situations types d'accès aux réseaux commutations de paquets.

- ✓ Accès à un réseau public X.25 à partir d'un raccordement physique sur un canal B RNIS, est défini par le protocole X.31a.

- ✓ Utilisation des téléséries au-dessus du protocole réseau ISO-8208. ISO-8208 en mode DTE-DTE est très similaire à X.25. Le service EURO file Transfer est un bon exemple de ces téléséries.

3.5.3.2. *Canal D*

Le protocole de niveau 3 ou protocole D gère principalement l'établissement, le maintien et la libération des connexions. Il peut aussi assurer le transfert d'information (protocole X.31b) et des compléments de services.

Les spécifications ITU I.450/Q.930 et I.451/Q.931 définissent les messages de gestion des connexions.

4. Conclusion

Nous avons présentés deux systèmes téléphoniques fixes principaux, le système commuté RTC et le système RNIS. Nous avons vu leurs architectures et leurs comportements vis-à-vis les liaisons entre les abonnées et les services de commutation ainsi que les types d'informations à transmettre. Dans le chapitre suivant, nous allons aborder les différents systèmes de transmission de données à travers les lignes téléphoniques fixes. Ces systèmes sont les XDSL.

1. Introduction

La technologie DSL (*Digital Subscriber Line*, ligne numérique d'abonnés) est une technologie de modem qui utilise les lignes torsadées du téléphone pour transporter des données à haut débit, comme du contenu multimédia et de la vidéo, vers les abonnés au service. Le sigle xDSL recouvre plusieurs formes analogues, mais concurrentes des technologies DSL. Parmi celles-ci figurent : ADSL (*Asymetric DSL*), SDSL (*Symetric DSL*), HDSL (*High bit rate DSL*), HDSL-2, G.SHDSL, IDSL (*ISDN DSL*) et VDSL (*Very-high rate DSL*). Les technologies xDSL suscitent un grand intérêt de la part des implémenteurs et des fournisseurs de services en raison de leurs promesses d'offrir des débits élevés à des emplacements dispersés, et ce au prix de modifications mineures des infrastructures des opérateurs téléphoniques.

Les services xDSL sont des accès dédiés, point-à-point, au réseau public sur paire torsadée en cuivre. Ils utilisent la boucle locale (les derniers kilomètres) entre les locaux d'un fournisseur de service réseau (NSP, *Network Service Provider*) et le site du client. Ils peuvent aussi employer des boucles locales créées entre des immeubles ou entre des campus.

A l'heure actuelle, la majeure partie des déploiements DSL sont ADSL et sont principalement délivrés aux particuliers.

La technologie ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) est asymétrique. Elle est caractérisée par une bande passante descendante (depuis les locaux d'un NSP vers le site du client) supérieur à la bande passante montante (depuis l'abonné vers le bureau central). Cette asymétrie, associée à un accès permanent (ce qui élimine la phase d'établissement des appels), rend l'ADSL idéale pour la navigation Internet/Intranet, la vidéo à la demande et l'accès LAN distant.

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

2. La connexion à Internet

Pour se connecter au Web (Internet), le moyen le plus simple bien sûr est d'utiliser un modem V90 (55,6Kbps) que l'on branche à sa ligne téléphonique. Avant l'arrivée des technologies xDSL, cette solution apportait de nombreux avantages mais aussi quelques inconvénients.

a. *Les avantages*

L'utilisation des modems V90 (55,6Kbps) pour accéder à Internet offre de nombreux avantages :

- ✓ Les lignes téléphoniques sont déjà installées dans la plupart des bâtiments, ce qui ne nécessite aucun travail particulier, donc aucun frais de ce point de vue pour l'utilisateur.
- ✓ Les frais se limitent en fait à l'achat du modem, au paiement des communications téléphoniques, et éventuellement au paiement d'un abonnement à Internet. Cette facilité d'installation et ce coût réduit ont fait le succès de cette formule.

b. *Les inconvénients*

Il existe cependant plusieurs inconvénients :

- ✓ Le débit de l'information est peu élevé (55,6Kbps au maximum en débit théorique)
- ✓ On ne peut pas téléphoner et se connecter à Internet en même temps puisque la ligne téléphonique est utilisée dans sa globalité pour accéder à Internet.
- ✓ Le coût des communications peut devenir très élevé si le temps de connexion est important.

Pour pallier à ces inconvénients, plusieurs systèmes ont été imaginés dont les technologies xDSL et parmi celles-ci l'ADSL.

3. Les Technologie xDSL

L'ADSL fait partie des nombreuses technologies qui peuvent être mises en œuvre pour transformer la boucle locale analogique à 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. Les xDSL regroupent tout ce qui permet de faire passer des flots de

Les différences essentielles entre ces technologies sont :

- La vitesse de transmission.
- La distance maximale de transmission.
- La variation de débit entre le flux montant et flux descendant.
- Le caractère symétrique ou non de la liaison.

3.1. *Les différentes technologies xDSL*

L'ordre, dans lequel les technologies xDSL sont présentées, est un ordre purement chronologique, la technologie HDSL est apparue en premier alors que VDSL est la plus récente. Il faut prendre avec précaution les débits et les distances d'utilisation annoncées et les considérer comme des valeurs qui peuvent varier en fonction du temps et des constructeurs. De plus, il n'est pas rare de voir des solutions « hybrides » comme une technologie HDSL utilisant la modulation DMT ou une version améliorée de la technologie ADSL fonctionnant à plus de 6 Km,…etc [8].

3.1.1. *HDSL/HDSL2 (High rate DSL)*

L'HDSL offre un débit de 1,544 M Bits/s (soit le débit d'un lien T1) aux Etats-Unis et un débit de 2,048 M Bits/s (soit le débit d'un lien E1) dans la plupart 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 M Bits/s nécessitait 3 paires de cuivre et fonctionnait sur une distance maximale de 4,5 Km également.

Les versions plus récentes, englobées sous l'appellation HDSL2, utilisent une seule paire de cuivre et devraient être mieux normalisées afin de garantir l'interopérabilité des systèmes des différents constructeurs.

3.1.2. *SDSL (Symetric ou Single pair DSL)*

Si le but des technologies xDSL est de réutiliser la boucle 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 3 Km. Mais SDSL, qui était plus performante que HDSL est devenue obsolète face à sa consœur HDSL2. Elle devrait de ce fait disparaître petit à petit.

3.1.3. *RADSL (Rate Adaptative DSL)*

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 variations des conditions de ligne. Notons que la technologie ADSL utilisant la modulation DMT (Discrete Multitone Technology) possède aussi cette propriété.

3.1.4. *CDSL (Consumer DSL)*

Bien que proche de l'ADSL et de RADSL, la technologie CDSL est suffisamment différente. Les performances en termes de débit et de distance maximale d'utilisation sont plus modestes que celle de l'ADSL et de RADSL, mais elle possède un avantage unique. Car elle ne nécessite pas d'équipement «splitter» au niveau de l'abonné. La fonction du Splitter installé est de permettre à l'abonné de continuer d'utiliser les équipements dont il dispose déjà, comme son téléphone et son fax.

3.1.5 *VDSL (Very High speed DSL)*

Le nouveau 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. Mais ceci n'est pas véritablement un problème puisque cette technologie permet de continuer la liaison avec de la fibre optique. La technologie VDSL supporte également le transport de cellules ATM (Asynchrones Transfert Mode).

3.1.6. *IDSL (ISDN DSL)*

Cette technologie utilise les deux canaux B et le canal 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.

3.1.7. *ADSL (Asymmetric DSL)*

SDSL et HDSL2 utilisent une seule paire de cuivre, mais le fait de devoir supporter des débits symétriques leur distance maximale d'utilisation est limitée.

La technologie ADSL prend en compte la nature asymétrique des flux classiques d'informations et autorise en conséquence une distance d'utilisation supérieure jusqu'à 5,5 Km.

Le tableau suivant résumé les caractéristiques des différences variances de la technologie xDSL :

Tableau II.1. *Caractéristiques des diverses technologies xDSL.*

Nom	***Débit***	***Mode***	***Commentaire***
HDSL	1,544 M Bits/s	Symétrique	Utilise deux paires,
& HDSL2	2,048 M Bits/s	Symétrique	Utilise une seule paire
SDSL	768 kBits/s	Symétrique	Utilise une paire
RADSL	1,5 à 8 M Bits/s	Déscendant	Utilise une paire
	16 à 640 kBit/s	Montant	Adaptation aux conditions de transmission
CDSL	Jusqu'à 1 Mbit/s	Déscendant	Utilise une paire
	16 à 128 kBit/s	Montant	Pas besoin de splitter
ISDSL	Identique à un	Symétrique	Utilise une paire
	BRI – RNIS		
VDSL	13 à 52 M Bits/s	Descendant	Utilise de la fibre optique et ATM
	1,5 à 6 M Bits/s	Montant	
ADSL	1,5 à 8 M Bits/s	Descendant	Utilise une paire
	16 à 640 kBits/s	Montant	

4. Technologie ADSL

4.1. *Pourquoi l'ADSL*

L'internaute, si son endroit d'habitation fait partie du réseau ADSL, peut aujourd'hui bénéficier de débits théoriquement dix fois supérieurs aux débits obtenus avec le modem classique (à 56 K Bits/s). Ces débits sont devenus parfois indispensables tant les sites Internet

sont de plus en plus "lourds" à charger (à cause des animations notamment). De plus, ils génèrent de surcroît un confort d'utilisation non négligeable. L'ADSL, développée par le Centre national de recherche en télécommunications (Cnet, aujourd'hui France Télécom R&D) fin 1970, fait partie de la famille des technologies DSL. Il offre des débits théoriques de 512 K Bits/s à 9 M Bits/s en réception et de 16 K Bits/s à 640 K Bits/s en émission. Le but de cette technologie est d'augmenter les possibilités de transmissions des lignes téléphoniques afin qu'elles soient capables, en plus de la voix, de véhiculer des données numériques très rapidement. Quand nous téléphonons, nous n'utiliserons même pas 10% des capacités des fils de cuivre de notre ligne téléphonique. En effet, il reste encore de la "place" (de la bande de fréquence) qui n'est absolument pas exploitée, l'ADSL utilise donc les 90 % restants pour véhiculer des données numériques à grande vitesse. L'ADSL permet d'utiliser toute la capacité des fils des lignes téléphoniques en divisant la liaison en 3 canaux bien distincts (c'est ce qu'on appelle le multiplexage). La figure suivante montre l'aspect général d'une connexion ADSL :

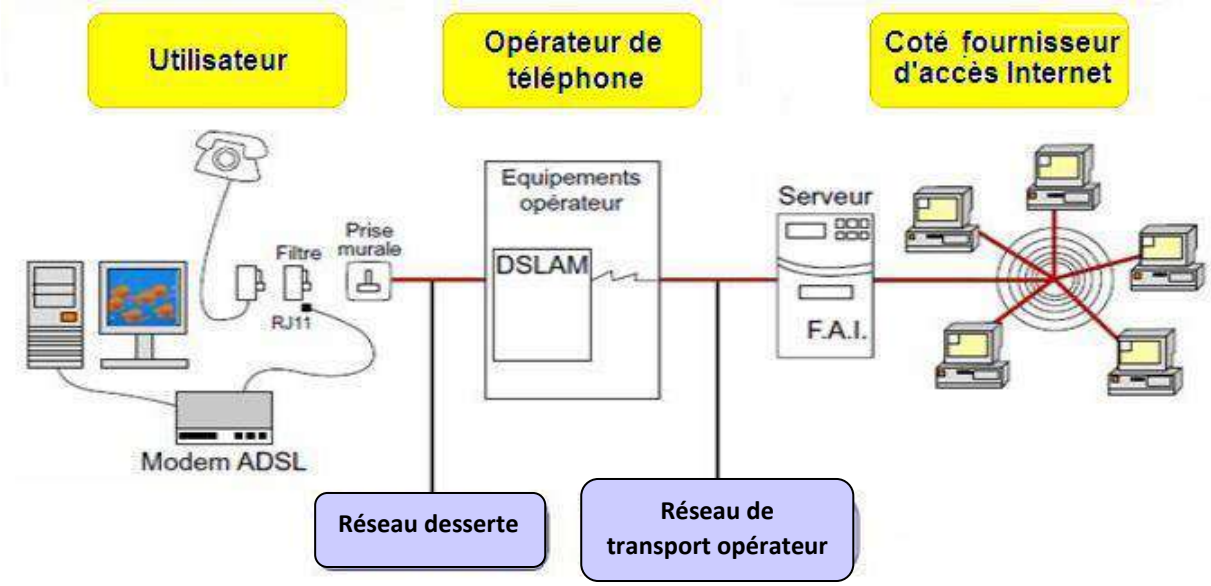


Figure II.1. *Schéma de principe d'une connexion ADSL.*

4.2. *Architecture du réseau ADSL*

a- Schéma de présentation du réseau ADSL

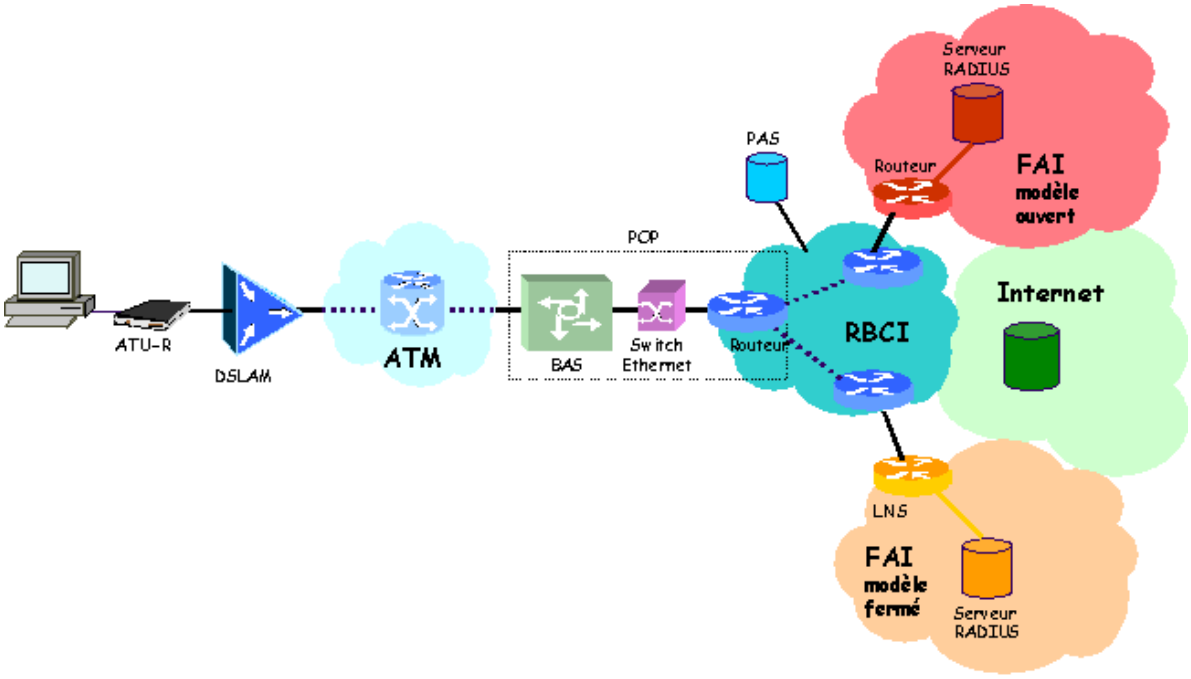


Figure II.2. *le réseau ADSL*

b- *Le Modem* **:**(Modulateur/Démodulateur)

Il convertit les données venant de la ligne ADSL en données exploitables par le PC de l'abonné et inversement. Le modem doit toujours être placé derrière un filtre qui sépare la bande de fréquence utilisée par la téléphonie et celle utilisée pour la transmission de données ADSL. Le modem est couramment appelé ATU-R (ADSL Transceiver Unit – Remote)

c- *Le DSLAM* (Digital Subscriber Line Access Multiplexer)

Le Multiplexeur d'accès de lignes d'abonnés numériques (DSLAM) est le premier élément de la chaîne réseau rencontré par le signal sortant du modem de l'abonné (il se trouve au central téléphonique). Il est constitué de cartes filtres, de cartes-modems, et de cartes-réseau. Chaque carte-filtre et carte-modem contiennent un nombre donné d'équipements correspondant à autant d'abonnés. À la réception du signal provenant du client, le DSLAM va le **filtrer**. La partie « voix » est envoyée par la *carte filtre* vers le réseau commuté, la partie ADSL vers la *carte modem* [9].

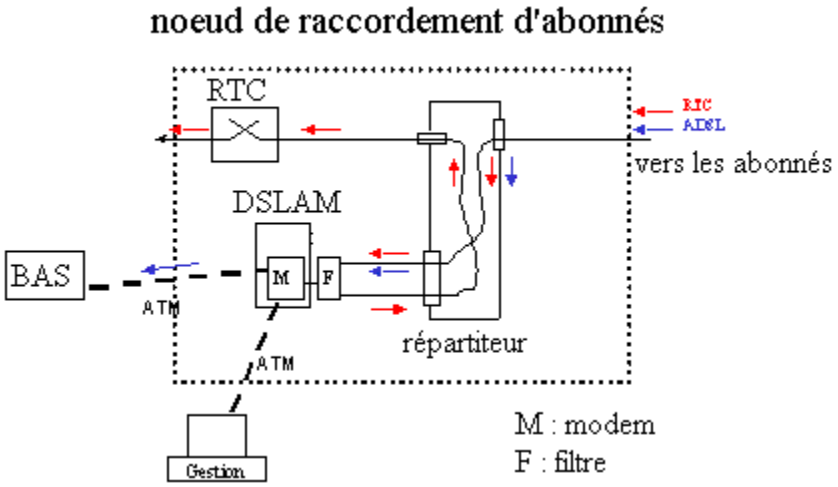


Figure II.3. *Principe du filtrage au niveau du DSLAM*

Au niveau de la carte modem, la partie haute du spectre de fréquence est démodulée. On se retrouve à ce stade avec le signal ATM tel qu'il était avant d'être modulé en ADSL côté client. Cette carte est couramment appelée ATU-C (ADSL Transceiver Unit – Central office = unité d'émission-réception du côté du central) et présente beaucoup de similitudes avec l'ATU-R (modem côté abonné).

Les VC (Virtual Channel = canaux virtuels) ATM (Asynchronous Transfert Mode = mode de transfert asynchrone) créés dans l'ATU-C (modem coté réseau) sont multiplexés dans les VP (Virtual Path = chemin d'accès virtuel) au niveau de la *carte réseau*. Un VP commencé dans un DSLAM est aiguillé sur la dorsale ATM jusqu'à un BAS (Broadband Access Server) où les VP sont terminés et chacun des VC est traité individuellement pour permettre la connexion jusqu'au FAI.

Le DSLAM est un élément de concentration ATM qui a des limites en termes de VP et de VC, ces limites sont propres à chaque constructeur.

En résumé, les principales cartes du DSLAM sont les cartes filtres, qui servent à séparer le signal téléphonique de la bande de fréquence de l'ADSL, les cartes modem font la modulation/démodulation du signal ADSL dans les sens abonné/réseau et réseau/abonné, les cartes réseau qui servent d'interface STM-1 (les trames synchrones de 155 Mbit/s qui circulent sur le réseau ATM). De façon générale, un DSLAM est composé par un châssis maître dans lequel on trouve la carte réseau, des cartes modem et des cartes filtres. Au fur et à mesure que le nombre d'abonnés sur ce DSLAM augmente, on rajoute des châssis esclaves au

DSLAM (ils dépendent du châssis maître et y sont reliés grâce à une carte spéciale : ils n'ont pas de carte réseau, mais peuvent être placés à plusieurs kilomètres du maître).

d- *Le BAS :* (Broadband Access Server)

Le serveur d'accès large bande (BAS) est l'équipement du réseau qui fait l'interface entre le réseau de collecte ATM et le RBCI (réseau BackBone et de collecte IP). Le routage IP, l'authentification des abonnés et le comptage des volumes de trafic sont effectués par l'intermédiaire de ce serveur large bande. Le BAS termine les VP et les VC. Il transforme le trafic ATM en trafic IP. Les routeurs virtuels du BAS au nombre de quatre servent à diriger les trafics vers le bon VLAN (Virtual Local Area Network = réseau local virtuel). Les quatre types de trafics sont les offres résidentielles et professionnelles, les échanges RADIUS, ainsi que l'exploitation du réseau et les tests.

Les utilisateurs sont connectés au BAS par le protocole PPP. Selon le modèle utilisé, leur connexion à Internet peut être effectuée soit directement au niveau du BAS (modèle ouvert) soit être faite plus loin dans le réseau grâce à un tunnel L2TP (modèle fermé). Dans ce dernier cas, le BAS a la fonction de LAC (Layer 2 Tunnelling Protocol Access Concentrator = concentrateur d'accès L2TP). Les BAS sont aussi limités en nombre de VC et de VP [10].

Un BAS est constitué d'une carte système, où le trafic RADIUS est géré, de deux cartes Fast Ethernet pour les trafics résidentiels et professionnels, et de cartes ATM STM-1 qui sont raccordées à une dizaine de DSLAM. Il y a deux ports STM-1 par carte, et chaque port à un débit maximum de 120Mbit/s : la somme des débits des VP à répartir sur un support ne doit pas excéder cette valeur. Voici le modèle d'établissement de connexion ouvert :

1) demande de connexion

2) demande d'authentification de l'utilisateur par le BAS au PAS via le RBCI

3) demande d'authentification de l'utilisateur par le PAS au serveur RADIUS du FAI

4) authentification de l'utilisateur par le serveur RADIUS et attribution d'une adresse IP

5) envoi d'un ticket de comptage du BAS au PAS

6) établissement de la session PPP

7) accès de l'utilisateur à Internet

Le choix du modèle de connexion est laissé à l'appréciation de chaque fournisseur d'accès à Internet. Actuellement, le modèle utilisé au sein des entreprises de télécommunication les plus renommées est le modèle fermé.

e- ***Le LNS :*** (L2TP Network Server**)**

C'est l'autre bout de la session PPP établie avec le client c'est la passerelle externe du réseau de l'utilisateur. Ce serveur, situé chez le FAI, n'est utilisé que pour un établissement de communication en modèle fermé. Voici le modèle d'établissement de connexion fermé :

1) demande de connexion

2) demande d'authentification de l'utilisateur par le BAS au PAS via le RBCI

3) demande d'authentification de l'utilisateur par le PAS au serveur RADIUS du FAI

4) envoi de l'adresse IP du LNS du serveur RADIUS au BAS ; établissement du tunnel L2TP entre le LNS et le BAS

5) demande d'authentification de l'utilisateur par le BAS au LNS

6) demande d'authentification de l'utilisateur par le LNS au serveur radius du FAI

7) authentification de l'utilisateur par le serveur RADIUS et attribution d'une adresse IP

8) envoi d'un ticket de comptage du BAS au PAS

9) établissement de la session PPP

10) accès de l'utilisateur à Internet

On remarque que les étapes 4, 5 et 6 ont été rajoutées pour passer du modèle d'établissement de connexion ouvert au modèle fermé, ce qui introduit deux étapes d'authentification supplémentaires.

4.3. *Les protocoles de communication*

Les protocoles de transmission décrivent les formats de message et les règles selon lesquelles deux ordinateurs échangeront des données. Les protocoles décrivent également les détails de bas niveau sur la façon dont deux machines communiquent ou des échanges de haut niveau entre deux programmes, les protocoles vus ici ne concernent pas les échanges entre applications.

- **PPP:** (Point to Point Protocol)
  Il est utilisé entre l'utilisateur et le BAS. Il permet de transmettre les datagrammes multi-protocoles dans le cadre d'une liaison point à point. Il comprend trois phases principales :
    1) **L'établissement, la configuration et le test de la connexion** d'une liaison de données. L'authentification de l'utilisateur (par l'envoi du couple identifiant/mot de passe).
    2) **L'établissement et la configuration des échanges au niveau IP** (notamment l'affectation de l'adresse IP de l'utilisateur).
- **PPPoA**: (Point to Point Protocol over ATM)
  Il est utilisé entre l'utilisateur et le BAS et gère **l'encapsulation des trames PPP**.
- **PPPoE** : (Point to Point Protocol over Ethernet)
  Il est utilisé entre l'utilisateur et le BAS. C'est une amélioration du protocole PPP qui permet de **transporter les trames PPP sur Ethernet**, d'**établir plusieurs sessions PPP** vers plusieurs destinations à travers un seul modem ADSL (actuellement, une unique session PPPoE est autorisée par paire torsadée). Il comprend deux phases principales :
    1) **L'apprentissage de leurs adresses MAC** (Medium Access Control) respectives par le client et le serveur PPPoE et le choix d'un numéro de session unique pour la session PPPoE à établir
    2) **L'établissement de la session PPP classique**.
- **L2TP :** (Layer 2 Tunnelling Protocol)
  Ce protocole permet de **prolonger une session PPP** en autorisant que la terminaison de la connexion de niveau 2 (VP/VC ATM) et la terminaison de la session PPP soient réalisées par des équipements différents. Le BAS termine donc la connexion de niveau 2 mais prolonge la session jusqu'au LNS, routeur situé chez le fournisseur d'accès qui la

terminera. Pour cela, il établit un tunnel L2TP avec cet équipement, il joue le rôle de LAC.

- **RADIUS :** Il est utilisé entre le BAS, le PAS (Plate-forme d'accès aux services = Proxy RADIUS), et le serveur RADIUS du FAI. Le protocole RADIUS comprend deux parties :

  1) **L'authentification**, qui permet à l'utilisateur de se connecter en transmettant des attributs comme son identifiant et son mot de passe, elle se fait par des échanges BASPAS- serveur RADIUS. En cas d'acceptation, le PAS transmet des attributs come l'adresse IP attribuée à l'utilisateur et le nom du routeur virtuel du BAS auquel l'utilisateur appartient.

  2) **Le comptage** permet de mesurer le temps de connexion d'un utilisateur par l'envoi par le BAS de d'un message de début et d'un message de fin (ou intermédiaire) qui contient des attributs comme le nombre d'octets envoyés et reçus par exemple.

4.4. *Trame et canaux ADSL*

4.4.1. *Trame et super-trame ADSL*

Une super-trame ADSL est composée d'une séquence de 68 trames de données numérotées de 0 à 67. La super-trame se termine par l'ajout d'un symbole de synchronisation de même durée qu'une trame de données. La durée d'une super-trame ADSL est de 17 ms. La rapidité (symbole de synchronisation compris) est de 4 KHz soit 4000 trames/s [10] [11].

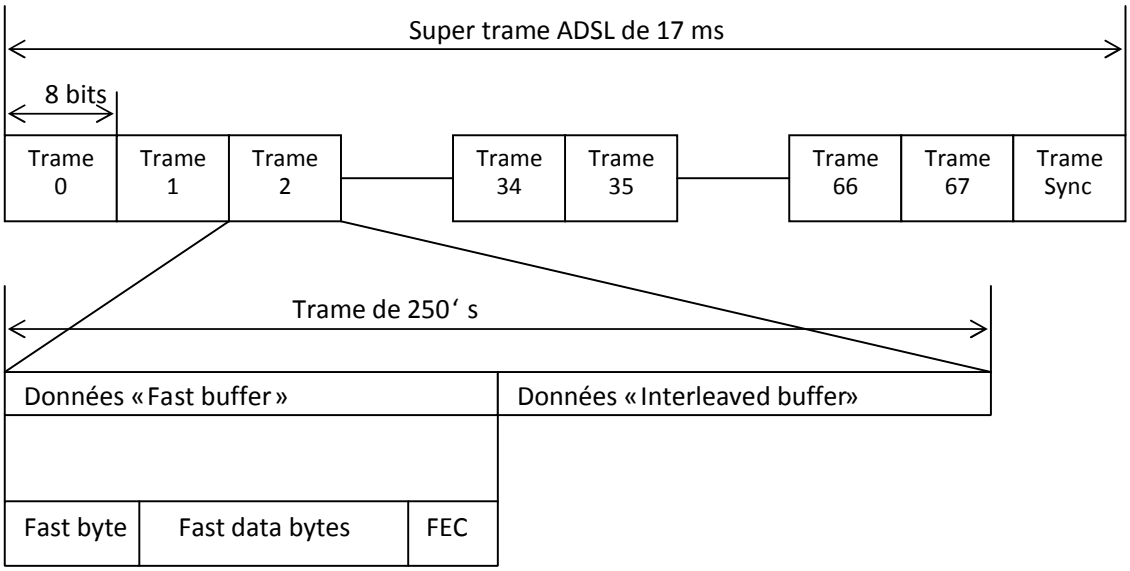


Figure II.4. *Format d'une super-trame ADSL*

Tableau II.2. *Super-trame ADSL*

Trame n°0	CRC 0 -7	Bits de correction d'erreurs
Trame n°1	Indicators bits 0 – 7	Bits pour les fonctions OAM (*Operation And Maintenance*)
Trame n°2a33		trames "normales"
Trame n°34	Indicators bits 8 – 15	Bits pour les fonctions OAM (*Operation And Maintenance*)
Trame n°35	Indicators bits 16 – 23	Bits pour les fonctions OAM (*Operation And Maintenance*)
Trame n°36 à 37		trames "normales"
Trame n°68	Bits synch	Bits de synchronisation

Tableau II.3. *Trame ADSL*

Fast byte	Bits de synchronisation
Fast data (les données rapides)	Données utilisateur
FEC (*Forward Error Control*)	Bits de correction d'erreurs
Interleaved data (les données lentes)	Données utilisateur

On peut remarquer en regardant ces formats de trames, qu'il existe un système de Correction d'erreurs, prévu au sein même d'ADSL. On pourrait donc placer ADSL entre le niveau physique et le niveau liaison. En effet, la correction d'erreurs est normalement dédiée au niveau supérieur. Les données "*upstream*" et "*downstream*" sont placées respectivement dans les "*interleaved buffer*" et "*fast data buffer*". Les trames OAM sont des trames véhiculant des informations propres à la gestion du réseau (gestion de flux...). Les "*indicators bits*", quant à eux permettent de véhiculer des informations telles que les adresses des destinataires...

4.4.2. *Canaux de transport ADSL :*

Le transfert des données entre le noeud d'accès ADSL et l'interface de l'abonné est effectué sous la forme de trames. Le flux binaire à l'intérieur des trames peut être décomposé au maximum en 7 canaux de transport. Les canaux de transport simplex descendants sont de deux types [12].

- Les canaux descendants numérotés par AS0, …, AS3 (maximum 4),
- Les canaux duplex numérotés LS0, LS1, LS2 (maximum 3),

Chaque canal de transport peut être programmé pour transférer un nombre multiple de 32 Kbit/s. Le nombre de multiples de 32 Kbit/s est normalisé via la notion de la classe de transport :

- La classe 2M-1 : peut être une combinaison d'un à trois canaux de transport descendants fonctionnant avec le débit de 2.048 Mbit/s : un canal 6.144 Mbit/s, un canal 4.096 Mbit/set un canal 2.048 Mbit/s, trois canaux à 2.048 Mbit/s.
- La classe 2M-2 : peut être une combinaison d'un ou deux canaux de transport descendants fonctionnant avec le débit de 2.048 Mbit/s : un canal à 4.096 Mbit/s et deux canaux à 2.048 Mbit/s.
- La classe 2M-3 : est un canal simple de 2.048 Mbit/s (AS0). Les canaux duplex comprennent un canal obligatoire de contrôle qui porte le débit de 116 ou 64 Kbit/s (LS0) et 1 à 2 canaux de transport LS1 et LS2. Le canal LS1 fonctionne avec le débit de 160 Kbit/s et le canal LS2 avec le débit de 384 Kbit/s ou 576 Kbit/s.

Selon la classe de transport nous avons :

- La classe 2M-1 : configuration 1 : LS1 et LS2 160 Kbit/s + 384 Kbit/s
- Configuration 2 : LS2 à 576 Kbit/s.
- La classe 2M-2 : configuration 1 : LS1 à 160 Kbit/s
- Configuration 2 : LS2 à 384 Kbit/s.
- La classe 2M-3 : seulement une configuration : LS1 à 160 Kbit/s

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

4.5. *Techniques de multiplexage*

4.5.1. *FDM*

FDM (Frequency Division Multiplexing) est une technique de multiplexage par répartition de fréquence (MRF). Elle est utilisée pour accroître les débits sur paires torsadées et plus particulièrement des lignes téléphoniques. Le multiplexage fréquentiel consiste à partager la bande de fréquence disponible en un certain nombre de canaux ou sous bandes plus étroits et à affecter en permanence chacun de ces canaux à un utilisateur ou à un usage exclusif. L'organisation du groupe primaire ou groupe de base utilisé en téléphonie est basée sur un multiplexage fréquentiel. Ce dernier consiste à regrouper 12 voix téléphoniques de 4000 Hz chacune (3000 Hz utilisables plus 2 espaces inter-bandes de 500 Hz) ce qui donne

une largeur de bande de 48 kHz répartie entre 60 et 108 kHz. On trouve également un bon exemple de l'utilisation de FDM avec ADSL (Asymétrique Digital Subscriber Line).

ADSL est né de l'observation qu'une ligne téléphonique possède une bande passante d'environ 1 Mhz dans laquelle seule, une largeur de bande de 4 Khz est utilisée pour les communications téléphoniques. Il reste donc une bande passante importante disponible pour un autre usage. C'est un multiplexage en fréquence qui va permettre son utilisation :

- ✓ Une bande de 4 kHz est réservée pour la téléphonie classique (POTS : Plain Old Téléphone Service) ;
- ✓ Une bande est réservée pour le flux de données usager vers réseau. (Upstream Data : Voie montante) ;
- ✓ Une bande est réservée pour le flux de données réseau vers usager. (Dowstream Data : Voie descendante).

L'ensemble de la bande passante s'étend sur 1,1 MHz. Le canal dédié au téléphone est séparé des canaux dédiés aux données par un filtre passe-bas (Splitter) passif. Le filtre envoie également l'intégralité du signal au modem ADSL (ATU-R : ADSL Transceiver Unit-Remote). Celui-ci est doté d'un filtre passe-haut qui élimine le canal dédié au téléphone. Le signal est ensuite traité par la technologie DMT pour être transmis à l'équipement informatique via une liaison de type Ethernet 10BaseT ou ATM.

4.5.2. *TDM*

La technologie TDM (Time Division Multiplexing ou Multiplexage Temporel) permet d'échantillonner les signaux de différentes voies à faibles débits et de les transmettre successivement sur une voie à haut débit en leur allouant la totalité de la bande passante. On retrouve ce type d'utilisation sur les canaux T1 aux Etats-Unis qui regroupent par multiplexage temporel 24 voies à 64 Kbit/s en une voie à 1,544 Mbit/s ou sur les canaux E1 en Europe qui regroupent 30 voies analogiques en une voie à 2,048 Mbit/s.

4.6. *Techniques de modulation*

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

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

4.6.1. *DMT*

Le principe de DMT est de séparer la bande passante en 256 sous-bandes distinctes et de placer le signal digital sur des porteuses analogiques. DMT utilise le spectre entre 26 Khz et 1.1 Mhz pour les données. Pour inclure le service POTS (Plain Old Telephone Service), DMT utilise le spectre de 0 à 4 Khz. Le spectre au-dessus de 26 Khz est divisé en 256 canaux. DMT va en outre permettre d'adapter dynamiquement la capacité de chaque canal en fonction des caractéristiques de la ligne à ce moment. La bande passante restante sera utilisée pour la transmission des informations de contrôle propres à ADSL [11].

4.6.2. *CAP*

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

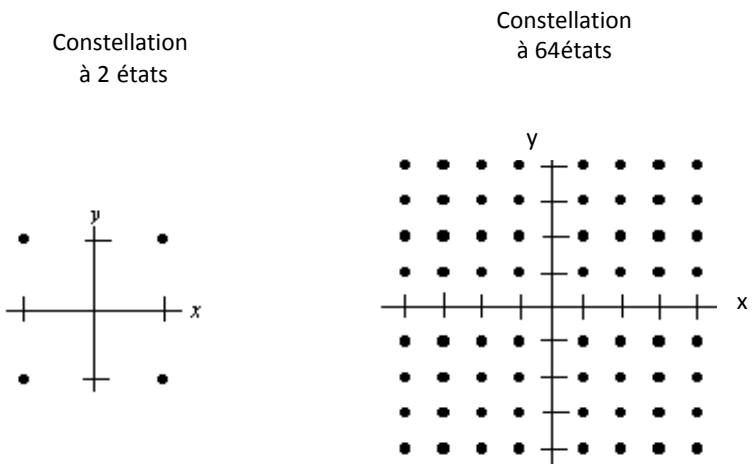


Figure II.5. *Constellation pour un codage de ligne à 2-CAP et 64-CAP*

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

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

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

5. Conclusion

L'ADSL permet donc aux particuliers ou aux entreprises de se connecter à Internet à haut débit en utilisant les lignes téléphoniques classiques. L'étude de cette technologie permet de conclure qu'il y a une exploitation judicieuse du spectre fréquentiel et des possibilités d'extension future tant au niveau des services offerts qu'au niveau de la capacité (possibilité de voir des vidéos ou d'écouter la radio en temps réel, capacité d'envoyer ou de recevoir des e-mails de taille plus grande, etc.).

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

1. Introduction

Notre modèle montre une partie de la ligne d'abonné numérique asymétrique (ADSL) de la technologie de transmission de données et multimédia d'informations sur les lignes téléphoniques. Il illustre un chemin en aval du bureau central ver l'utilisateur final. Il intègre la technique de modulation multi tonalité discrète (DMT) de signalisation [13].

Les modulateurs DMT et démodulateur sous-systèmes dans le modèle ont été mis à jour pour permettre la génération et réutilisation du code. Ces sous-systèmes génèrent aujourd'hui seulement les fonctions réutilisables uniques par rapport aux 256 morceaux de code pour chaque bloc modulateur / démodulateur généré précédemment.

2. Généralité de retard dans le système de transmission

L'une des mesures les plus importants d'un réseau de données est le retard moyen nécessaire pour fournir un paquet d'origine à la destination. Le retarde est une considération influencent fortement l'exécution d'algorithmes du réseau, telles que le routage et contrôle de flux. Pour ces raisons, il est important de comprendre la nature et le mécanisme du retarde, et la manière dont il dépend des caractéristiques du réseau.

Théoriquement les files d'attente sont le cadre méthodologique pour l'analyse primaire des retards du réseau. Son utilisation nécessite souvent des hypothèses simplificatrices. Pour cette raison, il est parfois impossible d'obtenir des prévisions précises du retard quantitatif sur la base des modèles files d'attente. Néanmoins, ces modèles offrent souvent une base pour des retard approximations adéquate du utile, ainsi que les valeurs est les idées de intéressantes des résultats qualitatif [14].

Dans ce qui suit, nous allons sur tout mettre l'accent sur le retard de paquet dans la communication sous-réseau (la couche réseau),

2.1. *Les causes du retard*

a. *Retard de Traitement*

Le retard de traitement entre le moment où le paquet est correctement reçu à la tête du nœud de la liaison et du moment où le paquet est affecté à une file d'attente de liaison sortante pour la transmission. (Dans certains systèmes, il faut ajouter à ce délai supplémentaire certains temps de traitement).

b. *Retard d'Attente*

C'est le retard de queue entre le moment où le paquet est affecté à une file d'attente de transmission et le moment où il commence à être transmis.

c. *Retard de Transmission*

Le temps de transmission qui sépare le temps des premiers et derniers bits du paquet.

d. *Retard de Propagation*

C'est l'écart entre le moment où le dernier bit transmis à la tête du nœud de la liaison et le moment de la réception au nœud de la queue.

2.2. *Le retard total sur un nœud*

La formule suivante représente le retard au niveau d'un nœud de liaison**.**

$$\boldsymbol{R_{total} = R_{trait} + R_{attente} + R_{trans} + R_{prop}} \quad \textbf{(III.1)}$$

R_{trait} =retard de traitement. (à quelques μs).

R_{atte} =retard atteint.

R_{trans} =retard de transmission.

- temps de transmission = L/R
- R=débit (bps)
- L=longueur paquet (bits)

R_{prop} =retard de propagation.(de quelques µs à quelques centaines de ms).

2.3. *Gestion des erreurs de transmission*

Les données redondantes transmises au sein de chaque trame ADSL permettent de détecter et, dans une certaine mesure, de corriger les erreurs de réception. Si l'erreur n'affecte que quelques bits dans la trame ADSL reçue, un mécanisme de correction d'erreur (*forward error correction*) incorporé au circuit de réception est en général capable de reconstruire les données abîmées. L'erreur est signalée dans les statistiques de réception sous la forme d'une « erreur FEC ». En revanche, si les données sont trop abîmées pour pouvoir être reconstituées, l'erreur est signalée sous la forme d'une « erreur CRC ». Dans certains cas, une erreur affecte l'en-tête d'une cellule ATM, et cette altération est détectée par le récepteur, qui la signale sous la forme d'une « erreur FEC ». Enfin, si le taux d'erreur est suffisamment grand, la structure de la trame ADSL elle-même peut être affectée au point que plus aucune donnée reçue n'est utilisable. On constate alors une perte de tramage (« erreur LOF ») qui peut aller jusqu'à la perte totale de synchronisation (« erreur LOS »). En présence de ce type d'erreur, le modem ADSL réagit le plus souvent en interrompant la communication et en entamant une nouvelle procédure de synchronisation depuis le début. C'est le phénomène connu sous le nom de « désynchronisation » par les internautes.

Le protocole ATM ne supporte pas nativement de système de correction des erreurs. Quand se produit une erreur suffisamment sévère pour que le dispositif de correction d'erreur natif de l'ADSL (FEC) ne puisse pas la corriger, les cellules ATM affectées par l'erreur sont supprimées en réception. Il manque donc un segment dans les données utilisateur reçues par le destinataire. En général, une couche de protocole de niveau supérieur (TCP par exemple) fait le nécessaire pour demander la retransmission de ce segment manquant.

3. fonctionnement du model ADSL

Le modèle génère aléatoires trames de données binaires, les transmet selon les spécifications de l'ADSL, simule une ligne téléphonique en utilisant un filtre FIR de longueur 101 et le bloc AWGN Channel, tente de récupérer les informations à partir des données reçues, et calcule les statistiques d'erreur. Le modèle utilise un traitement à base de trames, le traitement de ce fait le nombre de bits dans chaque intervalle de temps. Les doubles lignes de connexion entre les blocs indiquent les signaux basés sur l'image [13].

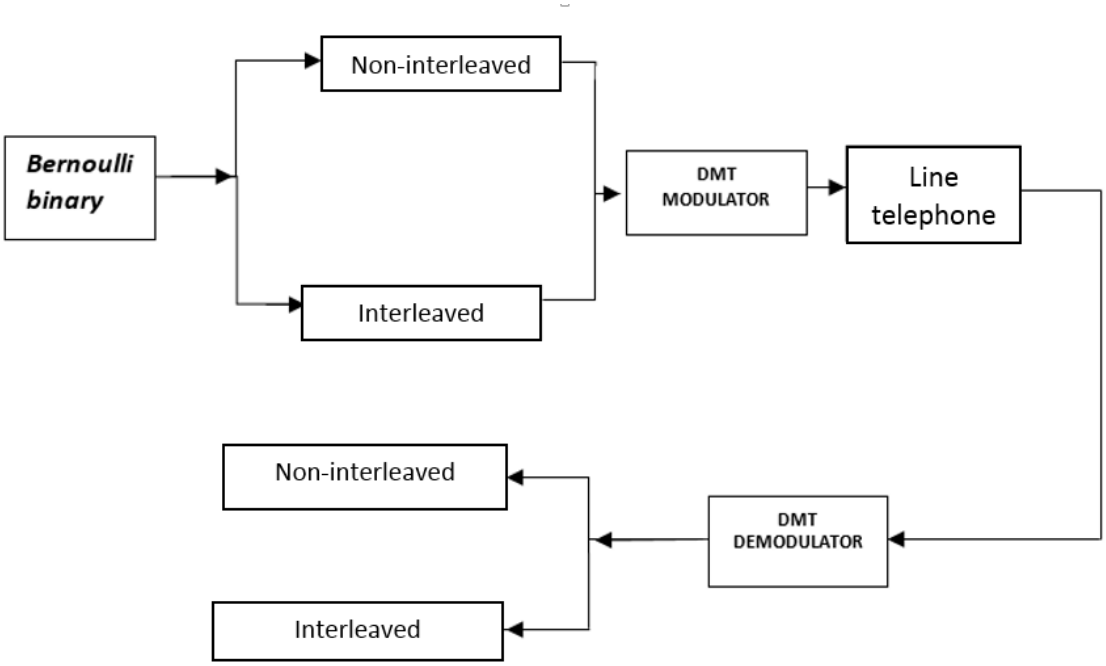


Figure III.1. *Schéma bloc d'un système ADSL.*

La partie émission contient 2 chemins parallèles. Le premier manipule les 776 premiers bits de la trame de données générée par la source de Bernoulli à la fréquence de 4kHz, la seconde les 776 suivants. Quel que soit le chemin un CRC de 8 bits est ajouté à la trame de 776 bits, les données sont ensuite brouillées grâce à un scrambleur et les trames sont codées au moyen d'un code convolutif de Reed Solomon.

Les opérations de scrambling et de codage manipulent des entiers compris entre 0 et 127 (groupes de 7 bits).

Dans le second chemin, un interleaved convolutif entrelace les données c'est-à-dire qu'il mélange des groupes de bits. L'opération d'interleave permet d'augmenter la résistance des trames contre des erreurs en rafale. Finalement les données des 2 chemins sont concaténées puis modulées

Les données provenant du premier chemin (sans interleaved) sont modulées et transmises sur les porteuses basses fréquences tandis que les données provenant du second chemin sont transmise sur les porteuses hautes fréquences, conformément à la table d'allocation des bits(b).

La partie réception est symétrique à la partie émission. Par ailleurs des statistiques sont affichées et permettent de connaître le nombre d'erreurs détectées.

3.1. *Description des blocs*

3.1.1. *Bernoulli binary*

Le bloc Bernoulli Binary Generator : génère des nombres binaires aléatoires en utilisant une loi de Bernoulli. La loi de Bernoulli de paramètre p produit zéro avec une probabilité p et un probabilité 1-p. La distribution de Bernoulli a une valeur moyenne et de la variance p-p (1-p). La probabilité de zéro spécifie un paramètre p, et peut être n'importe quel nombre réel compris entre zéro et un.

3.1.2. *Interleaved (intercaleur)*

Le but de l'interleaved est de mélanger les trames pour pouvoir permettre d'améliorer ensuite la correction des erreurs. En effet, les erreurs arrivent souvent en rafale et si elles affectent toutes la même trame on ne pourra pas les corriger. En revanche s'il y a seulement une erreur par trame, on est capable de la détecter avec le syndrome et donc de la corriger puisqu'on est en binaire. L'astuce consiste donc à mélanger les trames pour répartir les erreurs, si erreurs il y a, sur plusieurs trames et donc d'espérer pouvoir toutes les corriger.

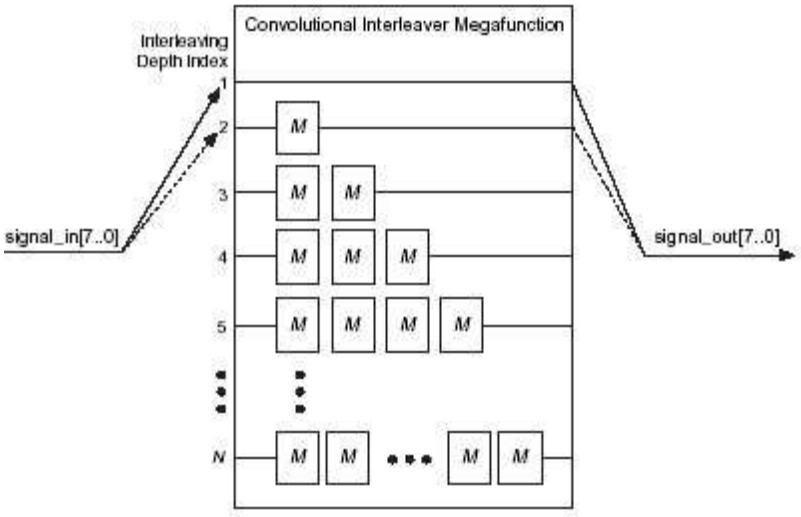


Figure III.2. *Schéma de l'interleaved convolutional*

Sont réglables : le nombre de lignes, pas d'augmentation du nombre de registres d'une ligne à l'autre, et les conditions initiales des registres (état des registres à t_0).

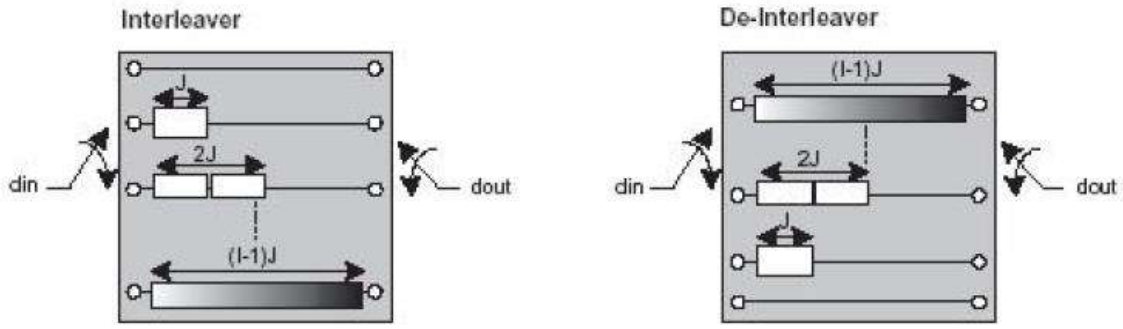


Figure III.3. *Schéma d'interleaved et non-interleaved*

Le passage dans l'interleaved puis dans le dé-interleaved introduit un retard dans la chaîne de transmission qui correspond au nombre de zéros qui se retrouveront à la sortie du dé-interleaved devant la trame ; ils correspondent aux zéros initialement dans les mémoires. Le retard est donc de :

$$\mathbf{2} * \sum_{\boldsymbol{i=0}}^{\boldsymbol{NB-1}} \boldsymbol{i} * \Delta = \Delta * \boldsymbol{NB} * (\boldsymbol{NB - 1}) \qquad \textbf{(III.2)}$$

avec, NB : nombre de ligne $et\ \Delta$: Pas.

Par ailleurs, il faut, après le de-interleaved, ajuster ce retard à un nombre entier de trames pour ne pas fausser les opérations suivantes.

Remarque : Le retard induit par le couple interleaved dé-interleaved n'est pas la seule cause de décalage dans la chaîne de transmission : les couples buffer/unbuffer utilisés pour sérialiser ou recomposer des trames induisent quant à eux un retard d'une trame.

3.1.3. *Générateur de CRC/ Détecteur du syndrome*

Le CRC est généré par division et on obtient un code systématique, les bits de codes sont ajoutés en fin de trame (nombre de bits de code = degré du polynôme générateur de 8 bits dans notre cas).

Remarque : Pour ce qui est de la trame c'est le premier bit émis qui est le bit de poids fort (donc qui correspond au coefficient de plus haut degré quand on passe en écriture polynomiale).

Aucune correction n'est effectuée par le bloc CRC syndrome detector, il permet seulement de récupérer le nombre d'erreurs contenues dans la trame dans le cas ou celui-ci est inférieur ou égal à sa capacité de détection. Cela se montre au moyen d'un test très simple en introduisant 'manuellement' (au moyen d'une fonction matlab) des erreurs localisées.

3.1.4. *Scrambleur /descrambleur*

Le but du Scrambleur est de briser les longues suites de bits identiques qui sont à l'origine de problèmes de synchronisation du récepteur (pertes d'horloge). Cela est réalisé au moyen de registres à décalage définis par un polynôme.

$$\boldsymbol{y = x[n] \oplus x[n-18] \oplus x[n-23]} \qquad \textbf{(III.3)}$$

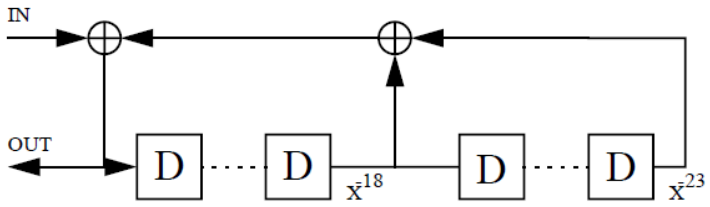


Figure III.4. *Schéma d'une structure de Scrambleur*

3.1.5. *Le codage de Reed Solomon*

Simplement, il s'agit du codage CRC sur des octets. En fait, il s'agit d'un codage convolutif effectué sur des suites de bits (manipulation d'entiers). Par ailleurs, il est intéressant de remarquer que le nombre de bits de code ajoutés est contrôlé par un ajout (padding) de zéros effectué juste avant le codage.

3.1.6. *Modulateur et démodulateur DMT*

Le principe de DMT est de diviser la bande passante disponible en un grand nombre de sous-bandes distinctes et de placer le signal digital sur des porteuses analogiques. Le spectre utilisé est compris entre 26 kHz et 1,1 MHz. À chaque canal, est attribuée une bande de 4,3KHz.

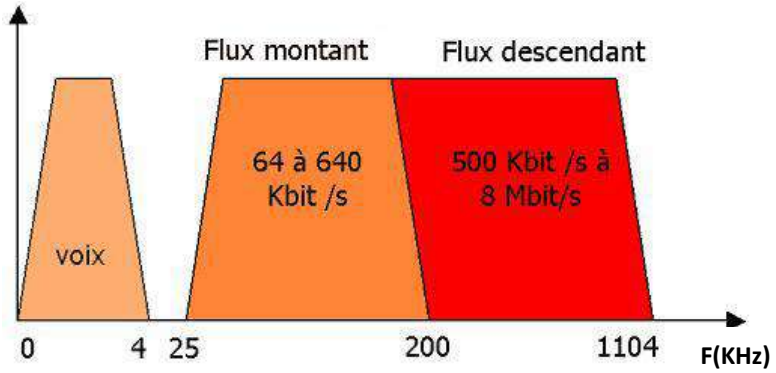


Figure III.5. *Utilisation de la bande passante par la DMT*

La division de la bande passante en un ensemble de sous-canaux indépendants est la clé de la performance obtenue par DMT. La mesure de la qualité de chaque sous-canal détermine le nombre de bits qui lui sera alloué (table d'allocation). Ce procédé a pour but d'adapter le taux de charge de chaque canal en fonction de ses performances.

Le maximum possible est de 15 bits/symbol par canal. Les zones de la bande passante pour lesquelles l'atténuation du signal est importante ou le rapport signal bruit trop faible, auront moins de bits/s d'alloués afin de garantir une bonne qualité à la réception. Si la qualité est vraiment trop faible pour un canal, il peut ne pas être utilisé. Le débit maximum théorique d'un tel système est donc de 15 bit/s x 4000 Hz = 60 kbit/s par canal.

En fait, tel qu'il a été normalisé par ADSL, le premier canal est en réalité celui du téléphone, les canaux 2 à 6 constituent la bande de garde entre la voix et les données. Le canal montant occupe 32 sous-canaux à partir du canal 7. Le canal descendant occupe 216 sous-canaux. La séparation des canaux montants et descendants s'effectue par une bande suffisamment large à l'aide d'un multiplexage FDM (multiplexage en fréquence).

L'ajustement du débit par canal est constant. Si la qualité se dégrade sur un canal en cours de transmission, le système peut diminuer le nombre de bits alloués sur ce canal, et les répartir sur d'autres.

4. Discussions du bloc de retard

Dans la partie émetteur du modèle, le chemin intercale la branche inférieure de la figure ci-dessous. De même, le chemin intercalée dans la partie récepteur du modèle est la branche inférieure. Vers la fin du chemin entrelacé est un bloc de calcul de taux d'erreur BER qui calcule la valeur étiquetée entrelacé.

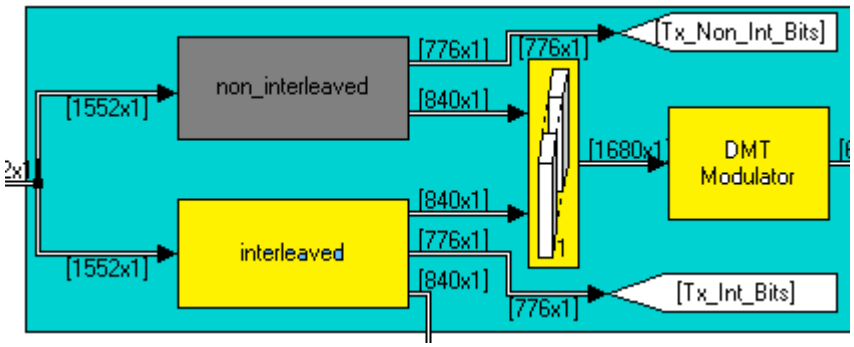


Figure III.6. *schéma intercale*

Le tableau suivant résume les retards dans le chemin de données non-interleaved. Les paragraphes suivants expliquent les retards plus en détail et expliquent le retard total par rapport au bloc d'erreur de calcul du taux est un cadre, ou 776 échantillons.

Tableau III.1. *Résumé des retards dans le chemin non-interleaved*

Bloquer	**Retard, dans des échantillons de sortie du bloc individuel**	**Retard, dans des trames**	**Retard, dans des échantillons d'entrée à taux d'erreur bloc de calcul**
Convolution d'entrelacement et de désentrelacèrent convolutif paire	40	1 (combiné)	776 (combiné)
Retard	800		
Total	N / A	1	776

Note :

La partie réceptrice de chemin d'accès entrelacé contient également un bloc de retard. Ce bloc explicitement provoque un retard de 800 échantillons ayant le même temps d'échantillonnage en tant que les 40 échantillons de retard à partir de la paire entrelacer / désentrelacer. Par conséquent, le retard total de l'entrelacement, le désentrelacèrent, est le retard explicite est de 840 échantillons. Ces 840 échantillons constituent une trame de données qui quittent le bloc de retard [15].

5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types de retard ainsi que la description des différents blocs de la chaîne ADSL ainsi que leurs fonctionnements.

1. Introduction

Pour l'implémentation de notre projet d'étude des retards et bruits au niveau du système ADSL, nous allons utiliser le Simulink sous matlab comme outil de simulation.

Le modèle qui représente le système de communication est construit à partir des blocs de Communications (librairies spécialisées) fournis par le logiciel de simulation Simulink. Les blocs sont affichés à l'écran et raccordés graphiquement les uns aux autres pour produire le modèle de communications ADSL désiré.

2. a *Blocs Sources* : sont les dispositifs nécessaires pour la génération des signaux numériques ou analogiques déterministes ou aléatoires, (sinusoïde, constante, rampe, séquence répétée...), comme le montre la figure (IV.1).

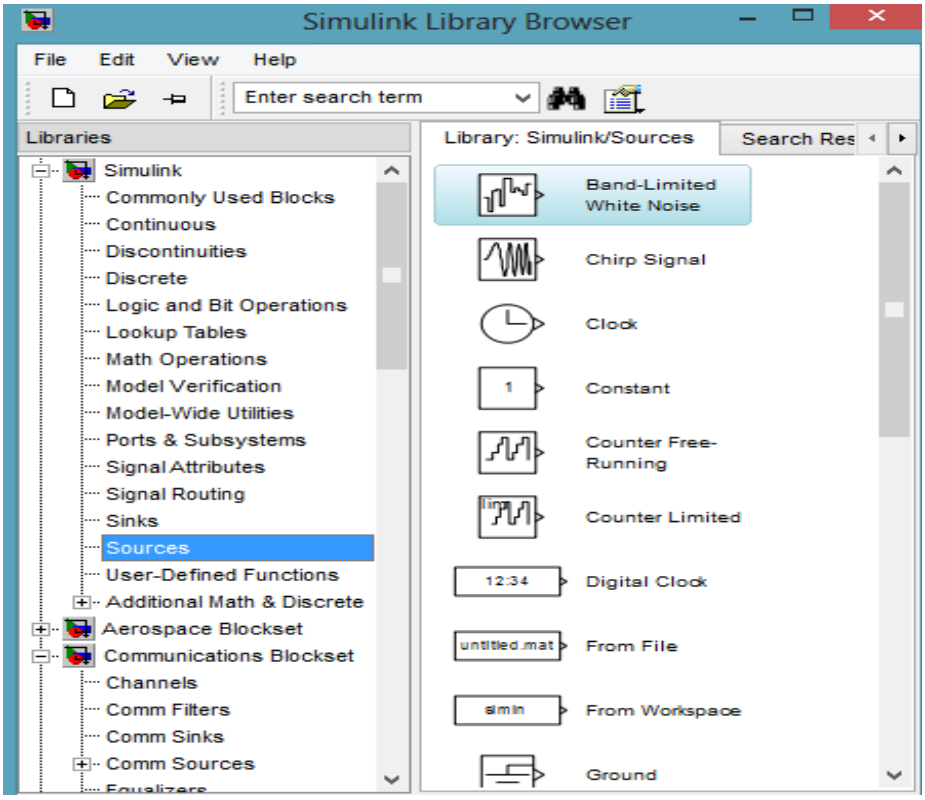


Figure IV. 1. *Blocs de source*

b. Blocs Sinks : sont les dispositifs nécessaires pour afficher la sortie des divers blocs sous forme graphique ou numérique.

a. Ensemble des Blocs de **Communication :** c'est un groupement qui contient l'ensemble des blocs fonction de communication tels que : le canal, le modulateur l'équaliseur,….etc. Dans notre simulation on s'intéresse aux blocs : (Channels AWGN ; Filter designs ; Interleaved /Deinterleaved ; ….), comme le montre la figure(IV.2).

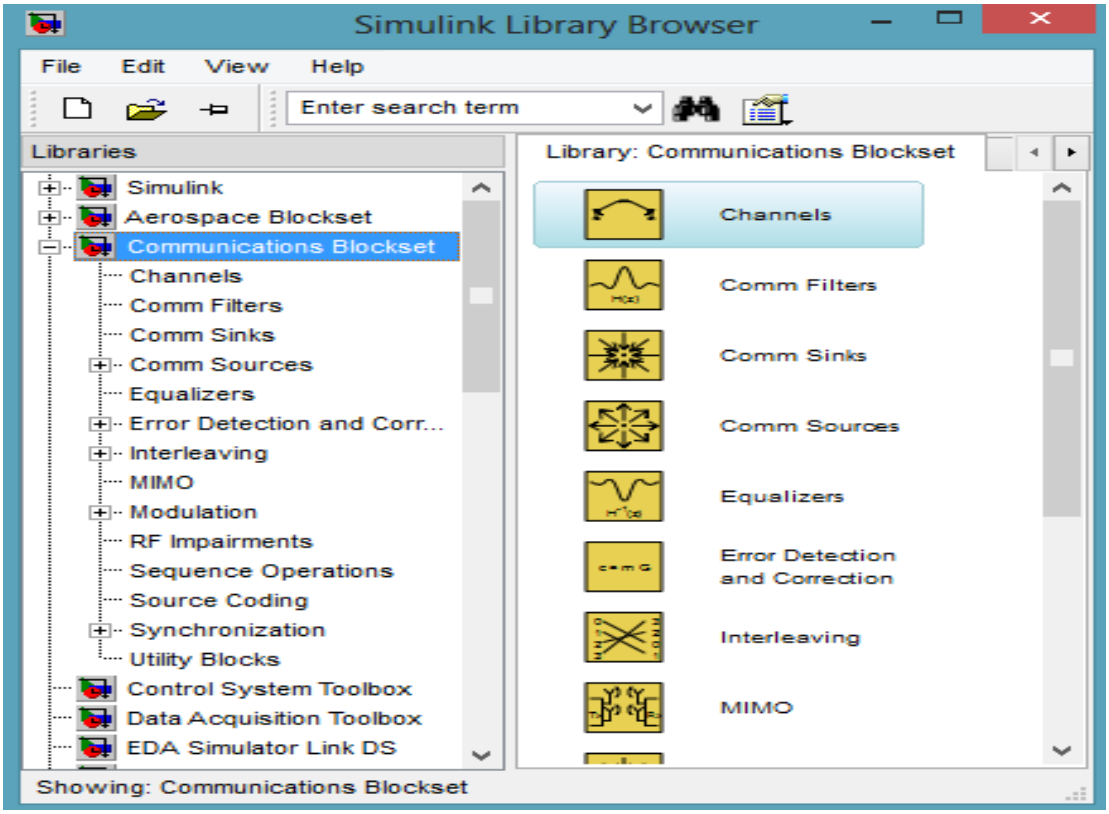


Figure IV.2. *Blocs de communication*

3. configuration des blocs du système ADSL

3.1. *Schéma globale du système ADSL*

Nous avons simulé sous Simulink le système ADSL suivant :

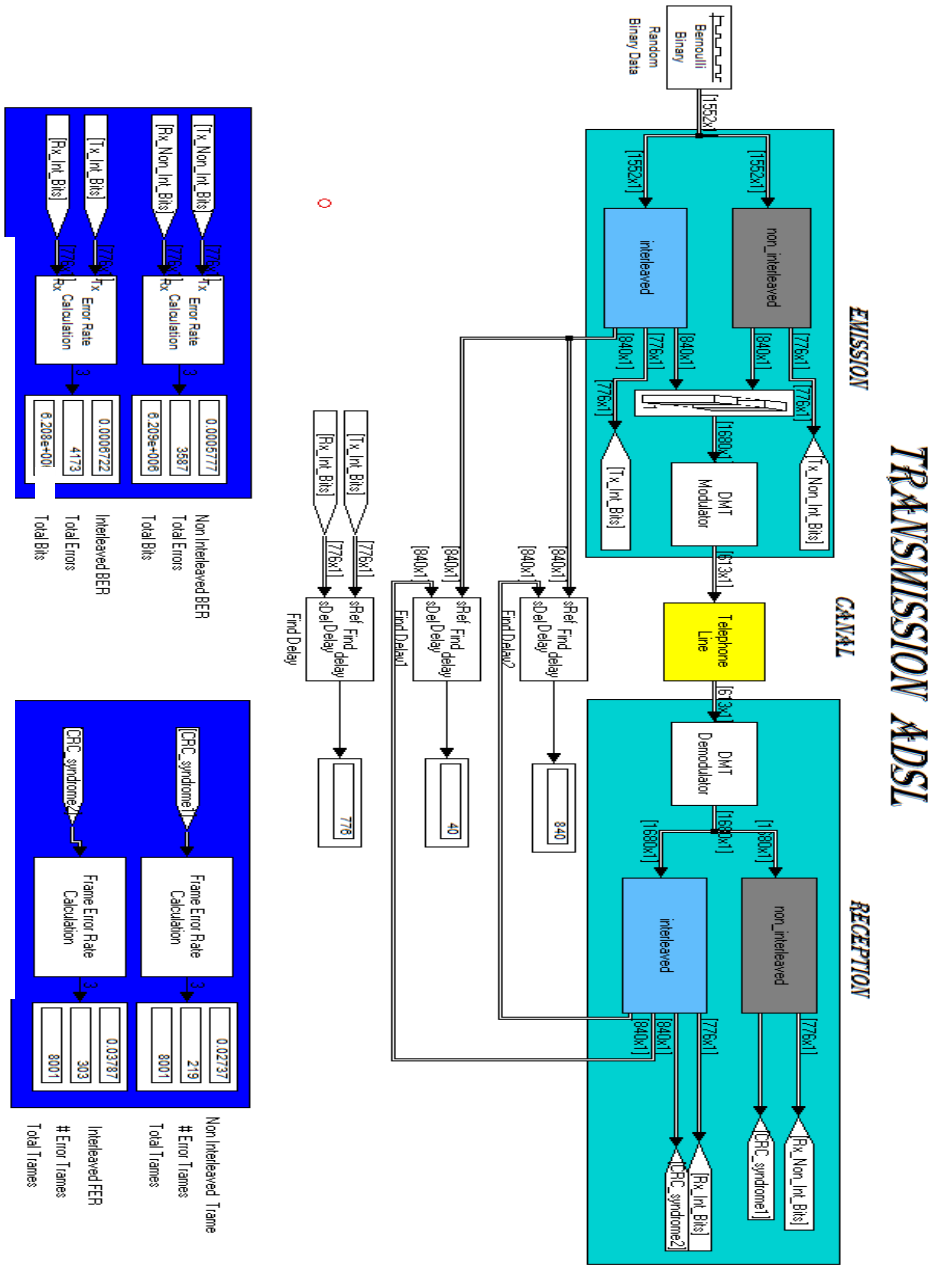
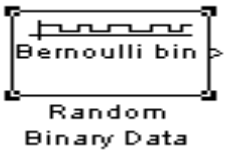


Figure IV.3. *Système ADSL simulé*

3.2. *Description et configuration des blocs*

a. *Générateur de Bernoulli*

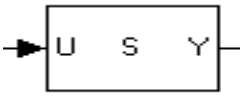
Comme on peut le voir avec le premier bloc on va générer un signal "aléatoire" de type Bernoulli. On à une probabilité d'avoir '0' de ½ et une probabilité d'avoir le '1' d'un ½ également, on a donc un signal équiprobable avec p=0,5.



Dans le bloc que l'on nous donne au départ, on a un temps d'échantillonnage " Sample Time " qui est T = (1/4000)/1552 avec 1552 qui correspond au nombre de bits par trame. Conformément à la norme ADSL on a une fréquence de 4000 Hz.

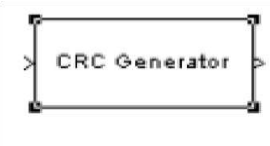
b. Sélecteur

Le sélecteur placé à la sortie du générateur va ensuite séparer les 1552 bits en 2, une partie avec les 776 premiers bits de la trame qui correspondront aux hautes fréquences (soit les premières porteuses de la trame) et une deuxième partie qui passe par l'interleaved qui correspond aux basses fréquences. Il faut également noter que cette séparation ne correspond pas à un fonctionnement normal de l'ADSL car le choix du chemin va dépendre de la ligne, du fournisseur d'accès.



c. General CRC generator

Le CRC (Cyclic Redundancy Code) est un code permettant de vérifier les erreurs de fin de transmissions. Le générateur est situé à la fois pour les hautes fréquences et pour les basses fréquences, il ajoute à chaque demi trame (puisqu'elle a été séparée en 2) des bits de contrôle CRC. On doit lui spécifier le polynôme générateur afin de calculer les checksums, les états initiaux des registres et la longueur des checksums pour chaque trame.



Le polynôme étant de degré 8, cela génère 8 bits de contrôle à la fin de chaque trame. Dans notre cas le CRC sera calculé de la façon suivante :

$$\boldsymbol{CRC(X) = rest(x^8 M(x) \big| G(x))} \qquad \textbf{(IV.1)}$$

d. *Scrambler & FEC*

Le bloc “Scrambler & FEC” se décompose en 2 morceaux, la partie Scrambler et la partie FEC relative au codeur Reed Solomon.



- ✓ Le rôle du Scrambler est de mélanger les bits contenues dans les trames afin d’éviter les désynchronisations de l’horloge dans le cas ou l’on ait une longue suite de zéros ou de uns. Celui-ci utilise des registres à décalages pour faire la somme des bits qui se suivent, lui aussi est configuré avec un polynôme. Dans le cas de la norme ADSL, on fait la somme de l'échantillon courant et des 18ème et 23ème échantillons précédents, comme le montre la figure (VI.4) :

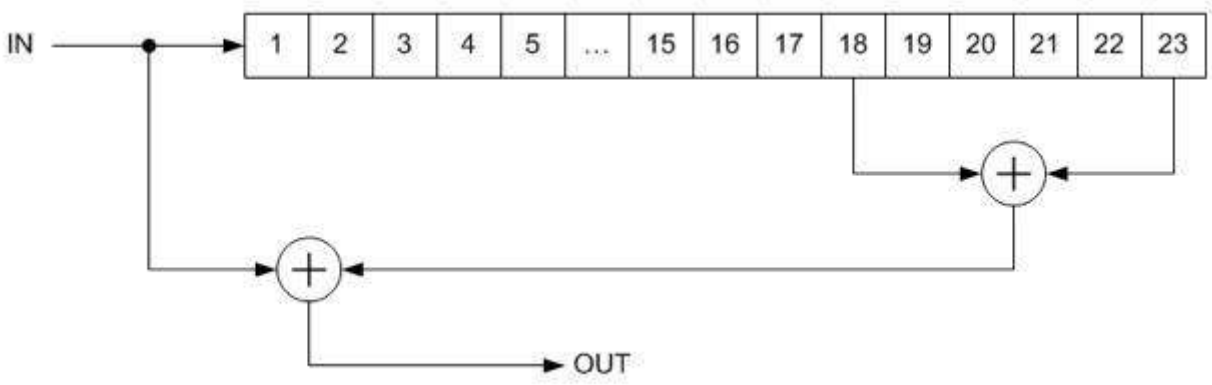


Figure IV.4. *Schéma du registre à décalage du Scrambler.*

- ✓ Le codeur Reed Solomon quant à lui permet de corriger les erreurs, il corrige un nombre d’erreurs égal à la moitié du nombre d’entiers ajoutés. Dans notre cas nous avons (776+8 bits CRC)/7 (Nombre de bits par entier) soit 112 entiers. Avec ce codeur, on rajoute de la redondance pour passer à 120 entiers en sortie, on ajoute ainsi 8 entiers et l’on peut donc corriger 4 entiers soit 28 bits.
- ✓ Il faut noter que plus la redondance est importante moins on aura de retransmissions car on corrigera plus d’erreurs. Cependant le taux d’efficacité sera plus faible. Il faut donc trouver un moyen de répartir les erreurs de façon à ce que le codeur Reed Solomon puisse en corriger le maximum, et l’un d’eux est d’utiliser un Interleaved.

e. *Convolutional Interleaved*



Le fonctionnement de l'entrelaceur ou de l'interleaved en anglais est assez simple. En effet, dans un canal les erreurs arrivent très souvent ensemble, en mode « burst » .Cependant, il est beaucoup plus facile pour les correcteurs de corriger les erreurs séparées. Le principe est assez simple, en mélangeant les trames ADSL les erreurs sont réparties, le nombre d'erreurs par trame tend alors vers sa moyenne et l'on peut dimensionner le codage Reed Solomon plus efficacement.

Puisque l'on mélange les trames qui n'arrivent plus dans le bon ordre, alors il faut attendre que toutes les trames soient arrivées pour décoder le message. Ceci induit des calculs supplémentaires et le temps du retard devient plus important.

f. Modulateur DMT

Puisque les trames arrivent à l'entrée du modulateur, donc les 16 « Modulator Bank » permettent de diviser une trame en 16 sous-trames. En y regardant de plus près, chaque « Modulator Bank » redivise une nouvelle fois la sous-trame en 16. Ainsi la trame qui arrive est finalement décomposée en 16*16=256 trames de taille variable. La taille dépend de la table d'allocation des bits.

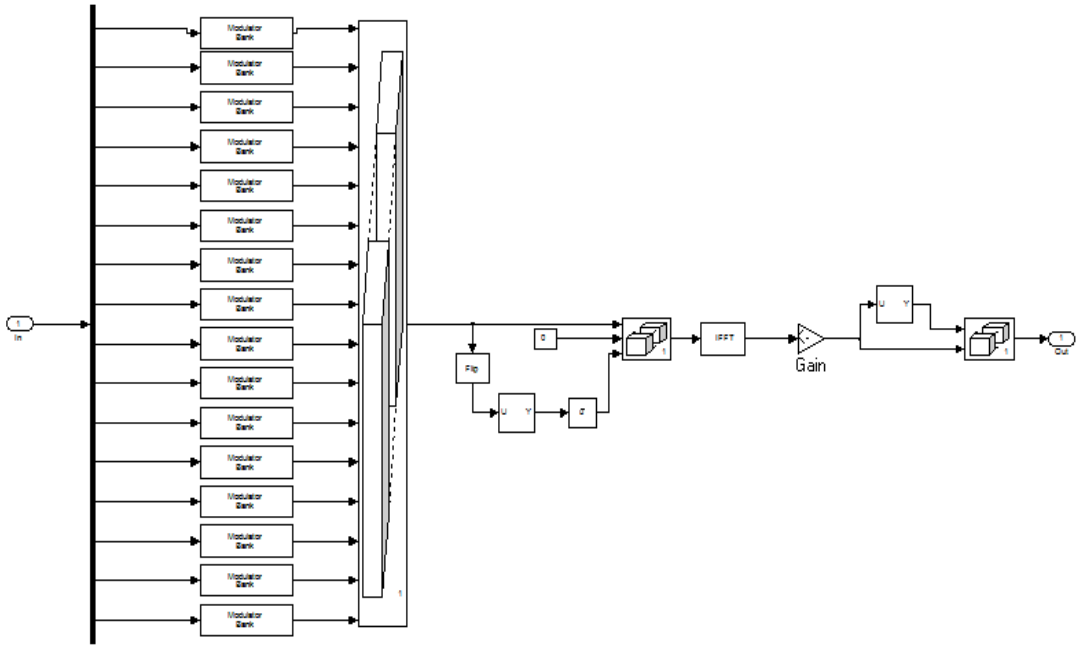


Figure IV.5. *Modulateur DMT*

f.1. Paramètre du démultiplexeur

Le nombre des entrées est donné par : ***sum (reshape(b,16,16))*** qui doit être écrite dans la fenêtre de configuration. Avec ***b*** le nombre de bits suivant la table d'allocation.

La fonction ***reshape*** permet de convertir le vecteur 256*1 arrivant en entrée en un vecteur 16*16 suivant la table d'allocation des bits. Au final, sum ([…]) retourne un vecteur contenant les sommes de chaque colonne du vecteur généré précédemment. Concrètement, chaque valeur de ce nouveau vecteur représente le nombre de bits qui doivent être dispatchés sur les Bancs Modulateurs.

f.2. Bancs de Modulation (Modulator Bank)

Pour configurer les paramètre du démultiplexeur on utilise : ***b (offset+1:offset+16)***

Ce nouveau multiplexeur permet de diviser à nouveau la nouvelle trame construite précédemment en 16 sous-trames selon la table d'allocation des bits. Entre chaque banc de modulation, l'offset augmente de 16. Il faut comprendre que l'offset représente le n° de la porteuse-1, c.à.d (Np-1).

Les 16 modulateurs QAM présents dans un banc de modulation disposent d'un paramètre représentant la taille de la constellation $M = 2^{b(offset+1)}$ Plus cette valeur est grande et plus le nombre de bits transmis simultanément est important. Le nombre de points dépend donc de la table d'allocation des bits, qui à partir du numéro de la porteuse, retourne le nombre de bits par symbole à moduler.

À la sortie de chaque QAM, les points de la constellation, contenant l'information, sont donc représentés par des nombres complexes. Au total, ces 16*16*1 points sont regroupés dans une matrice (« Matrix Concatenation »).

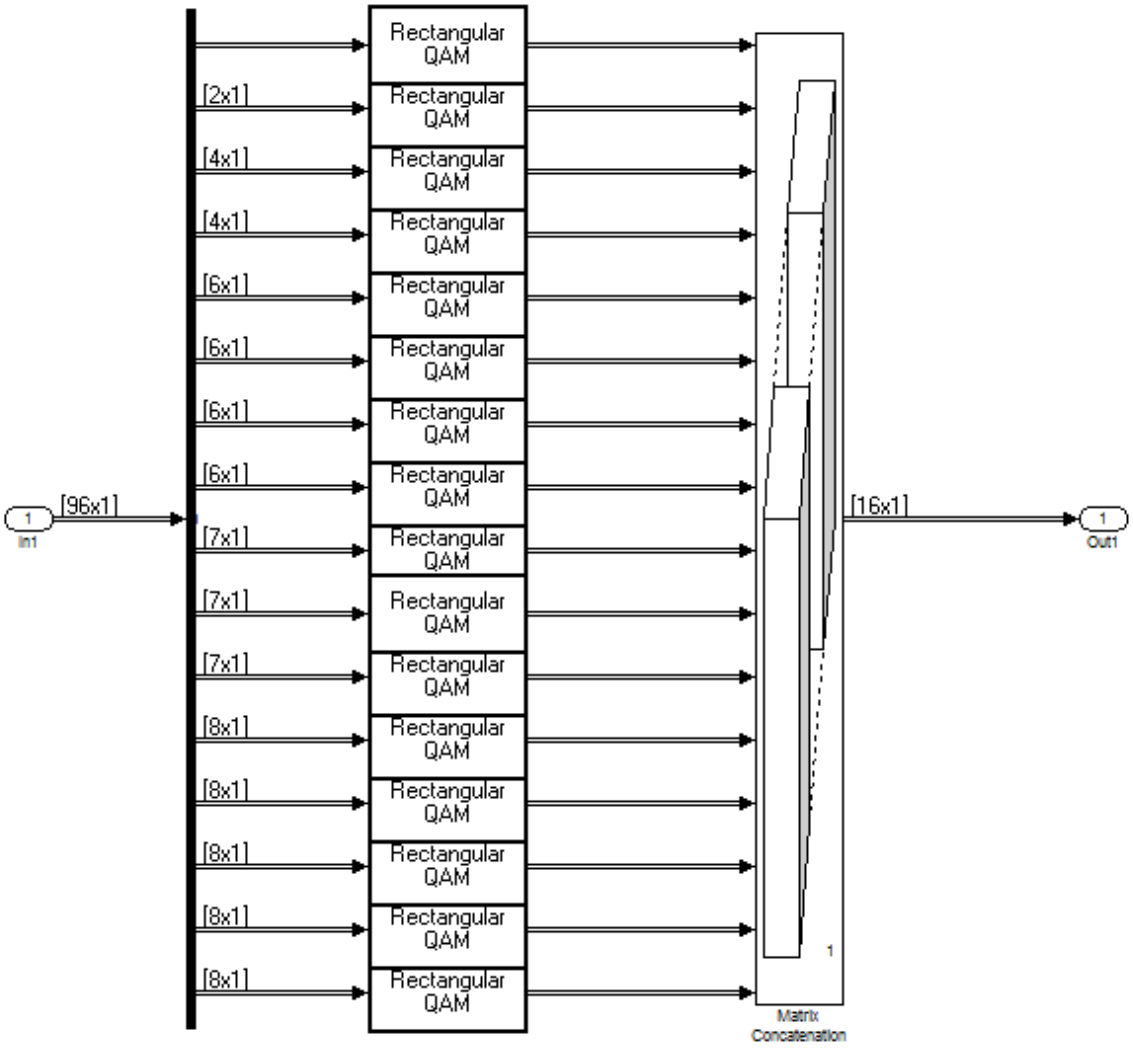


Figure IV.6. *Modulateur Bank*

f.3. Transformée de Fourier Inverse

Au final, le signal de sortie est complexe et contient 256 valeurs. Pour que l'IFFT transforme le signal en un signal réel, il faut qu'à son entrée, le signal soit symétrique conjugué. Pour cela, on créé en parallèle un signal complexe inversé (« Flip ») conjugué (« ū », pour rendre la phase impaire).

Enfin, on concatène en premier les 255 valeurs complexes, le 0 (représentant le milieu) ainsi que les 255 valeurs conjuguées. Le signal est donc bien symétrique et conjugué : la valeur n° X est bien égale à celle 512-X.

Après passage par l'IFFT, le signal est réel, contiens toujours 512 valeurs. Son module et paire et sa phase impaire.

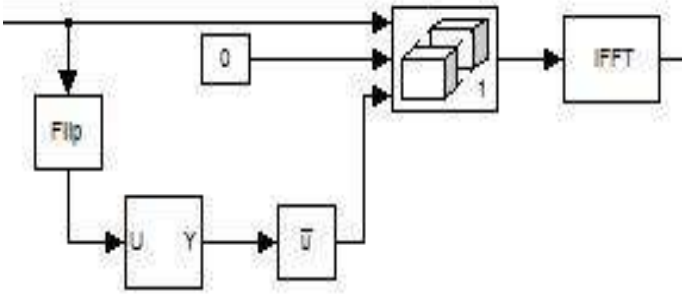


Figure IV.7. *Schéma de la Transformée de Fourier Inverse*

Avant de transmettre ce signal réel sur le canal de transmission, on lui applique préalablement un gain, pour qu'il soit amplifié (G=sqrt(512)). De plus, afin d'améliorer la robustesse pour la transmission, 101 octets de bourrage sont rajoutés. Ils correspondent à la taille du filtre utilisé dans la ligne de transmission.

g. Canal de transmission

Dans le modèle ADSL, on considère le canal de transmission comme une ligne téléphonique constituée d'un dispositif de filtrage (filter design) et d'un canal de type AWGN, comme le montre la figure(IV.9).

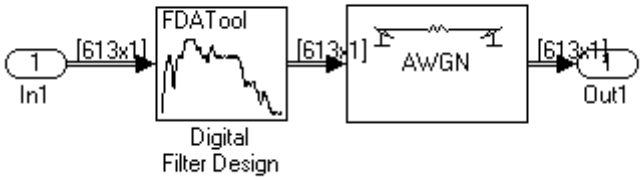


Figure IV.8. *Model de ligne téléphonique*

g.1. Filtre numérique

Le filtre présent dans ce modèle est un filtre passe bas dont la fréquence de coupures est supérieure à la fréquence maximale de la bande ADSL, c'est-à-dire 1,1Mhz. La magnitude du filtre a été choisie arbitrairement. Il s'agit en plus de ça d'un filtre FIR (à réponse impulsionnelle finie) d'ordre 100. On peut voir sur la prise d'écran que les fréquences sont des fréquences normalisées, mais cela n'influe pas sur notre problème. Nous pouvons également constater que le filtre est un filtre stable.

Le filtre que nous réaliserons devra donc avoir ces propriétés, qui sont les propriétés de bases pour un filtre en ADSL. Il devra être donc un filtre à réponse impulsionnelle finie stable pour commencer. De plus, il s'agira d'un filtre passe bas.

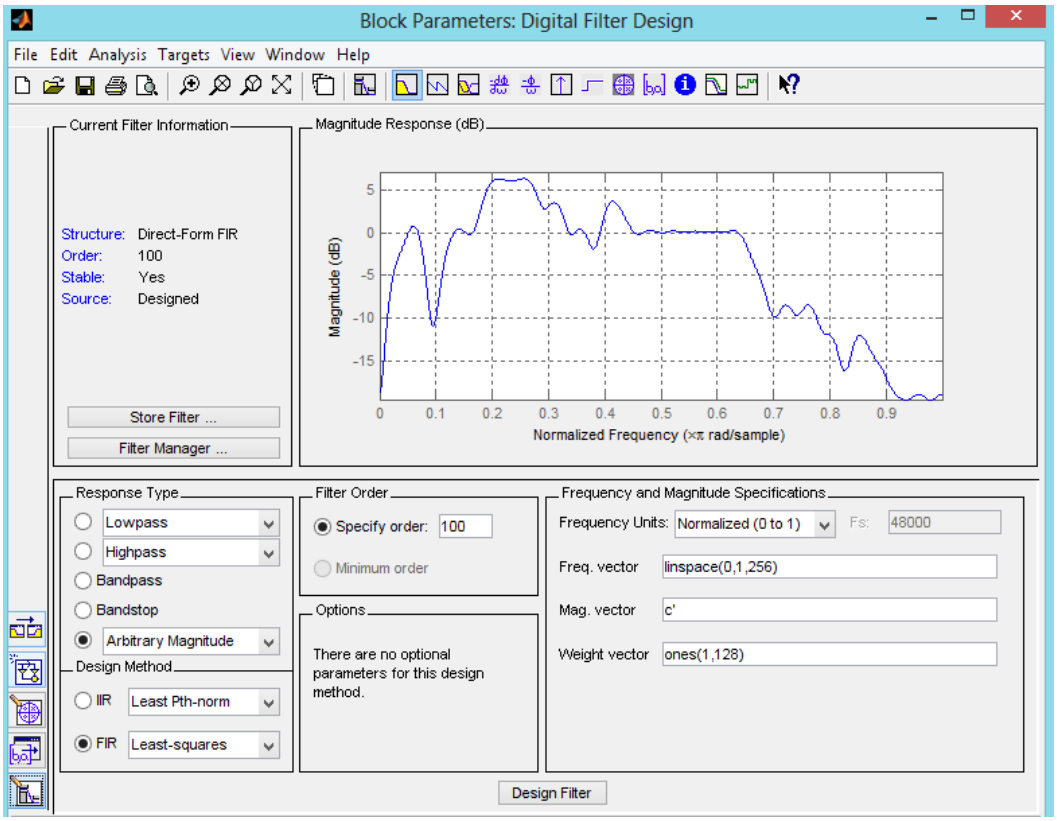


Figure IV.9. *Paramètres du bloc Digital Filter Design.*

g.2. Canal à Bruit blanc gaussien additif (AWGN)

Les paramètres sont spécifiés dans la fenêtre de configuration suivante.

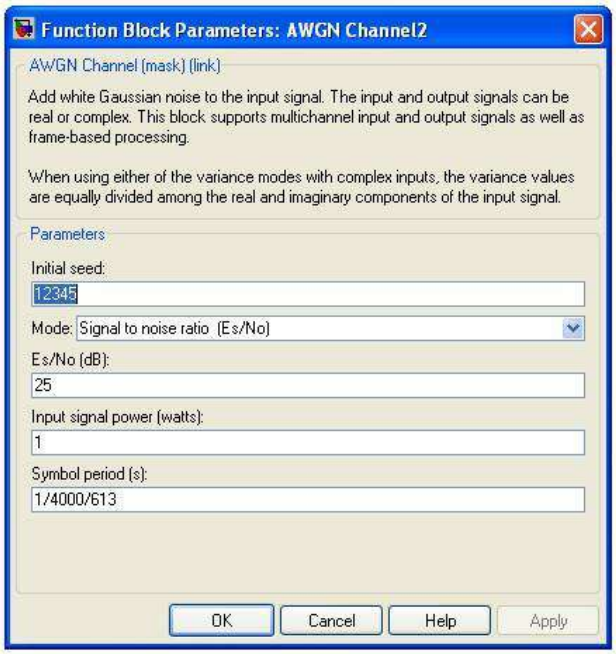


Figure IV.10. *Prise d'écran des paramètres du bloc AWGN*

h. Démodulation DMT

Bien entendu pour un bon fonctionnement du modem, il faut que les 2 différents chemins (Fastpath et interleaved) passent bien par le démodulateur correspondant, ainsi la chaîne de réception est analogue à la chaîne d'émission avec des réglages quasi équivalent.

Regardons maintenant au niveau de la démodulation du signal. Avant que la FFT ne convertisse le signal d'entrée en un signal fréquentiel, il faut préalablement supprimer les 101 octets de bourrages rajoutés volontairement par l'émetteur. Ensuite, il faut transformer le signal de manière à obtenir leurs valeurs fréquentielles. C'est le rôle du bloc FFT qui convertira les valeurs dans un vecteur de 512 éléments. Après cela, il faut désamplifier le signal de manière à retrouver un signal qui possède les mêmes caractéristiques qu'à l'origine, notamment concernant l'amplitude, (G=1/sqrt(512)).

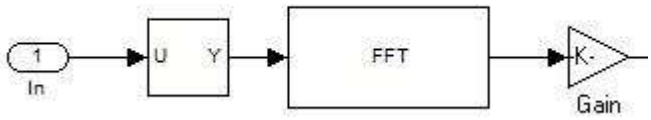


Figure IV.11. *Schéma Transformée de Fourier*

La dernière étape est importante et permet de supprimer l'influence du canal sur le signal, c'est à dire les interférences entre symboles. Concrètement, on multiplie, dans un vecteur, le signal par l'inverse de la réponse fréquentielle du canal. C'est ce que l'on appelle l'égalisation.

Les 256 premières valeurs correspondent à celles du premier vecteur généré à la sortie des 16*16 QAM. Les autres ne sont ni plus ni moins que des valeurs redondantes dû à la symétrie hermitienne.

Les 16 « Demodulator Bank » disposées en parallèle permettent de retrouver le flux binaire. Elles fonctionnent à l'inverse des « Modulator Bank ». Les 256 valeurs sont séparées en 16 groupes de 16 puis réparties dans les « Modulator Bank ». Les modulateurs QAM utilisés disposent du même paramètre qu'à la modulation. La taille de la constellation est identique et dépend toujours de la table d'allocation des bits.

Pour terminer, le bloc « Frame conversion » permet, comme son nom l'indique, de convertir le signal en trames qui seront utilisées par la suite dans la chaine de démodulation.

i. *Déinterleaved, descrambler et detecteur d'erreur CRC*

Cette partie est schématisée par la figure suivante :

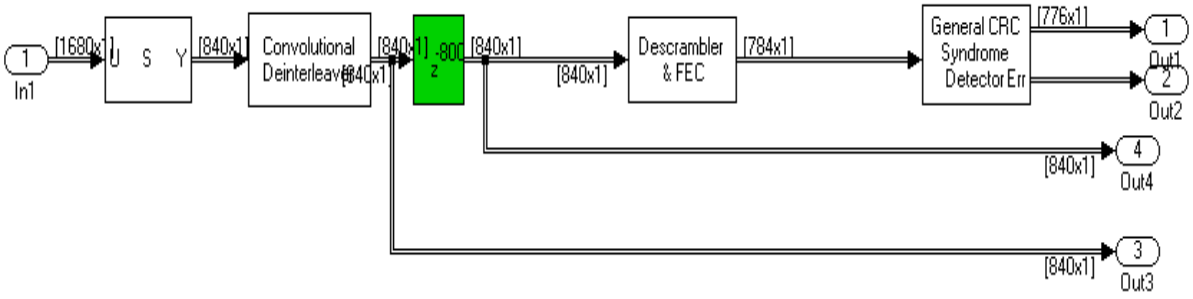


Figure IV.12. *Schéma interne d'interleaved de réception.*

Le signal reçu à la sortie de déinterleaved est retardé, d'où une opération de compensation du retard est nécessaire. La figure suivante montre le signal retardé reçu.

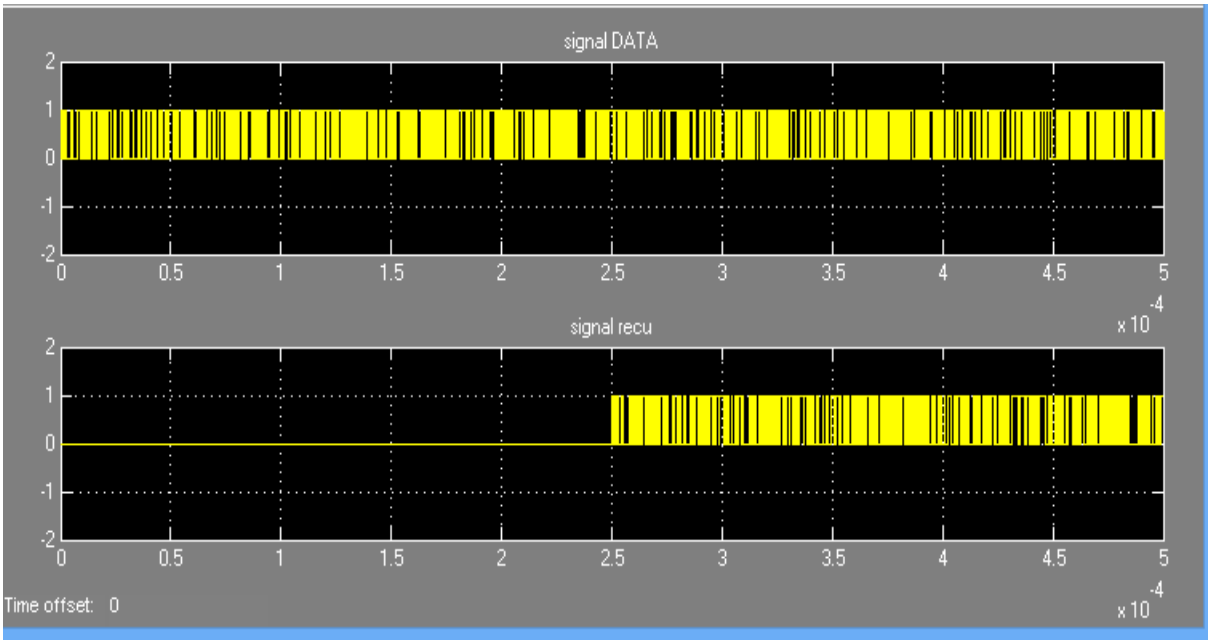


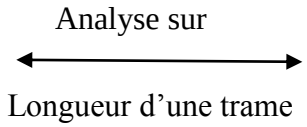
Figure IV.13. *Signal retarde*

4. Présentation et discussion des résultats

4.1 *effets du retard et du bruit*

Comme nous avons vu que l'entrelaceur introduit un retard de 40 échantillons par rapport au fast path ((ou Non interleaved). Le correcteur ne travaillant pas sur un flux mais sur des

trames, alors le décalage fausse la correction puisque le début d'une trame va chevaucher la fin d'une autre comme le montre la figure suivante.



		Trame n-1		Trame n		Trame n+1

Figure IV.14. *Schéma présentant le chevauchement des trames*

Ainsi, il faut « recaler » la trame afin que le début de la trame coïncide avec le début de la correction. On introduit un retard supplémentaire de 800 échantillons avec un opérateur retard **Z^(-800)** et donc on aura, au final, un retard de 840 échantillons ce qui correspond à une trame.

D'après les différentes opérations sur le retard proposé, nous avons obtenus le tableau suivant :

a. L'effet du retard sans compensation et sans bruit

Tableau IV.1. *Variation du BER en fonction du retard dans les cas d'interleaved et non-interleaved.*

Retard (en bits)	BER-Non interleaved	BER-Interleaved
4	**5.001. .10^{-1}**	**0**
12	**4.994.10^{-1}**	**0**
24	**5.012.10^{-1}**	**0**
40	**4.999.10^{-1}**	**0**
60	**4.994.10^{-1}**	**0**

D'après ce tableau on constate que, le BER est bien causé par le retard qui dû au interleaved, car la séquence reçue est presque totalement erronée. Donc on peut dire que la présence de la compensation du retard au niveau de récepteur est très importante.

b. L'effet du retard avec compensation et sans bruit

Tableau IV.2. *BER en fonction de retard*

Retard	retard supplémentaire	BER-Non interleaved	BER-Interleaved
4	**836**	**0**	**0**
12	**828**	**0**	**0**
24	**816**	**0**	**0**
40	**800**	**0**	**0**
60	**780**	**0**	**0**

Comme on a dit précédemment, l'opération de compensation du retard est très importante en exerçant un retard supplémentaire, d'où la séquence reçue ne subit aucune erreur par l'effet du retard.

Dans la partie suivante, on étudiera l'effet du bruit dans le cas de présence du retard et et de sa compensation.

C. L'effet du bruit en présence du retard et de sa compensation

Pour cette manipulation nous avons procédé à la fixation du retard et de sa compensation en suite on détermine le BER pour différentes valeur du rapport signal à bruit (SNR) au niveau du canal AWGN. D'où on aura le tableau suivant :

D'après le tableau ci-dessus on remarque que le rapport BER est important pour les rapports SNR très faible c-à-d que le niveau du signal devient faible. De plus, on constate que l'augmentation de BER est causée seulement par l'effet du bruit du canal avec une très très faible variation pour les divers retards.

Les courbes des figures suivantes montrent l'évolution du BER en fonction des divers paramètres.

Tableau IV.3. *BER en fonction des niveaux de bruits pour différents valeurs de retard.*

Retard	retard supplémentaire	Es/N0 (dB)	BER-Non interleaved	BER-Interleaved
4	836	25	$6.065.10^{-4}$	$6.165.10^{-4}$
		20	$1.291.10^{-1}$	$1.465. .10^{-1}$
		15	$3.163.10^{-1}$	$3.445.10^{-1}$
		10	$4.313.10^{-1}$	$4.359.10^{-1}$
		5	$4.794.10^{-1}$	$4.539. .10^{-1}$
		0	$4.947.10^{-1}$	$4.988.10^{-1}$
12	828	25	$6.065.10^{-4}$	$6.321.10^{-4}$
		20	$1.291.10^{-1}$	$1.463.10^{-1}$
		15	$3.163.10^{-1}$	$3.432.10^{-1}$
		10	$4.313.10^{-1}$	$4.533.10^{-1}$
		5	$4.794. .10^{-1}$	$4.912.10^{-1}$
		0	$4.947.10^{-1}$	$4.992.10^{-1}$
24	816	25	$6.065.10^{-4}$	$6.535.10^{-4}$
		20	$1.291.10^{-1}$	$1.472.10^{-1}$
		15	$3.16.10^{-1}$	$3.347.10^{-1}$
		10	$4.313.10^{-1}$	$4.542.10^{-1}$
		5	$4.794.10^{-1}$	$4.924.10^{-1}$
		0	$4.947.10^{-1}$	$4.992.10^{-1}$
40	800	25	$6.065.10^{-4}$	$6.821.10^{-4}$
		20	$1.291.10^{-1}$	$1.479.10^{-1}$
		15	$3.16.10^{-1}$	$3.432.10^{-1}$
		10	$4.313.10^{-1}$	$4.477.10^{-1}$
		5	$4.794.10^{-1}$	$4.865.10^{-1}$
		0	$4.947.10^{-1}$	$4.967.10^{-1}$
60	780	25	$6.065.10^{-4}$	$7.162.10^{-4}$
		20	$1.291.10^{-1}$	$1.501.10^{-1}$
		15	$3.16.10^{-1}$	$3.8486.10^{-1}$
		10	$4.313.10^{-1}$	$4.565.10^{-1}$
		5	$4.794.10^{-1}$	$4.928.10^{-1}$
		0	$4.947.10^{-1}$	$4.994.10^{-1}$

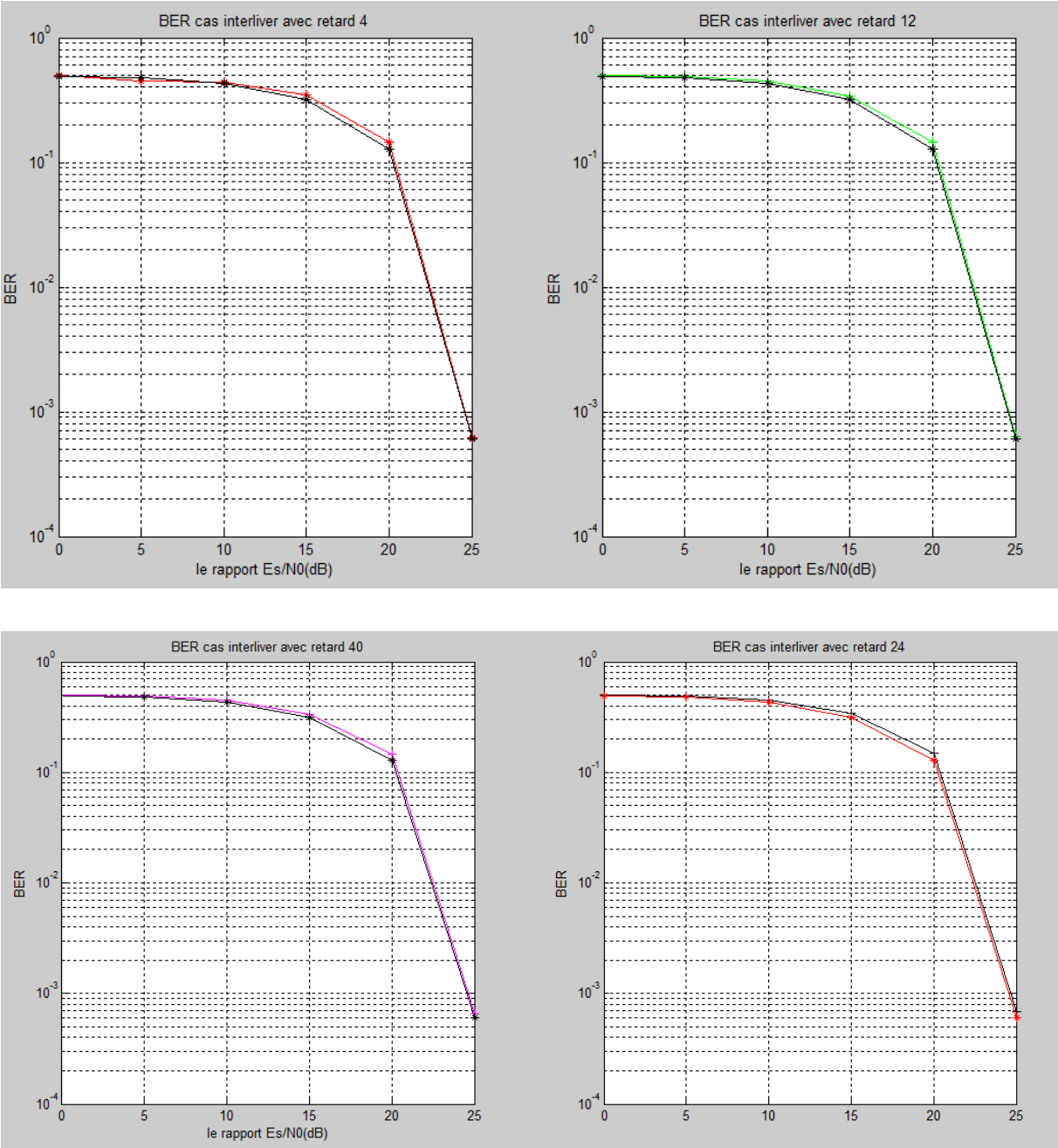


Figure IV.15. *Variation de BER on fonction de SNR*

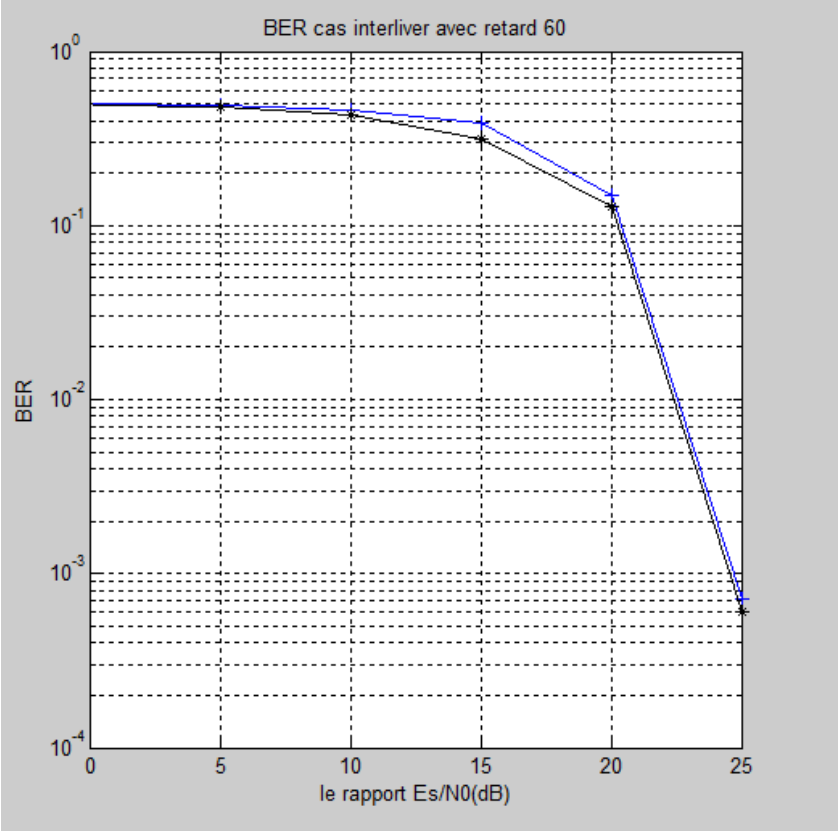


Figure IV.15. *Variation de BER on fonction de SNR*

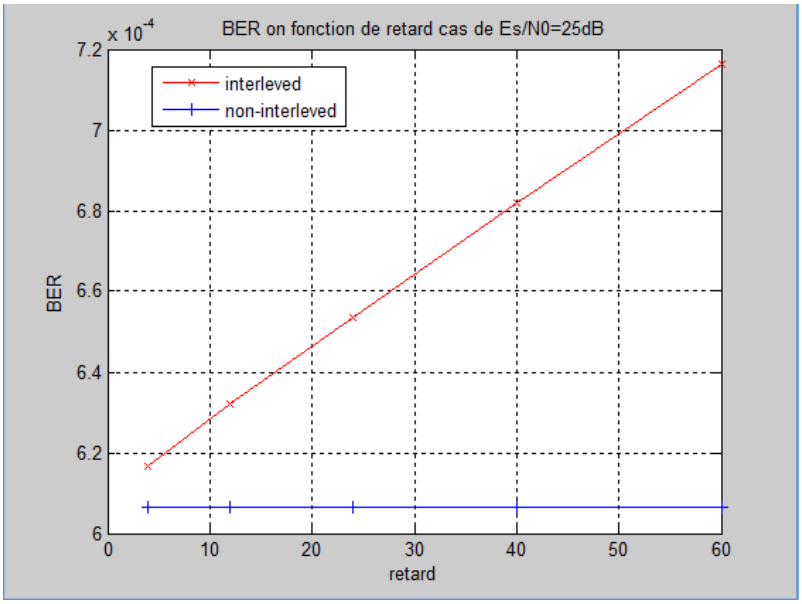


Figure IV.16. *Variation de BER on fonction de retard*

5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons entamés l'implémentation du système ADSL sous matlab en utilisant le Simulink comme outil de simulation. Donc nous avons bien compris le principe de l'ADSL de point de vu constitution et fonctionnement.

L'étude effectuée base sur l'effet du bruit ainsi que le retard des séquences à la réception. Ce retard est causé par l'interleaved où les séquences reçues sont totalement erronées. Donc nous avons remarqué qu'une compensation des retards est très nécessaire pour remédier au problème.

D'autre part, l'effet du bruit est très faible tant que le niveau du signal est très grand par rapport au niveau du bruit et vis vers ça, quel que soit le retard créée avec compensation.

Conclusion générale

Dans le but d'étudier et analyser les effets du retard et du bruit dans le système ADSL, nous avons arrivé à comprendre le mécanisme de la technologie ADSL (*Asymetric Digital Subscriber Line*) qui constitue actuellement le meilleur moyen d'accès grand public à'Internet haut débit.

L'ADSLest une technologie qui présente des avantages et des inconvénients. Parmi les avantages on trouve

- ✓ L'ADSL permet des débits beaucoup plus important ;
- ✓ La connexion est permanente sans intéruption de la ligne téléphonique.
- ✓ L'installation est facile : le client est en mesure de l'effectuer lui-même, cela ne nécessite pas d'intervention de la part du fournisseur d'accès, elle est donc à moindre coûts ;
- ✓ Le haut débit a permis l'apparition de nombreux services : tels que la vidéo, laTéléphonie sur IP, la télévision sur IP ….

Mais, malgré ces nombreux avantages, l'ADSL présente quelques inconvénients :

- Le débit affiché, bien que plus rapide par rapport à un modem 56Kbit/s, reste souvent théorique au vu des problèmes de diaphonie et de la qualité de la paire de cuivre
- Il est nécessaire de se situer dans une zone compatible et proche d'un centre. Les campagnes sont alors exclues de ce mode de communication. La dissipation d'énergie est à l'origine de cette contrainte.

Donc on peut dire que notre étude effectuée nous a permet de conclure que la dégradation de la l'information transmise par l'ADSL est due principalement :

- ➢ Dans un premier temps à l'effet de retard qui dégrade totalement l'information originale. Mais, une opération de compensation du retard doit être effectuée au niveau du récepteur pour résoudre le problème.
- ➢ D'autre part, l'effet du bruit du canal n'est pas négligeable à certain niveau, car plus le niveau du bruit est faible plus la dégradation de l'information est très faibles où le BER <<. Mais plus rapport SNR est faible plus le BER est grand.

Donc on peut dire que le système ADSL est fiable tant que les conditions du canal sont bonnes ; pas de diaphonies ; pas de bruits externes, où le canal est modélisé par un bruit AWGN à niveau du bruit à faible niveau.

Finalement, on peut dire que notre projet est bénéfique, car il nous a :

- ✓ permet de comprendre le principe de fonctionnement de l'ADSL.
- ✓ maitriser l'outil de simulation Simulink sous Matlab,
- ✓ de voire d'autres voies de recherche dans ce système de transmission qui peuvent être étudiées par autre étudiants de PFE.

BIBLIOGRAPHIE :

Livre :
[1] BELOGBANE Amina & BETTAYEB Kenza, « Dimensionnement d'un réseau d'accès NGN de type MSAN », projet de fin d'études en Télécommunications, Ecole Supérieure des Communications de Tunis (SUP'COM), 2006-2007
[2] Malek Mohamed & Azzoug Islam « Etude d'un système de signalisation par canal sémaphore », projet de fin d'étude ingénieur en communication, Faculté d'Electronique & et Informatique, Département des Télécommunications, à l'USTHB, 2009/2010.
[3] NAILI Dalel & BENDABBAH Mounia, « la signalisation sémaphore SS7 », projet de fin de licence en GTR, Faculté d'Electronique & et Informatique, Département des Télécommunications, à l'USTHB, 2008-2009.
[8] ADSL et xDSL, nouvelles technologies d'accès à Internet, Walter Goralski, traduit de l'américain par Vincent Giry. OEM, 2000.
[9]Padmanand Warrier et Balaji Kumar, « xDSL Architecture », édition McGraw-Hill, 1998.
[10] Charles K. Summers, « ADSL : Standards, Implementation and Architecture », edition CRC Press LLC, USA, 1999.
[11] Maurice Gagnaire, « Boucle d'accès hauts débits », édition Dunod, Paris, 2001.
[12] Technologie ADSL ou modem Câble, rapport, Jérôme Hottinger, ET6, EINEV, 1997
[13] Bingham, John A.C., ADSL, VDSL, and Multicarrier Modulation, New York, Wiley, 2000.
[14] ITU-T Recommendation G.992.1 Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Transceivers, Geneva, Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union, 1999.
[15] Maxwell, Kim, "Asymmetric Digital Subscriber Line: Interim Technology for the Next Forty Years," IEEE Communications Magazine, October 1996, pp. 100-106.
Sites Web
[4] http://www.oumnad.123.fr/RTCP/RTCP.pdf Réseau téléphonique commute, A.OUMNAD « consulter le 8 mai 2012 ».
[5] http://www.inetdoc.net/pdf/rnis.pdf
[6] http://www.inetdoc.net/articles/rnis/images/protocoles.png.
[7] http://www.itu.int