

QUESTION 12/2

Examen des transmissions
large bande sur boucles
à fil de cuivre



UIT-D

COMMISSION D'ÉTUDES 2 2^e PÉRIODE D'ÉTUDES (1998-2002)

Rapport sur les technologies DSL

Bureau de développement des télécommunications (BDT)

Union internationale des télécommunications



LES COMMISSIONS D'ÉTUDES DE L'UIT-D

Les Commissions d'études de l'UIT-D ont été créées aux termes de la Résolution 2 de la Conférence mondiale de développement des télécommunications (CMDT) organisée à Buenos Aires, Argentine, en 1994. Pour la période 1998-2002, la Commission d'études 1 est chargée d'examiner onze Questions dans le domaine des stratégies et politiques de développement des télécommunications. La Commission d'études 2 est, elle, chargée d'étudier sept Questions dans le domaine du développement et de la gestion des services et réseaux de télécommunication. Au cours de cette période, pour permettre de répondre dans les meilleurs délais aux préoccupations des pays en développement, les résultats des études menées à bien au titre de chacune de ces deux Questions sont publiés au fur et à mesure au lieu d'être approuvés par la CMDT.

Pour tout renseignement

Veillez contacter:

Mme Fidélia AKPO
Bureau de Développement des Télécommunications (BDT)
UIT
Place des Nations
CH-1211 GENÈVE 20
Suisse
Téléphone: +41 22 730 5439
Fax: +41 22 730 5884
E-mail: fidelia.akpo@itu.int

Pour commander les publications de l'UIT

Les commandes ne sont pas acceptées par téléphone. Veillez les envoyer par téléfax ou par e-mail.

UIT
Service des ventes
Place des Nations
CH-1211 GENÈVE 20
Suisse
Téléphone: +41 22 730 6141 anglais
Téléphone: +41 22 730 6142 français
Téléphone: +41 22 730 6143 espagnol
Fax: +41 22 730 5194
Télex: 421 000 uit ch
Télégramme: ITU GENEVE
E-mail: sales@itu.int

La Librairie électronique de l'UIT: www.itu.int/publications

Rapport sur les technologies DSL

Bureau de développement des télécommunications (BDT)

Union internationale des télécommunications



Rapport sur les technologies DSL

Table des matières

	<i>Page</i>
1	Introduction..... 1
2	Technologies d'accès à large bande 2
3	Nature des technologies DSL..... 5
4	Systèmes DSL 7
4.1	ADSL – Ligne d'abonné numérique asymétrique..... 7
4.2	HDSL – Ligne d'abonné numérique à haut débit..... 10
4.3	SHDSL – Ligne numérique d'abonné à haut débit à une paire..... 11
4.4	VDSL – Ligne d'abonné numérique à très haut débit..... 11
4.5	RNIS 12
5	Normes et Recommandations relatives aux technologies DSL 13
5.1	Recommandations de l'UIT 13
5.2	ETSI..... 15
5.3	ANSI..... 16
5.4	Le DSL Forum..... 17
5.5	Le DAVIC et l'ATM Forum 18
5.6	IETF..... 18
6	Technologies DSL: aspects économiques..... 18
7	Services à large bande DSL 22
7.1	Accès Internet 22
7.2	Télévision/Vidéo à la demande (VOD) 23
7.3	Service téléphonique sur DSL 23
7.4	Fourniture de ligne louée 24
7.5	Interconnexion de réseaux locaux..... 24
7.6	Fourniture du mode relais de trame 25
7.7	Accès Intranet 25
8	Modèles de mise en place de réseaux utilisant les technologies DSL..... 25
8.1	Éléments de réseau DSL 26
8.2	Modèle IP..... 28
8.3	Modèle ATM de bout en bout..... 29
8.4	Modèle avec commutation de circuit..... 30
9	Les technologies DSL et l'Infrastructure mondiale de l'information (GII) 30
9.1	Structuration des possibilités de mise en œuvre 31
9.2	Configurations d'appareil d'information 33
9.3	Configurations de la section d'accès 33
9.4	Méthodologies de scénarios GII (modèles de référence Y.120)..... 34
9.4.1	Voix/Données/Vidéo sur paires de cuivre..... 36
9.4.2	Voix/données/vidéo par le réseau Internet 38
10	Conclusion 40

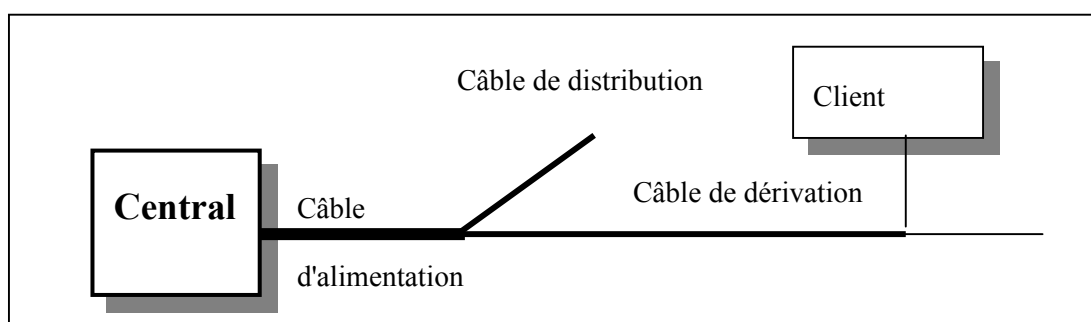
	<i>Page</i>
ANNEXE 1 – Aperçu général des Recommandations de l'UIT relatives à la ligne d'abonné numérique (DSL)	41
ANNEXE 2 – Description des technologies DSL	49
ANNEXE 3 – Modèle de réseau DSL	70
ANNEXE 4 – Cette annexe décrit les essais réalisés et les installations DSL	77
Termes et abréviations.....	80

Rapport sur les technologies DSL

1 Introduction

Les utilisateurs des services de télécommunication, c'est-à-dire les abonnés, sont reliés par le réseau d'accès aux réseaux de transit. Traditionnellement ces branchements (lignes d'abonnés) contiennent des fils de cuivre à paire torsadée, montés sous forme de câbles à paires. La Figure 1.1 représente un exemple d'installation téléphonique en boucle, avec des câbles d'alimentation vers les zones à forte densité d'abonnés, des câbles de distribution vers les sites d'abonnés potentiels et des câbles de dérivation vers les locaux d'abonnés.

Figure 1.1 – Exemple de boucle téléphonique locale



Les boucles d'abonné sont à l'étude depuis de nombreuses années et différents modèles permettent de décrire leurs principaux paramètres, tels que

- le type de câble (diamètre, isolant);
- longueur de câble;
- structure de la boucle (bobines de charge, prises en dérivation);
- sources de bruit (diaphonie, bruit impulsif, brouillages radioélectriques).

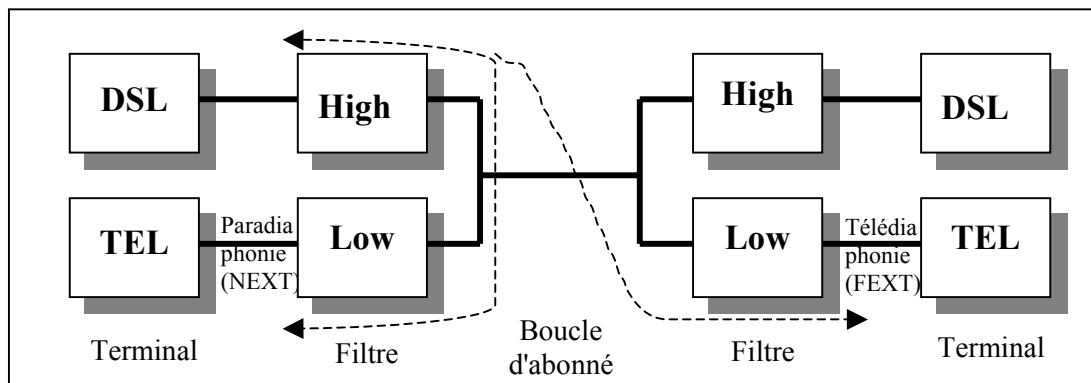
Dans le cas des signaux analogiques vocaux de fréquence inférieure à 4 kHz, l'affaiblissement lié au calibre des fils détermine normalement la longueur d'une boucle d'abonné. On utilise parfois des bobines de charge pour augmenter cette longueur et des terminaisons en T pour créer des configurations en réseau multipoint.

L'introduction de nouveaux services exigeant des signaux numériques à des débits binaires de plus en plus élevés nécessite, soit l'extension de la largeur de bande utilisable des boucles d'abonné existantes en faisant appel à des techniques sophistiquées, soit le remplacement des paires par des supports de transmission à large bande, tels que les transmissions par câble optique/coaxial ou les transmissions sans fil.

Le coût très élevé du remplacement des lignes d'abonné existantes et les progrès conjointement enregistrés dans le domaine du traitement du signal numérique ont conduit à mettre au point les technologies DSL de lignes d'abonné numériques, pour mieux utiliser la largeur de bande disponible et donc pour acheminer des débits binaires plus importants. Dans certains cas les signaux téléphoniques du service téléphonique ordinaire peuvent emprunter la même ligne d'abonné que les signaux DSL.

La transmission simultanée de signaux à fréquences vocales et de signaux à fréquences plus élevées dans le même sens ou en sens inverse, exige parfois l'installation d'un séparateur, tel qu'indiqué à la Figure 1.2.

Figure 1.2 – Exemple d'installation de répartiteur



La paradiaphonie (NEXT) est l'une des principales dégradations affectant les systèmes qui partagent la même bande de fréquences pour les transmissions vers l'amont et vers l'aval. Le bruit paradiaphonique se produit lorsque le récepteur est situé à la même extrémité du câble que l'émetteur à l'origine du bruit. La télédiaphonie (FEXT) est le bruit détecté par le récepteur placé à l'extrémité distante du câble, en provenance de l'émetteur à l'origine du bruit. La télédiaphonie est moins préjudiciable que la paradiaphonie, en raison de l'affaiblissement du bruit télédiaphonique dû à la longueur du câble qu'il doit traverser.

Les configurations comportant un séparateur contiennent un filtre passe-haut et un filtre passe-bas permettant d'isoler les applications téléphoniques ordinaires et les applications DSL. De plus, les séparateurs réduisent l'impact des variations d'impédance liées aux passages de l'état «raccroché» à l'état «décroché» et des perturbations dues aux bruits impulsifs, aux signaux de sonnerie et à la diaphonie. La paradiaphonie doit être atténuée parce qu'un émetteur DSL utilise une puissance d'environ 100 mW, tandis qu'un récepteur téléphonique fonctionne avec une puissance de 0,1 mW.

La puissance des puces de traitement des signaux numériques autorise la mise en œuvre de méthodes sophistiquées de codage, d'égalisation des voies et d'annulation d'écho qui limitent la diaphonie. Le spectre utilisé pour les signaux à fréquence vocale inférieure à 4 kHz peut être étendu jusqu'à près de 500 kHz pour la transmission des signaux numériques par les technologies DSL de telle sorte que des débits de l'ordre du Mbit/s sont possibles au moyen des lignes d'abonné existantes.

2 Technologies d'accès à large bande

Dans le domaine de l'accès à un réseau étendu, il existe de nombreuses solutions technologiques qui sont actuellement en concurrence pour obtenir une part de marché et se faire accepter sur le marché. Ces solutions technologiques ont pour origine les environnements de réseau étendu et de réseau local (WAN et LAN) et comprennent: RNIS, ATM, Ethernet commuté, relais de trame, plusieurs technologies pour la transmission de données sur câble coaxial (télévision par câble) et la famille des technologies de ligne d'abonné numérique. Depuis quelques années, les technologies DSL apparaissent de plus en plus comme la solution du futur en matière d'accès – que ce soit dans le cadre des applications pour utilisateurs privés ou dans le cadre des applications pour utilisateurs professionnels. Au début, les technologies DSL, destinées à être mises en œuvre sur l'infrastructure à fils de cuivre existante, ont été proposées comme solution d'accès intermédiaire pour les utilisateurs privés avant l'installation généralisée d'infrastructures hybride fibre-câble coaxial (HFC) ou fibre jusqu'au domicile (FTTH). Il est à présent manifeste que l'installation d'une infrastructure HFC ou FTTH nécessitera un investissement bien plus lourd et une durée

de mise en place beaucoup plus longue que ce qui avait été envisagé. Par conséquent, il est possible que la période «intermédiaire» de mise en œuvre de technologies DSL se poursuive jusque vers la fin du XXI^e siècle, en particulier dans les pays en développement.

Les technologies DSL semblent n'être «sorties» des laboratoires de communications de données et du développement de la modulation par impulsion et codage (PIC) que récemment, mais en réalité, elles existent depuis plusieurs années – même si elles ne jouissaient pas de la même notoriété qu'aujourd'hui. Or, les technologies DSL sont soudainement apparues comme étant potentiellement les plus prometteuses des solutions techniques d'accès à large bande pour les utilisateurs privés et pour les utilisateurs professionnels, du fait de l'augmentation de la demande de débits plus élevés pour les transmissions de données et pour les connexions Internet. Le présent document tente d'élucider cette question du point de vue technique et du point de vue du marché.

Les Figures 2.1 et 2.2 ci-après illustrent le type d'accès, le débit, la gamme et la paire nécessaires pour différentes technologies. Les valeurs indiquées dans ce tableau dépendent de nombreux paramètres, tels que le calibre des fils, les terminaisons en T, les perturbations, les marges, etc. De plus, compte tenu de l'élaboration constante de nouvelles technologies, les valeurs indiquées peuvent évoluer.

Figure 2.1 – Systèmes DSL: débit/portée type (1 paire, sans régénérateur)

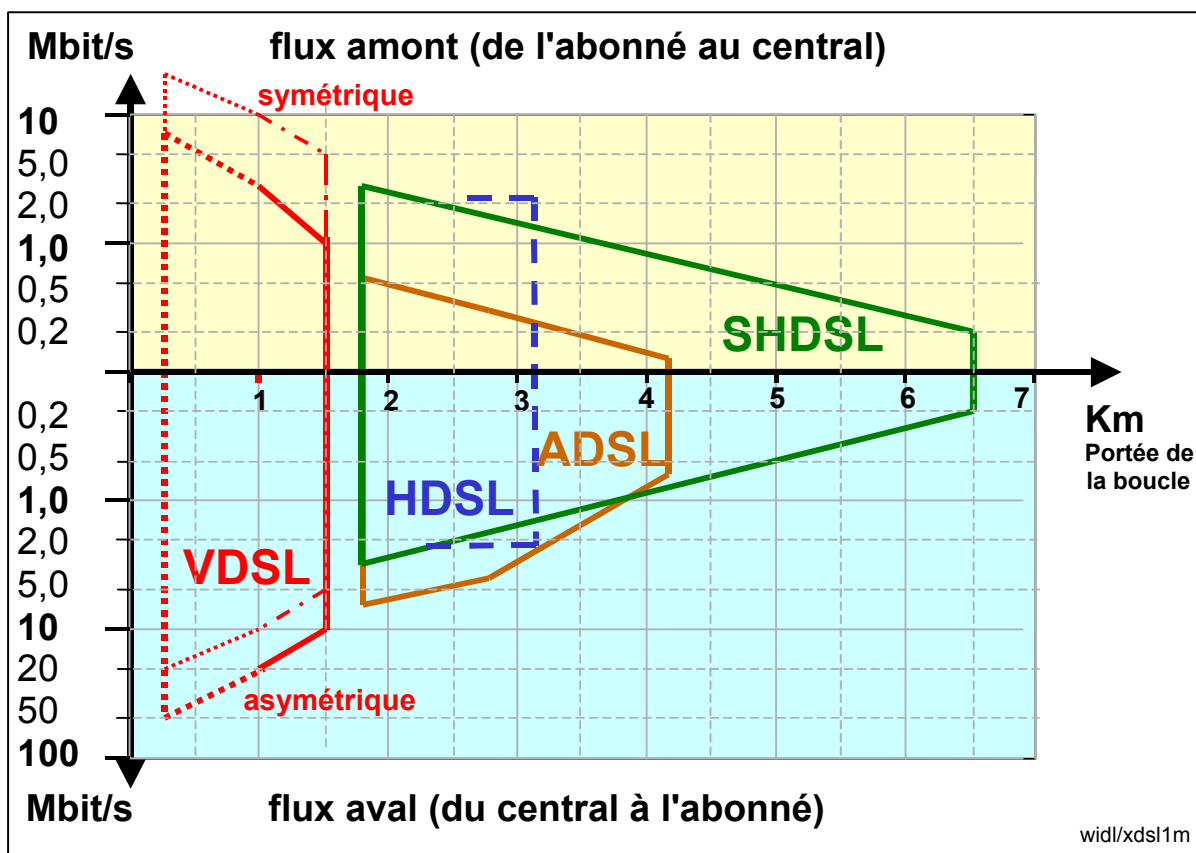


Figure 2.2 – Comparaison entre systèmes DSL

Type	Description	Accès/débit/portée/paires	Applications
BB	Modems en bande de base	Sym.: 32 kbit/s à 2 Mbit/s Portée: quelques km Paire: 1	Lignes louées
V.22 à V.90	Modems en bande vocale	Sym.: 1 200 bit/s à 56 000 bit/s Portée: illimitée Paire: 1	Communications de données par le réseau commuté
DSL	Ligne d'abonné numérique	Duplex: 160 K (2B+D+M) Portée: jusqu'à 5 500 m	Service RNIS Communications voix et données
HDSL	Ligne d'abonné numérique à grand débit	Sym.: Portée: jusqu'à 3 000 m (sans répéteur) Paire 1: 1 × 2 320 kbit/s aval/amont Paires 2: 2 × 1 168 kbit/s aval/amont 2 × 784 kbit/s aval/amont Paires 3: 3 × 784 kbit/s aval/amont	Services T.1 et E.1 Services synchrones
SHDSL	Ligne numérique d'abonné à haut débit à une paire	Sym.: débits fractionnaires $n \times 128$ kbit/s ($n = 1-18$) Portée: 6 500 m pour 192 kbit/s 1 800 m pour 2 304 kbit/s Paire: 1 (utilisation possible d'un régénérateur)	Services T.1 et E.1 Services synchrones
ADSL	Ligne d'abonné numérique asymétrique ASDL sans filtre séparateur (ADSL Lite)	Asymétrique: vers l'aval: 1,5 à 6,144 Mbit/s vers l'amont: 16 kbit/s à 640 kbit/s Portée: 2 800 m 4 096 kbit/s aval/320 kbit/s amont (Calibre: 3 500 m 2 048 kbit/s aval/128 kbit/s amont 0,4 mm) 4 200 m 578 kbit/s aval/128 kbit/s amont 2 800 m 1 536 kbit/s aval/256 kbit/s amont 3 500 m 1 536 kbit/s aval/96 kbit/s amont 4 200 m 512 kbit/s aval/96 kbit/s amont Paire: 1	Accès Internet Services d'accès vidéo et vidéo à la demande Accès réseau LAN à distance Multimédia interactif
VDSL	Ligne numérique d'abonné à très haut débit	Asymétrique: vers l'aval: 13 Mbit/s à 51 Mbit/s vers l'amont: 1,6 Mbit/s à 6,6 Mbit/s Portée: 1 500 m 13 Mbit/s aval/1,6 Mbit/s amont 1 000 m 26 Mbit/s aval/3,2 Mbit/s amont 300 m 52 Mbit/s aval/6,6 Mbit/s amont Sym.: Portée 1 000 m jusqu'à 26 Mbit/s Paire: 1	Identiques à ADSL et HDTV

T1 = 1,544 Mbit/s, E1 = 2,048 Mbit/s, M = informations de gestion 16 kbit/s

3 Nature des technologies DSL

Pendant des décennies, on a estimé que les modems analogiques atteindraient un plafond de 56 kbit/s en termes de débit correspondant à la largeur de bande maximale possible sans compression. En réalité, le seuil des 56 kbit/s correspond uniquement à la largeur de bande qui est théoriquement possible dans le spectre des fréquences audibles, lequel ne comprend que les 4 kHz inférieurs du spectre total disponible sur une paire type de fils téléphoniques. Toutefois, la totalité du spectre des fréquences qu'il est possible de transmettre sur des fils de cuivre correspond généralement à 500 kHz environ. Le fait que les technologies DSL soient de plus en plus utilisées sur les modems analogiques qui sont courants aujourd'hui est rendu possible par l'exploitation des fréquences supérieures à 4 kHz. Ces fréquences n'étaient pas utilisées précédemment en raison des difficultés qu'elles engendrent pour la transmission normale du trafic vocal. La transmission de fréquences supérieures à 4 kHz sur une paire de fils de cuivre d'un câble multipaire a tendance à entraîner une interruption du service téléphonique ordinaire due à l'introduction de niveaux inacceptables de paradiaphonie dans les autres paires de fils du même câble multipaire.

Les technologies DSL reposent sur des techniques très sophistiquées qui limitent la paradiaphonie et qui permettent donc de beaucoup augmenter la largeur de bande potentielle sur chaque paire de fils de cuivre. Autre avantage: certaines de ces techniques permettent au service téléphonique ordinaire de continuer à fonctionner sur une paire de fils donnée même si une transmission DSL a lieu simultanément sur cette paire. Ces techniques ont pu être développées grâce à la mise au point de puces de traitement de la signalisation numérique (DSP, *digital signalling processing*) de plus en plus puissantes et de moins en moins coûteuses, qui nécessitent de moins en moins d'énergie électrique.

Un problème récemment identifié est le besoin de spécifier la compatibilité spectrale entre différents systèmes DSL sur le même câble et utilisés par divers opérateurs (dégroupage).

L'autorité de réglementation est en principe responsable de la gestion du spectre et de la définition des conditions de dégroupage. Des travaux de spécification dans ce domaine sont en cours à l'ANSI et l'ETSI.

Au début des années 90, les technologies DSL (en particulier la technologie HDSL et plus tard la technologie ADSL) ont été testées par quelques opérateurs aux Etats-Unis, ainsi que par plusieurs PTT en Europe. La technologie HDSL a été utilisée en tant que technologie d'accès symétrique fournissant un débit à la norme E-1 ou T-1 au réseau d'accès et au réseau de jonction. Beaucoup de ces tests ont donné naissance à des essais en vraie grandeur. Toutefois, à ce moment-là, pour la technologie ADSL, les applications motrices dans le cadre de la mise en œuvre des technologies DSL étaient la vidéo à la demande et la télévision interactive. Ces applications étaient considérées comme des sources de recettes potentielles pour le marché des utilisateurs privés et la technologie ADSL était l'arme de fourniture de services de vidéo à la demande et de télévision interactive que les entreprises téléphoniques brandissaient contre les réseaux de télévision par câble qui se multipliaient pour assurer ces services sur leur infrastructure à câbles coaxiaux. A la grande déception des entreprises de câble et des entreprises téléphoniques, les services de vidéo à la demande et de télévision interactive ne se sont pas révélés être des «applications décisives» justifiant une mise en place en vraie grandeur de ces services. A ce moment-là, la technologie ADSL a été, dans une large mesure, oubliée.

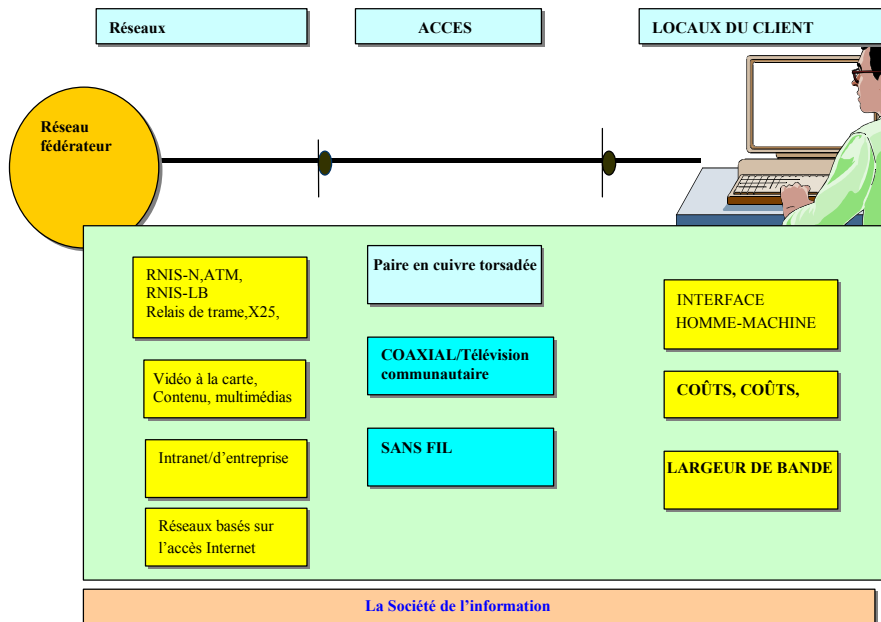
En 1995, l'intérêt s'est déplacé vers le monde en ligne et, plus particulièrement, le World Wide Web (WWW). Dès le début du web en 1993, il était manifeste qu'il fallait une largeur de bande beaucoup plus élevée pour pouvoir transformer le web en «superautoroute de l'information» accessible universellement ainsi que pour pouvoir prendre en charge les applications fondées sur le web qui exigent plus de ressources. La demande croissante de largeur de bande en vue de l'accès au web constitue maintenant l'une des premières applications cibles pour les technologies DSL. Toutefois, on envisage aussi d'utiliser les technologies DSL dans plusieurs autres applications, lesquelles pourraient conduire à terme à un flux de recettes beaucoup plus élevé que l'accès à large bande au web pour le marché des utilisateurs privés. Ces applications comprennent notamment:

- La liaison téléphonique par ligne DSL (*Voice-over-DSL*) (VoDSL) ne doit pas être confondue avec les transmissions téléphoniques classiques en bande de base. Dans le cas des liaisons de type Voix sur DSL (VoDSL) les signaux vocaux sont numérisés, introduits dans les mots de code DSL et

acheminés, par exemple par des nœuds d'accès de multiplexeurs DSLAM, aux fréquences supérieures à la couche physique du réseau ordinaire de la liaison DSL, afin de fournir des services téléphoniques. Les liaisons VoSDL n'exigent pas de filtres séparateurs.

- L'accès Intranet pour les organisations qui adoptent un modèle client-serveur fondé sur le web. Une organisation qui met en œuvre un Intranet aura besoin de la largeur de bande plus élevée offerte par les technologies DSL afin de relier ses environnements de bureaux virtuels/succursales (ROBO, *remote office, branch office*) et télétravailleurs aux applications professionnelles exigeant plus de ressources, qui fonctionnent sur ses propres serveurs web.
- L'interconnexion de réseaux locaux à débit élevé et à faible coût: les technologies DSL peuvent s'avérer beaucoup plus efficaces pour cette application que le RNIS ou les lignes louées classiques.
- L'accès en mode relais de trame: étant donné que les technologies DSL opèrent au niveau des couches physiques, elles pourraient apparaître comme la méthode la plus rentable pour acheminer le trafic en mode relais de trame depuis l'abonné jusqu'au réseau en mode relais de trame. Le relais de trame sur DSL est utile pour les deux premières applications susmentionnées et permet de réduire fortement les coûts d'utilisation du relais de trame pour d'autres applications comme le transport de trafic d'anciens ordinateurs, voire de trafic vocal.
- L'accès ATM: comme dans le cas du relais de trame, les technologies DSL peuvent aussi être utilisées pour transporter des cellules ATM vers un dispositif d'accès ATM où elles sont multiplexées statistiquement sur un réseau fédérateur ATM.
- La fourniture de lignes louées: les technologies DSL peuvent être utilisées afin de réduire fortement les coûts de fourniture de lignes T-1 ou E-1 du centre de commutation aux installations du client. La Figure 3.1 ci-dessous montre la relation entre les besoins de l'utilisateur et la technologie dans la perspective de la réalisation de la société de l'information:

Figure 3.1 – Relations entre besoins de l'utilisateur et technologie



4 Systèmes DSL

On trouvera dans l'Annexe 2 des descriptions techniques simplifiées des systèmes DSL.

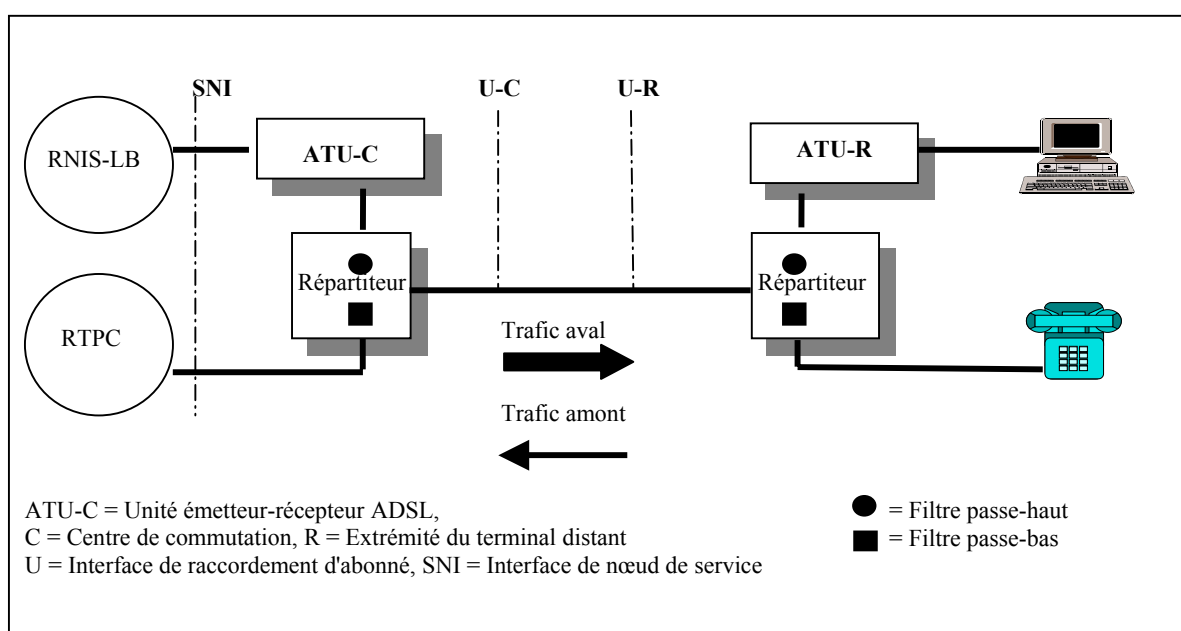
4.1 ADSL – Ligne d'abonné numérique asymétrique

Par le passé, la technologie ADSL a peut-être avant tout été considérée comme le type de technologie DSL qui présentait le plus fort potentiel à court terme pour la fourniture d'accès à large bande sur le marché des utilisateurs privés et sur le marché des professions libérales et télétravailleurs (SOHO, *small office, home office*). Toutefois, elle a récemment été reconnue comme une solution potentiellement idéale pour le marché des interréseaux d'entreprise et pour le marché grand public.

Comme son nom l'indique, la technologie ADSL est caractérisée par une répartition asymétrique de la largeur de bande: on attribue une largeur de bande plus grande pour le trafic «aval» (c'est-à-dire dans le sens fournisseur de services-abonné) que pour le trafic «amont» (c'est-à-dire dans le sens abonné-fournisseur de services). L'ADSL permet d'obtenir cette structure de largeur de bande asymétrique avec quatre classes de canaux: canaux (unidirectionnels) simplex à grande largeur de bande, canaux (bidirectionnels) duplex à faible largeur de bande, un canal de commande duplex et un canal pour le service téléphonique ordinaire, qui occupe les 4 kHz inférieurs sur la ligne. La transmission sur les canaux simplex et duplex n'a pas d'incidence sur le canal associé au service téléphonique ordinaire. Cette capacité d'assurer simultanément le service téléphonique ordinaire et des services de transmission de signaux vidéo ou de données à large bande sur la même paire de fils de cuivre est l'un des principaux avantages de la technologie ADSL par rapport aux autres technologies d'accès (RNIS par exemple). Dans la version européenne, le transport simultané de RNIS et ADSL est également proposé.

Outre ces spécifications normalisées de largeur de bande, les progrès réalisés en matière de microplaquettes DSP ont permis aux modems ADSL d'atteindre des débits encore plus élevés pour le trafic aval et pour le trafic amont. Les débits les plus élevés annoncés actuellement sont de 12 Mbit/s pour le trafic aval et de 2 Mbit/s pour le trafic amont. Il va de soi que la technologie ADSL est caractérisée par un très grand nombre de débits possibles. Cela étant, dans la famille de technologies DSL, la technologie ADSL semble présenter le meilleur potentiel pour offrir un accès à large bande peu coûteux à la maison comme au bureau à court terme.

Figure 4.1 – Configuration ADSL



Deux versions des systèmes sont examinées comme l'indique la Figure 4.2:

ADSL plein débit avec fréquence de coupure de 1 104 kHz;

ADSL Lite avec fréquence de coupure de 552 kHz.

La bande passante disponible pour la boucle d'abonné est divisée en bandes de fréquences pour:

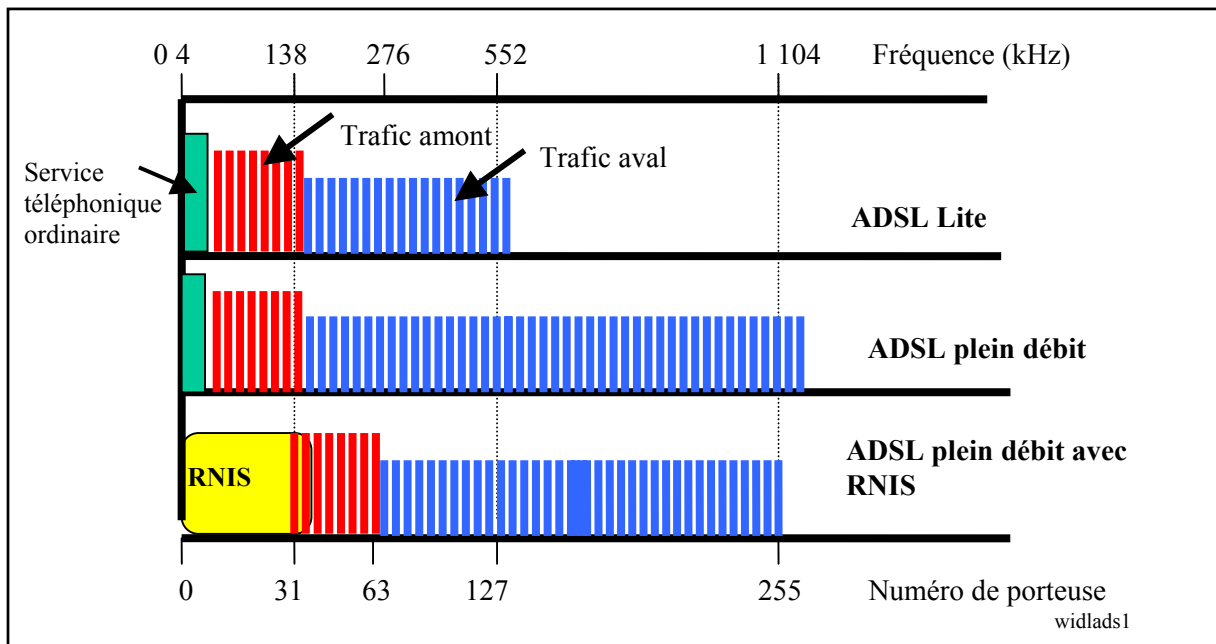
- RNIS et service téléphonique ordinaire analogique;
- sous-porteuses du trafic amont;
- sous-porteuses du trafic aval.

En plus des versions illustrées à la Figure 4.2, ADSL Lite et ADSL plein débit peuvent utiliser la compensation d'écho. En d'autres termes, la bande de fréquences 4-138 kHz est utilisée à la fois pour la transmission du trafic amont et du trafic aval.

La technologie spécifiée pour ADSL s'appuie sur la transmission à multitonalités discrètes (DMT): le signal de ligne est composé d'un certain nombre de fréquences parallèles constituant une bande passante allant jusqu'à 15 bits/s par Hz. Un émetteur-récepteur ADSL est doté, entre autres, des fonctions suivantes:

- filtrage en émission-réception, commande de gain automatique, conversion analogique/numérique et numérique/analogique;
- modulation/démodulation, codage/décodage et condensation/décondensation de paquets binaires;
- transformée de Fourier rapide et transformée de Fourier rapide inverse;
- compensation adaptative de l'écho, égalisation adaptative de canal, conversion symbole/bit et récupération du rythme.

Figure 4.2 – Plan de fréquences pour ADSL



On estime que la technologie ADSL Lite remplacera les modems en bande vocale pour l'accès à l'Internet et sera largement utilisée si les conditions suivantes sont remplies:

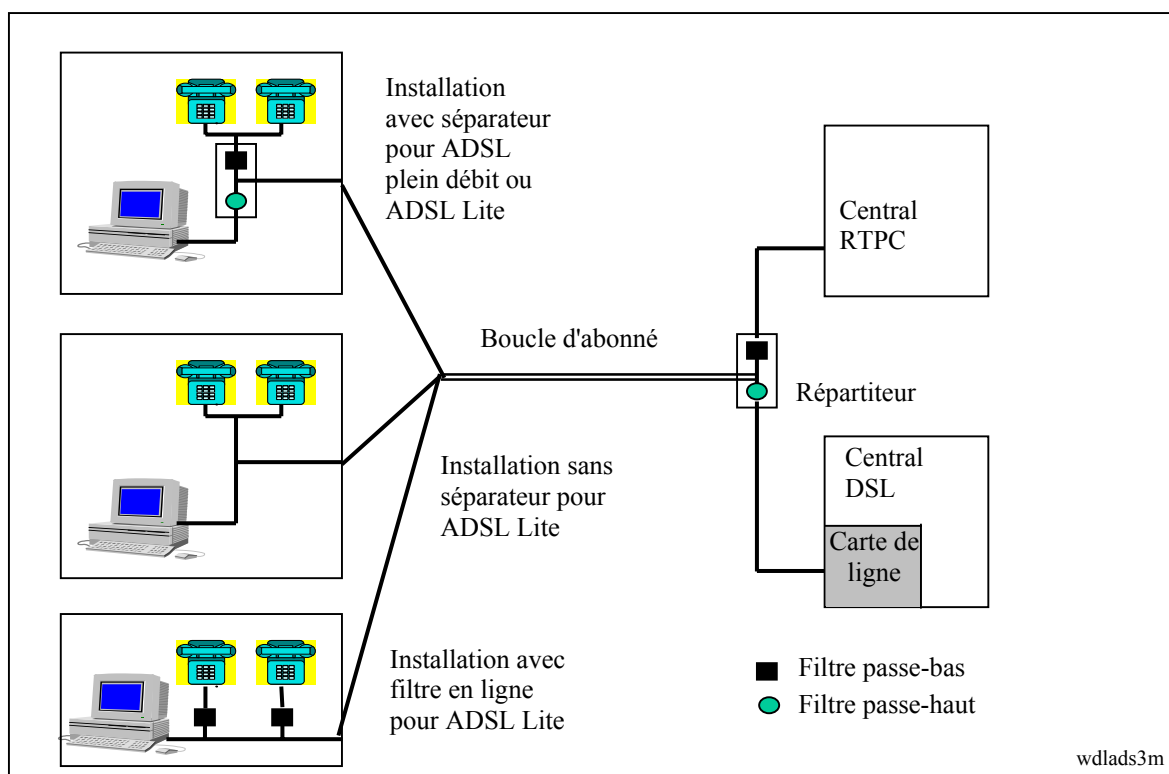
- Installation aisée chez l'utilisateur final sans filtre séparateur ni intervention technique.
- Grande distance de transmission.
- Débits souples vers les utilisateurs pouvant atteindre 1,5 Mbit/s.
- Interopérabilité et compatibilité avec la technologie ADSL plein débit.

Il convient de signaler que le débit de données dépend de la qualité de ligne d'abonné. La détérioration de la ligne a automatiquement pour effet de réduire le débit.

Le critère de simplicité d'installation fait de l'installation sans filtre séparateur un aspect important de la technique ADSL Lite. Dans certains cas, néanmoins, ADSL Lite exige la présence de filtres séparateurs ou de filtres additionnels pour protéger les postes téléphoniques comme l'illustre la Figure 4.3.

La technologie RADSL, dérivée de la technologie ADSL, permet d'ajuster automatiquement le débit de ligne sur la base d'une série de tests initiaux qui déterminent le débit maximal possible sur une ligne donnée. La technologie RADSL a fait l'objet d'une spécification ANSI T1 mais non d'une Recommandation de l'UIT. Dans les régions où la longueur de la boucle locale (distance de l'abonné au centre de commutation), le calibre des fils et l'état de la ligne varient beaucoup, il devient difficile de déterminer les débits qui doivent être prévus sur chaque ligne. Les conditions fluctuantes (météorologie par exemple) ont, elles aussi, une incidence sur le débit maximal possible sur une ligne donnée. Etant donné que la technologie RADSL permet d'utiliser le débit maximal disponible sur une ligne donnée, une grande partie des problèmes associés à la mise en œuvre de la technologie ADSL disparaît. Toutefois, à l'heure actuelle, les systèmes RADSL restent peu nombreux.

Figure 4.3 – Exemples d'installation de la technologie ADSL Lite



4.2 HDSL – Ligne d'abonné numérique à haut débit

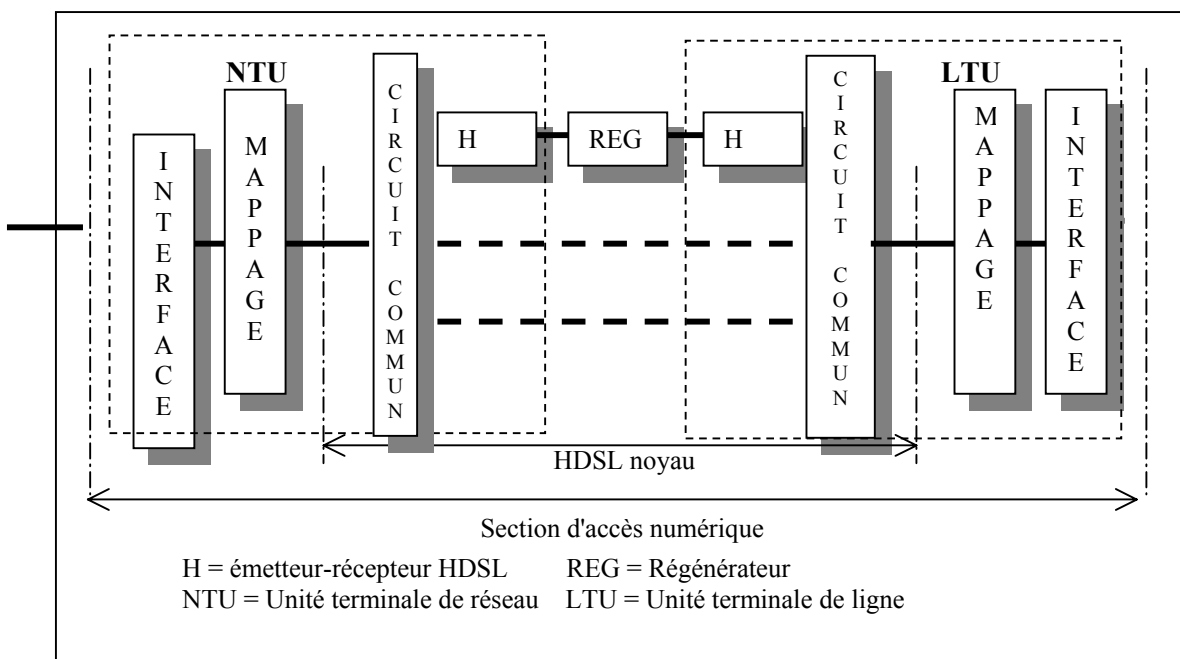
Technique DSL la plus largement mise en œuvre jusqu'à présent, la technologie HDSL est disponible commercialement depuis un certain nombre d'années. La technologie HDSL utilise deux ou trois paires de fils de cuivre torsadées. La plupart des mises en œuvre de la technologie HDSL sont caractérisées par une largeur de bande symétrique correspondant à 1,5 Mbit/s ou 2 Mbit/s jusqu'à 3 000 mètres du centre de commutation. Ces débits sont respectivement conformes aux normes T-1 et E-1; par conséquent, la principale application de la technologie HDSL à ce jour est la fourniture de lignes louées T-1 ou E-1 dans des régions où la densité des clients professionnels (par exemple parcs de bureaux) est très forte et où un centre de commutation est présent.

Les systèmes HDSL fonctionnent en plusieurs modes:

- Les systèmes HDSL 1,544 en mode double duplex fonctionnent sur deux paires de fils, chaque paire acheminant une capacité utile de 768 kbit/s et une voie d'exploitation incorporée (EOC) de 16 kbit/s dans les deux directions. Les systèmes HDSL 2,048 fonctionnent sur trois paires, chaque paire transmettant 784 kbit/s, ou sur deux paires, chaque paire transmettant alors 1 168 kbit/s.
- Les systèmes en mode simple duplex fonctionnent sur une seule paire, transmettant 2 320 kbit/s au moyen d'une transmission hybride avec suppression d'écho. Ce mode sera toutefois remplacé par la technique SHDSL.
- Les systèmes en mode double simplex utilisent deux paires, l'une acheminant la totalité de la charge utile dans un sens et l'autre paire l'acheminant dans l'autre sens. Du fait de la largeur de spectre nécessaire, la qualité de fonctionnement résultante est inférieure au mode de fonctionnement double duplex.

La transmission hybride avec suppression d'écho utilise normalement les codes en ligne 2B1Q.

Figure 4.4 – Configuration HDSL



La technologie HDSL est intéressante du point de vue des lignes T-1 et E-1 car elle permet de réduire fortement le coût de la fourniture classique de lignes T-1 ou E-1 par l'élimination du besoin de répéteurs, de conditionnement de boucle et de sélection de paire. La technologie HDSL bénéficie d'une mise en œuvre relativement large pour cette application et, dans une certaine mesure, a été responsable de la forte baisse du coût des lignes louées qui a eu lieu ces dernières années. Il est probable que la technologie SHDSL, qui n'a besoin que d'une seule paire de fils de cuivre pour la transmission, apparaîtra comme la meilleure solution.

4.3 SHDSL – Ligne numérique d'abonné à haut débit à une paire

Le service de ligne d'abonné numérique à haut débit à une paire (SHDSL, *single-pair high-speed digital subscriber line*) est utilisé pour le transport de données dans des réseaux d'accès de télécommunications. Les émetteurs-récepteurs SHDSL sont conçus principalement pour un fonctionnement en mode duplex sur des paires métalliques torsadées à deux fils et à calibre mixte. Un fonctionnement à quatre fils peut être pris en charge pour des applications à longue portée et des régénérateurs de signal facultatifs sont également définis aussi bien pour le fonctionnement à une paire de fils qu'à deux paires. Les émetteurs-récepteurs SHDSL sont capables de prendre en charge des débits de données utilisateur symétriques sélectionnés allant de 192 à 2304 kbit/s en utilisant un code en ligne TC-PAM (modulation d'amplitude à impulsions à codage en treillis) et ayant une portée de 1,8 à 6,5 km. Des débits fractionnés de $n \times 128$ kbit/s sont proposés pour des boucles plus longues, des environnements plus bruyants ou des exigences de service particuliers. Ils sont conçus de façon à être compatibles du point de vue du spectre avec d'autres technologies de transmission déployées sur le réseau d'accès, y compris d'autres technologies DSL. Les émetteurs-récepteurs SHDSL n'acceptent pas la technologie de fractionnement analogique pour la coexistence avec le service téléphonique ordinaire ou le réseau RNIS. Des exigences régionales, comprenant aussi bien des différences d'exploitation que des exigences de qualité de fonctionnement, ainsi que des exigences relatives aux régénérateurs de signaux sont formulées. La technologie SHDSL fournit la même bande passante vers l'amont que l'aval. La plupart des technologies en usage à l'heure actuelle pour la transmission sur des zones étendues sont de type symétrique (par exemple TDM, relais de trame, etc.). Par conséquent, la technologie SHDSL peut être utilisée comme mode de transmission sous-jacent des services et technologies de réseau traditionnels.

Le service en mode relais de trame ou une ligne louée pourrait alors être fourni sur une paire unique de fils téléphoniques et non sur plusieurs fils, voire sur un câble à fibres optiques. Ceci permet de réduire fortement le coût de fourniture des services existants pour cette demande d'applications aujourd'hui. Dans le cas du relais de trame, il est prévu que la demande va continuer à augmenter dans les années à venir.

La transmission symétrique liée à la technologie SHDSL est aussi optimale pour certaines nouvelles applications. Les applications isochrones (par exemple la visioconférence) ont les mêmes besoins en largeur de bande pour le trafic amont et pour le trafic aval. La technologie SHDSL est également bien adaptée dans le cas d'un modèle Internet d'homologue à homologue où les sites web sont très largement répartis (c'est-à-dire un site web dans chaque domicile). Toutefois, les tendances actuelles indiquent que, tandis que chacun peut avoir son propre site web, ces sites sont tous situés sur des serveurs centralisés, le modèle de trafic asymétrique est donc préservé. En ce qui concerne la visioconférence, elle a un dossier commercial très solide, mais il reste à voir si cette application deviendra une forme dominante de communication personnelle à court terme.

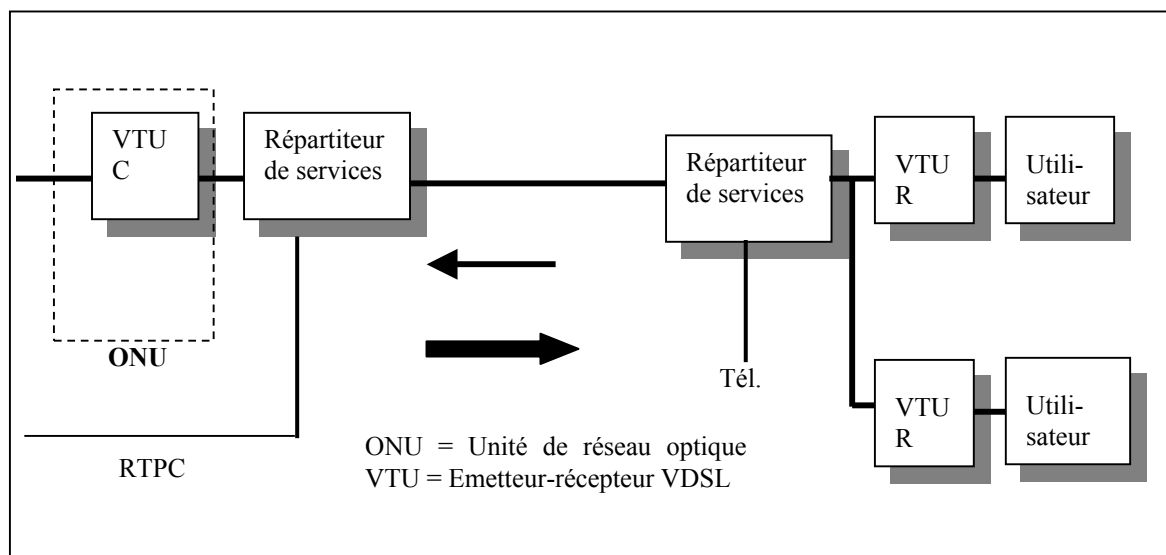
4.4 VDSL – Ligne d'abonné numérique à très haut débit

La technologie VDSL peut être utilisée sur un large éventail de débit de transmission allant de 2 Mbit/s à 51 Mbit/s sur des distances allant de quelques kilomètres à plusieurs centaines de mètres. VDSL est une technologie de transmission utilisable de façon asymétrique comme de façon symétrique. Toutefois, comparée à ADSL, la technologie VDSL est conçue pour des débits de transmission beaucoup plus élevés (de 30 à 51 Mbit/s) que la technologie ADSL sur des distances très courtes (300 à 1 500 m). C'est la raison pour laquelle la technologie VDSL est considérée par certains comme une technologie beaucoup plus futuriste que les autres technologies DSL, cette technologie ne devenant appropriée que lorsque les

applications commencent à exiger ce type de largeur de bande, dans le cadre de la mise en place d'une infrastructure fibre au point de concentration (FTTC). En outre, la limite contraignante concernant les distances ne permet à la technologie VDSL d'être mise en œuvre que dans des environnements très denses. Malgré ces inconvénients, il existe des situations dans lesquelles la mise en œuvre de la technologie VDSL pourrait être justifiée. Pour des environnements d'accès denses, par exemple dans le cas de grands bâtiments de bureau ou de parcs d'affaires pour lesquels un centre de commutation est généralement situé dans les locaux ou tout près des locaux, la technologie VDSL pourrait être utilisée en vue d'assurer un accès intégré moins coûteux ou une interconnexion de réseaux locaux à travers un réseau à large bande (par exemple réseau ATM, SONET ou SDH).

La technologie VDSL ne couvre que la liaison entre le point de sous-répartition et les locaux du client. Pour cette raison, elle exige une architecture fibre jusqu'au nœud avec une unité de réseau optique (ONU) implantée sur le réseau d'accès métallique (ou au niveau du central local ou du centre de commutation de desserte) pour le transport de données à large bande entre le central et le point de sous-répartition. Ce modèle d'architecture couvre à la fois les applications à longue et courte portée des connexions par fibre optique mettant en œuvre la technologie VDSL comme l'illustre la Figure 4.5.

Figure 4.5 – Configuration VDSL



4.5 RNIS

Le RNIS peut être utilisé pour les services DSL assurant, sur deux canaux B (2×64 kbit/s) et un canal D (16 kbit/s), une transmission en duplex intégral indépendante des séquences binaires. A la transmission de la charge utile 2B+D à 144 kbit/s s'ajoute celle des informations contenues dans les préfixes de synchronisation de bits, de synchronisation d'octets et de verrouillage de trame. D'autres informations contenues dans les préfixes (C) servent à l'activation, la désactivation, l'exploitation et la maintenance.

Le support de transmission est constitué de paires métalliques torsadées sans bobines de charge ainsi que des dérivations en attente en nombre limité. Pour la transmission, on utilise les méthodes suivantes: l'annulation d'écho (émission et réception simultanées) (ECH) et le multiplexage à compression

temporelle (MCT) (émission et réception alternées de systèmes DSL avec différents codes de ligne, différentes trames et différentes informations contenues dans les préfixes, les méthodes sont indiquées dans la Recommandation UIT-T G.961. La liste de ces codes de ligne figure ci-dessous:

- MMS43 Mappage du code d'état de monitoring modifié (*modified monitoring state code*) à 4 bits en 3 symboles ternaires (transmission ECH).
Débit de symbole = 120 kbaud, débit binaire = 160 kbit/s (C = 1 kbit/s).
- 2B1Q 2 bits sont acheminés par un symbole quaternaire (transmission ECH).
Débit de symbole = 80 kbaud, débit binaire = 160 kbit/s (C = 4 kbit/s).
- AMI Mode bipolaire alternant (*alternate mark inversion*), un «1» binaire est successivement représenté par un signal positif ou négatif (transmission TMC).
Débit de symbole = 320 kbaud, débit binaire = 150,8 kbit/s; (C = 3,2 kbit/s).
- SU32 3B2T de substitution, chaque triplet binaire est converti en un doublet ternaire (transmission ECH).
Débit de symbole = 108 kbaud, débit binaire = 432 kbit/s (C = 5,33 kbit/s).

5 Normes et Recommandations relatives aux technologies DSL

Comme c'est le cas pour de nombreuses technologies intéressant la couche physique, de très nombreux organismes de normalisation ont entrepris d'élaborer des recommandations et des normes relatives aux technologies DSL. Ces organismes, UIT-D, ANSI, ETSI, IETF, Forum ATM, Forum ADSL, TIA et DAVIC entre autres, établissent des spécifications d'interopérabilité qui couvrent les systèmes à large bande de bout en bout pour les utilisateurs privés. Le Forum ATM n'examine que le mode ATM sur l'ADSL, le SHDSL et le VDSL, tandis que les autres organismes, par exemple l'IETF, élaborent aussi des spécifications pour des systèmes d'extrémité en mode paquet/IP et en mode synchrone sur les bits sur ADSL et VDSL.

L'étude de la technologie DSL a commencé en 1993 quand le TIE1.4 de l'ANSI a utilisé la technologie DTM (tonalités multiples discrètes) comme support de la (des) norme(s) ADSL. Les travaux en coopération avec l'ETSI ont visé à répondre aux besoins spécifiques de l'Europe.

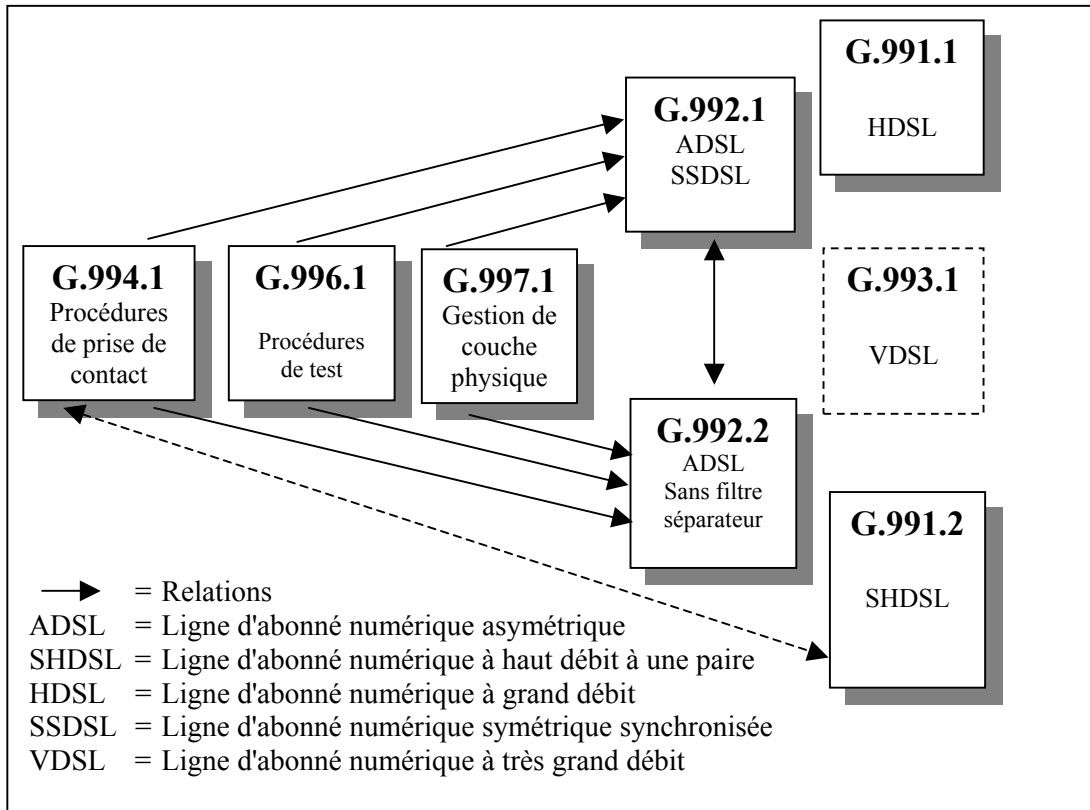
5.1 Recommandations de l'UIT

L'UIT-T, pour la période d'études 1996-2000, a assigné une nouvelle question à la Commission d'études (CE) 15 «Transport dans le réseau d'accès» [Q.4/15]. Cette question a pour objet d'établir une normalisation internationale des équipements de terminaison de circuits de données (ETCD) assurant des services d'accès numériques à haut débit y compris des procédures et schémas de modulation pour par exemple, la HDSL, l'ADSL et la VDSL. La CE 15 a commencé la partie principale des travaux sur les technologies DSL en 1997, tandis que la CE 13, qui a participé à l'élaboration d'un concept architectural plus large, désigné GII, a également envisagé des scénarios méthodologiques basés sur les technologies DSL.

En 1997, l'UIT-T a commencé à élaborer une série de Recommandations relatives aux systèmes DSL et, à l'heure actuelle (année 2001), plusieurs Recommandations ont été élaborées par la Commission d'études 15 relatives aux fonctions, à la gestion, aux procédures de prise de contact et aux procédures d'essais pour les systèmes ADSL, HDSL, SHDSL et VDSL. Un examen des Recommandations UIT-T relatives à la technologie DSL de la série G.99x donne une idée de la complexité des systèmes DSL, puisque la définition de ces systèmes couvre près de mille pages.

La Figure 5.1 illustre des relations entre les différentes Recommandations relatives aux technologies DSL.

Figure 5.1 – Recommandations relatives aux lignes DSL



Pour l'heure, sont prises en considération les Recommandations suivantes:

Figure 5.2 – Liste des Recommandations UIT relatives aux lignes DSL

- G.991.1 Emetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique à grand débit
- G.991.2 Emetteurs-récepteurs pour ligne d'abonné numérique à haute vitesse sur paire unique
- G.992.1 Emetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique asymétrique
- G.992.2 Emetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique asymétrique sans filtre séparateur
- G.993.1 Fondement des lignes d'abonné numérique à très grande vitesse
- G.994.1 Procédures de prise de contact pour émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique (DSL)
- G.995.1 Aperçu général des Recommandations relatives aux lignes d'abonné numérique (DSL)
- G.996.1 Procédures de test pour les émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique (DSL)
- G.997.1 Gestion de la couche Physique pour les émetteurs-récepteurs de lignes d'abonné numérique

La CE 13 a conçu, au titre du nouveau concept architectural de GII, plusieurs Recommandations générales, en particulier l'annexe A à Y.120 qui énonce divers scénarios fondés sur la technologie DSL. Des travaux visant à se conformer aux nouvelles prescriptions relatives aux réseaux d'accès sont en cours (voir le Groupe de travail 1 de la Commission d'étude 15 de l'UIT-T, Question 4/15) (<http://ties.itu.int/u/tsg15/sg15/wp1/94>).

Le présent ouvrage se propose d'expliquer les aspects techniques de DSL en faisant référence aux principales normes spécifiées par l'UIT-T et par d'autres instances appropriées. Il expose aussi les applications et les services relatifs à l'emploi des technologies DSL. A cet égard, le livre tient compte des perspectives techniques et économiques des technologies DSL. Il aurait été extrêmement intéressant d'y faire figurer une analyse de coût/utilité, mais il n'a pas été possible d'obtenir les données pertinentes nécessaires.

On trouvera à la Figure 5.2 et à l'Annexe 1 un aperçu général des normes UIT relatives aux lignes DSL et de leurs liens respectifs.

Les travaux de la CE 15 se limitent à des propositions de Recommandations relatives aux technologies ADSL et HDSL fondées respectivement sur les normes existantes ANSI T1.413 et ETSI ETR152 Edition 3 en faisant, le cas échéant, référence à celles-ci. En outre, les travaux relatifs à de nouvelles versions de ces Recommandations traiteront également des sujets suivants: 1) Prise en charge de protocoles de haut niveau et des interfaces associées telles que ATM, USB, Firewire, IP sur Ethernet, 2) Filtres séparateurs du service téléphonique ordinaire international/mondial, 3) Modélisation des réseaux et méthodes d'essai normalisées, 4) Compression de données, 5) Bases d'information de gestion (MIB) de réseau et, enfin, définition d'une interface qui pourrait être mise en œuvre en option.

5.2 ETSI

Depuis sa création, l'ETSI, l'Institut européen de normalisation des télécommunications, dont le siège se trouve en France, à Sophia Antipolis, s'occupe de spécifications et normes de transmission au sein du Comité technique TM. Depuis 1992, le TM3, puis ultérieurement le TM6, ont élaboré des spécifications pour les systèmes de transmission d'accès sur lignes métalliques.

Le TM6 a produit un ensemble de spécifications relatives à HDSL fonctionnant sur trois paires, deux paires et une seule paire avec ou sans transport simultané de RNIS. Ces normes sont partiellement incluses dans la Recommandation UIT-T G.991.1.

Pour la technologie ADSL, le TM6 a rédigé une annexe à la norme ANSI T1.413 qui décrit les exigences européennes. Cette annexe a été intégrée à la Recommandation G.991.2.

En ce qui concerne les technologies VDSL et SDSL, le TM6 a finalisé en mai 2000 les spécifications fonctionnelles et de transmission. Dès qu'elles auront été approuvées officiellement par l'ETSI, ces spécifications seront publiées et pourront faire l'objet d'une mise à jour dans le cadre d'un nouveau thème de travail. La coopération entre le T1E1.4 de l'ANSI et la CE 15 de l'UIT-T a été très étroite tout au long de ces travaux.

Enfin, le TM6 étudie la question de la gestion du spectre afin de définir la compatibilité de différents systèmes DSL qui peuvent être installés sur le même câble, éventuellement par des opérateurs différents.

Les spécifications techniques de l'ETSI de transmission et de multiplexage relatives à DSL sont les suivantes:

- RNIS accès de base: TS 102080

Integrated Services Digital Network (ISDN) basic rate access; Digital transmission system on metallic local lines (Accès au débit de base au réseau numérique à intégration de services (RNIS); système de transmission numérique sur lignes métalliques locales)

- HDSL: TS 101135
High bit-rate Digital Subscriber Line (HDSL) transmission systems on metallic local lines; HDSL core specification and applications for combined ISDN-BA and 2048 kbit/s transmission (Systèmes de transmission d'accès par lignes numérique d'abonné à haut débit sur lignes métalliques locales; spécification HDSL de base et applications aux transmissions RNIS-AB et à 2 048 kbit/s)
- SDSL: TS 101524
Access transmission system on metallic access cables; Symmetrical single pair high bit rate Digital Subscriber Line (SDSL); part 1: Functional Requirements, part 2. Transceiver Requirements (Systèmes de transmission par lignes d'abonné numériques à grand débit (HDSL) sur lignes métalliques locales; partie 1: spécifications fonctionnelles; partie 2: spécifications concernant l'émetteur-récepteur)
- ADSL: TS 101388
Access transmission system on metallic access cables; Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) – Coexistence of ADSL and ISDN-BA on the same pair. (Système de transmission d'accès sur lignes métalliques; ligne d'abonné numérique asymétrique (ADSL) – Coexistence de l'ADSL et du RNIS-AB sur la même paire)
- VDSL: TS 101270
Access transmission system on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL), part 1: Functional Requirements, part 2: Transceiver Specification. (Système de transmission d'accès sur lignes métalliques; ligne d'abonné numérique à très grand débit (VDSL); partie 1: spécifications fonctionnelles; partie 2: spécifications émetteur).

5.3 ANSI

Les travaux sur les normes DSL menés par le comité T1 des Etats-Unis ont produit les normes approuvées suivantes:

- T1.601 Ligne RNIS taux de base (point de départ de la Recommandation UIT G.961).
- T1.605 Interface RNIS T taux de base (point de départ de la Recommandation UIT G.960).
- T1.413 ADSL plein débit (point de départ de la Recommandation UIT G.992.1).
- T1.418 HDSL2 symétrique à 1,5 Mbit/s (point de départ de la Recommandation UIT G.shdsl).
- T1.419 Pointeur vers la Recommandation UIT G.992.2.

Travaux entrepris sur de nouvelles normes DSL:

- Le T1E1.4 a commencé en 1997 l'élaboration d'un projet de norme ANSI de gestion du spectre afin de proposer des spécifications techniques génériques pour les systèmes DSL qui pourront coexister en toute sécurité sur le même câble. La première version de cette norme conduira à une norme volontaire (en coordination avec le T1E1 et le TM6 de l'ETSI).
- VDSL (T1E1.4 avec l'UIT et le TM6 de l'ETSI).
- DSL symétrique (T1E1.4 avec l'UIT et le TM6 de l'ETSI).
- HDSL2 (T1E1.4).
- Microfiltre (T1E1.4).
- Filtres séparateurs de partage de lignes pour centre de commutation (T1E1.4).
- Essais de modem ADSL (TR30.3, T1E1.4).
- Voix sur DSL (DSL Forum, ATM Forum).
- Interopérabilité ADSL (DSL Forum).
- Qualité de fonctionnement ADSL améliorée (UIT, T1E1.4).

5.4 Le DSL Forum

Le DSL Forum est un consortium qui regroupe plus de 400 principaux acteurs du secteur (entreprises de télécommunication, d'informatique et de réseautique, équipementiers et fournisseurs de services). Constitué en 1994, le DSL Forum continue de prôner un marché DSL de masse, afin que les utilisateurs finaux du monde entier puissent disposer de cette technologie sur les infrastructures téléphoniques filaires existantes.

Pendant ses six années d'existence, le DSL Forum s'est efforcé de définir la technologie centrale à mesure qu'elle se développait, en soumettant des contributions aux organismes de normalisation internationaux et en définissant des procédures permettant d'obtenir une efficacité maximale dans la mise en œuvre et l'utilisation des technologies DSL. Les activités du Forum portent essentiellement sur l'ensemble des technologies DSL conçues pour offrir, en tout lieu, des services large bande sous des contextes très divers et des applications qui bouleverseront notre quotidien dans un monde en ligne.

Le DSL Forum, par l'intermédiaire des groupes de travail de ses comités techniques et de ses comités de marketing, est en mesure de suivre de façon rapide l'évolution des meilleures pratiques en matière d'autoconfiguration, de prestation continue et des autres moyens propres à faciliter la généralisation des technologies DSL adaptables. Pour cela, des réunions d'une semaine tous les trimestres sont organisées auxquelles des contributions sont présentées; de plus des programmes de travail échelonné donnant lieu à des rapports élaborés à partir de contributions et de «documents de travail» sont établis pour les groupes de travail. La liste actuelle (août 2001) de ces derniers est indiquée à la Figure 5.3 ci-dessous.

Figure 5.3 – Groupes de travail du Forum DSL

Groupes de travail techniques	Groupes de travail de marketing
Architecture & Transport	Ambassador Program
Autoconfiguration	Deployment Council
Emerging DSLs Study Group	Mindshare
Operations & Network Management	Summits and Best Practices
Testing & Interoperability	Tradeshows
VoDSL	Public Relations
	Web
	E-Commerce
	SHDSL

Le DSL qui compte plus de 400 membres a établi un Plan d'action prioritaire du DSL Forum visant à créer un marché mondial de masse, qui bénéficie d'un appui inégalé de tout le secteur concerné.

Les membres contribuent aux travaux du Forum par le développement des technologies et par leur mise à disposition effective. Ils participent aux travaux des groupes de travail techniques et de marketing, mettant en commun leurs connaissances, leurs expériences et leurs compétences afin d'adopter des protocoles, des processus et des recommandations qu'ils soumettent aux organismes de normalisation et aux organisations intéressées.

Les réunions du Forum favorisent le partage des connaissances et des meilleures pratiques afin que pour les services à large bande, les technologies DSL occupent dans le monde le tout premier rang.

Le Forum continue de définir des processus essentiels et éprouvés qui devraient accélérer la généralisation des technologies DSL à un prix abordable.

On trouvera de plus amples informations sur le DSL Forum (travaux, membres et programmes de réunion) sur le site www.dslforum.org.

5.5 Le DAVIC et l'ATM Forum

Constitué fin 1991, l'ATM Forum comprend deux groupes de travail sur les spécifications de la technique ADSL. Le Groupe de travail sur la couche physique (PHY) étudie toutes les sous-couches dépendantes du support physique (PMD) et sous-couches de convergence de transmission (TC) pour l'ATM. L'ATM Forum doit encore travailler sur les sous-couches PMD utilisant la technologie ADSL ou VDSL, mais il a déjà examiné des contributions sur des questions relatives à la sous-couche de convergence de transmission pour les technologies ADSL et VDSL. Les aspects de système de bout en bout relatifs à l'ATM sur ADSL et VDSL sont traités par le Groupe de travail sur les applications à large bande pour les utilisateurs privés. Ce Groupe se réunit conjointement avec le Groupe de travail sur la couche physique pour aborder les questions de couche physique ADSL et VDSL et il échange des notes de liaison avec pratiquement toutes les autres organisations mentionnées dans le présent paragraphe. Récemment, le Groupe de travail sur les applications à large bande pour les utilisateurs privés a demandé au Forum ADSL de participer à une session de travail mixte afin d'approfondir les travaux sur la spécification du Forum ADSL relative à l'ATM sur ADSL puis d'étudier plus en détail l'ATM sur VDSL.

DAVIC (*digital audio visual council*) envisage également de publier une spécification sur le mappage ATM ADSL dans le cadre de DAVIC 1.2. Cette spécification inclut la définition d'une couche de convergence de transmission pour l'ATM sur ADSL. La spécification de DAVIC fera si possible référence aux documents du Forum ADSL.

D'autres organismes travaillent sur des sujets connexes [IEEE P.1007, TIA TR41.5 (spécification d'une passerelle de réseau) et IEEE 802.14 (pour la technique VDSL)].

La Figure 5.1 représente le modèle de référence envisagé par l'ADSL Forum.

5.6 IETF

Le Groupe d'étude sur l'ingénierie Internet (*IETF, Internet Engineering Task Force*) est une grande communauté internationale ouverte, constituée de concepteurs de réseaux, d'opérateurs, de fournisseurs et de chercheurs qui s'intéressent à l'évolution de l'architecture de l'Internet, ainsi qu'à son bon fonctionnement.

Les activités techniques proprement dites de l'IETF s'effectuent dans le cadre de ses groupes de travail, organisés par domaines d'études thématiques; elles sont menées à bien dans une large mesure par un système de listes de diffusion et au moyen de trois réunions annuelles. Le groupe de travail ADSLMIB s'emploie à définir la base d'informations de gestion ADSL. Il devra en outre définir un ensemble d'objets de gestion permettant de gérer les systèmes VDSL et SHDSL conformément au protocole simple de gestion de réseau (SNMP).

6 Technologies DSL: aspects économiques

Plusieurs facteurs sont essentiels pour analyser les aspects économiques associés à la mise en œuvre des technologies DSL. En particulier, pour le marché des applications à large bande pour les utilisateurs privés, les arguments économiques en faveur de l'ADSL tiennent compte des éléments suivants:

- *Génération de nouvelles recettes.* Grâce à la fourniture de services à valeur ajoutée comme l'accès Internet et la vidéo à la demande. Etant donné que le marché du service téléphonique ordinaire s'érode, lorsqu'il existe une forte concurrence au niveau des prix et que la menace de la fourniture de services de remplacement comme la transmission de signaux vocaux sur Internet se profile de plus en

plus, la technologie ADSL permet aux fournisseurs de services de prendre le meilleur en offrant des services à large bande pour utilisateurs privés dont les prix sont plus élevés et les marges plus larges.

- Coûts de mise en place/mise à niveau de l'infrastructure.

La fourniture de services nécessite uniquement l'adjonction de deux modems ADSL par ligne d'abonné. L'utilisation de la paire torsadée en cuivre existante n'exige ni adaptateur de terminal ni logiciel client ou serveur spécial.

- Options de mise en œuvre progressive. On peut faire en sorte que chaque ligne d'abonné soit prête à utiliser la technologie ADSL indépendamment des autres lignes. La mise en œuvre de la technologie ADSL ne nécessite pas d'activer des groupes d'abonnés à un instant donné ni de mettre à niveau tout un commutateur.
- Facilité de migration. Si des services à plus haut débit sont nécessaires chez un abonné donné, l'équipement DSL à faible débit peut être remplacé par un équipement DSL à débit plus élevé (et peut-être une fibre plus longue). L'équipement DSL à faible débit remplacé peut alors être réutilisé chez un autre abonné.
- Amélioration des temps de fourniture des services. Certaines installations DSL sont fondamentalement «prêtes à fonctionner» (par exemple ADSL) et permettent d'obtenir ce type d'amélioration si on les compare à d'autres infrastructures servant de support à des services à large bande pour utilisateurs privés.
- Amélioration des «temps d'occupation» de réseau. Les appels Internet occupent les ressources de réseau pendant des heures. Le réseau permettant d'assurer le service téléphonique ordinaire, conçu au départ pour des appels vocaux ne durant que quelques minutes en moyenne, est de plus en plus taxé. Les technologies DSL permettent aux entreprises téléphoniques de libérer ces ressources par le réacheminement des appels DSL, au niveau du centre de commutation, vers un réseau de transmission de données auxiliaire à haut débit.
- Amélioration de l'utilisation des boucles et ports de commutation de réseau. Les travailleurs SOHO peuvent remplacer les deux, trois ou quatre lignes qu'ils utilisent (une pour les appels vocaux professionnels, appels de télécopie professionnels, appels Internet/Intranet et une pour les appels privés) par un service DSL sur une seule ligne.
- Intégration de services. Cette possibilité est autorisée par la mise en œuvre d'un nœud d'accès dans les locaux d'usager, contenant un dispositif d'accès intégré (IAD, *Integrated access device*) permettant d'assurer simultanément des services d'audiomessagerie de classe 5, des services téléphoniques par paquets et des services de données (via des accès LAN) sur une seule liaison de réseau étendu (WAN). Les dispositifs d'accès intégrés ont été créés pour répondre aux besoins des nouvelles compagnies locales et de différents fournisseurs de services confrontés au problème posé par le coût élevé de l'installation au même endroit du matériel et de la location de lignes auprès des compagnies locales de téléphone. Les dispositifs d'accès intégrés offrent une plate-forme commune permettant aux fournisseurs de services d'acheminer des signaux téléphoniques et des signaux de données sur un seul réseau d'accès, réduisant ainsi le coût du matériel co-implanté au central de la compagnie de téléphonie locale et leur permettant de louer un moins grand nombre de lignes de transport. En bref, les dispositifs d'accès intégrés autorisent un déploiement rentable de services de la prochaine génération conçus en fonction des besoins de plus en plus importants des petites et moyennes entreprises utilisant une seule liaison d'accès à haut débit.
- Service téléphonique sur DSL. Cette application est fondée sur le dispositif d'accès intégré et n'exige pas l'utilisation de séparateur. Ce service intéressera les petites et moyennes entreprises (PME), les grandes entreprises ainsi que les professions libérales et les télétravailleurs (SOHO) puisqu'il autorise des combinaisons de services plus complexes à un coût raisonnable.

Exemple de combinaison type de services:

- pour les petites et moyennes entreprises: 8 lignes téléphoniques, réseau local d'entreprise et vidéoconférence;

- pour les professions libérales et télétravailleurs: 2 lignes téléphoniques, une ligne de télécopie et une ligne d'accès à Internet à haut débit;
- pour les grandes entreprises: 4 lignes RNIS de télécopie et de téléphonie, réseau local d'entreprise et Internet.

Toutes ces combinaisons sont possibles sans installation de lignes métalliques supplémentaires et tout en limitant au minimum le nombre de composants les tâches nécessaires à la gestion du système. De plus, le service voix sur DSL pourrait constituer le catalyseur dont la technologie DSL a besoin pour s'implanter sur le marché de masse. La technologie voix sur DSL offre aux nouveaux opérateurs une possibilité de faire concurrence aux opérateurs historiques pour la fourniture de services téléphoniques, sans devoir renoncer à leur marge de profit ni mettre en cause la qualité de service.

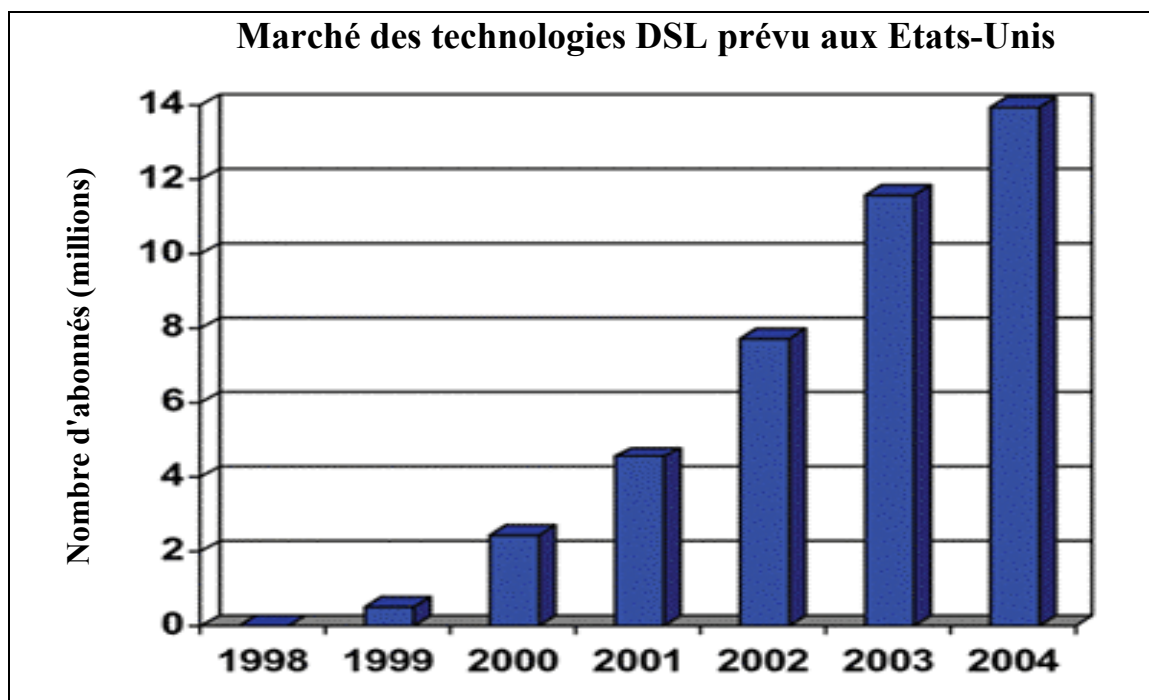
- *Utilisation efficace de la largeur de bande grâce au système SHDSL.* Le système SHDSL détourne la largeur de bande maximale hors de la boucle locale tout en assurant pratiquement le même débit amont et aval. Il a été établi que la portée du système SHDSL dépassait d'environ 20% celle des autres types de liaison DSL. Un nombre plus ou moins important de canaux téléphoniques peuvent coexister avec des canaux de données. Il est possible de modifier le nombre de canaux de données afin de s'adapter aux besoins du trafic.

Compte tenu des nombreux arguments économiques en faveur de ces technologies, nous observerons une forte demande du marché tant de la part des utilisateurs finals que des fournisseurs de services. Ainsi le marché des services DSL connaît une forte croissance à la fin du mois de mars 2001:

- environ 3 millions de lignes étaient en service aux Etats-Unis;
- environ 6 000 lignes étaient en service au Canada; et
- plus de 3 millions de lignes étaient installées en Corée;
- plus de 1,5 million de lignes étaient installées en Europe.

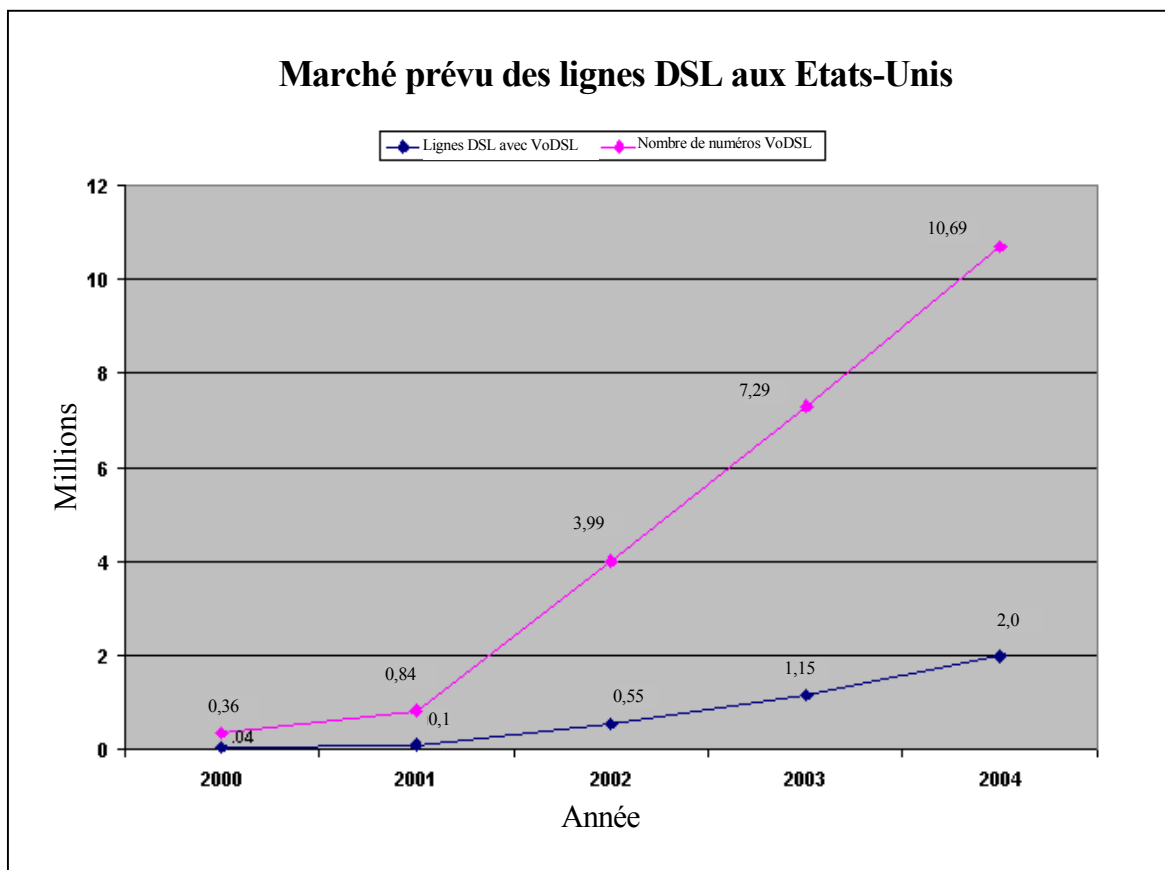
La Figure 6.1 donne une illustration du marché des services DSL aux Etats-Unis.

Figure 6.1 – Marché prévu des lignes DSL aux Etats-Unis



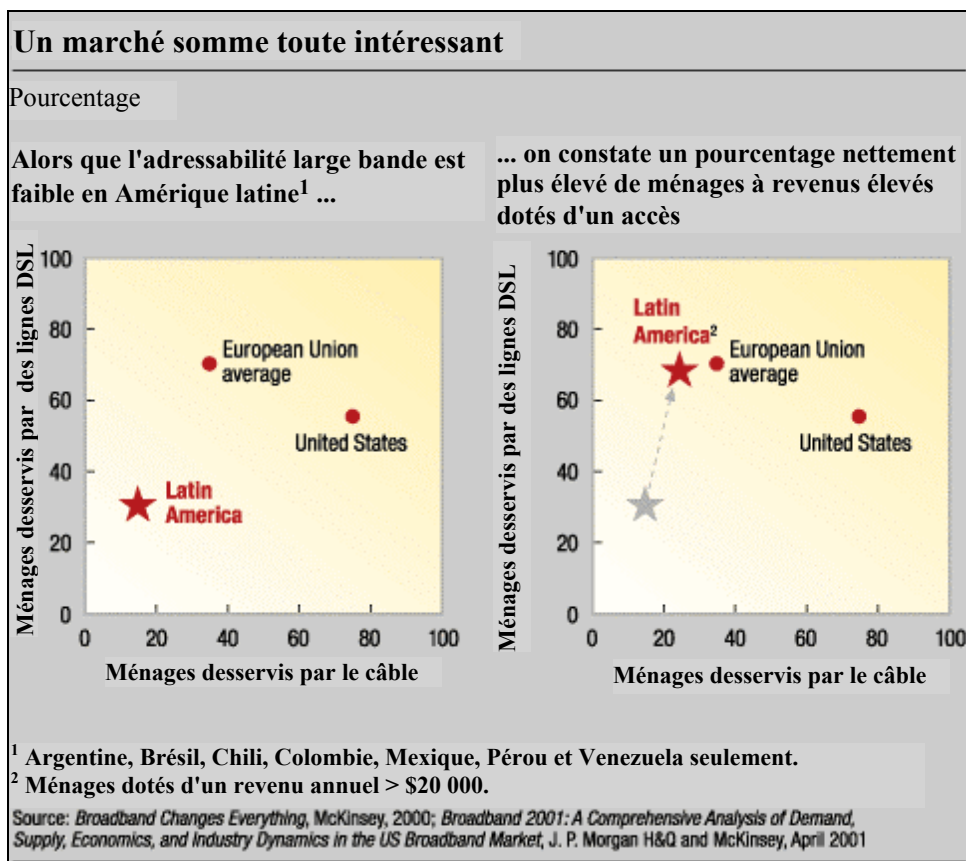
Les techniques de multiplexage permettent à chaque liaison voix sur DSL de desservir un certain nombre de lignes téléphoniques d'abonné. La Figure 6.2 représente l'évolution prévue du nombre de lignes de téléphone utilisant la technologie voix sur DSL.

Figure 6.2 – Marché prévu aux Etats-Unis pour le service téléphonique sur DSL



La Figure 6.3 indique le pourcentage de ménages desservis par des lignes DSL aux Etats-Unis, dans les pays de l'Union européenne et en Amérique latine (Argentine, Brésil, Chili, Colombie, Mexique, Pérou et Venezuela). Le diagramme de gauche représente la situation actuelle et le diagramme de droite l'évolution future éventuelle en ce qui concerne les ménages d'Amérique latine dotés d'un revenu d'au moins 20 000 USD.

Figure 6.3 – Ménages desservis par des lignes DSL



7 Services à large bande DSL

Les applications DSL peuvent grossièrement être classées en applications pour les utilisateurs privés et en applications pour les utilisateurs professionnels. Dans de nombreux cas, étant donné que le travail à domicile et le commerce en ligne sont de plus en plus répandus, la distinction entre utilisateur privé et utilisateur professionnel s'estompera peu à peu. Les chapitres ci-dessous donnent une description de services DSL types.

7.1 Accès Internet

Comme chacun le sait, l'apparition du World Wide Web s'est traduite par une croissance considérable de l'Internet au cours des deux dernières années. Toutefois, il reste à optimiser l'infrastructure de l'Internet pour pouvoir transférer les graphismes riches qui sont courants sur les sites web actuels. La majorité des clients qui accèdent au web utilisent le réseau téléphonique public commuté (RTPC), normalement, des modems à 56 kbit/s.

Outre les restrictions de largeur de bande liées à l'accès analogique, les commutateurs qui font partie du RTPC sont optimisés pour les connexions brèves qui caractérisent les appels téléphoniques et non pour les appels de plusieurs heures qui caractérisent les sessions d'accès à l'Internet. Ce problème conduit à de nombreuses difficultés au niveau du RTPC et le modèle de prix fixes et bas relatif à l'accès Internet pourrait alors être menacé.

Outre le fait que les technologies DSL permettent de multiplier la largeur de bande pour l'accès à l'Internet par un facteur de plus de cent, les fournisseurs de services considèrent ces techniques comme un moyen de garder le trafic Internet hors du RTPC. Il existe divers modèles de réseau mais l'idée est de faire en sorte que le trafic provenant de connexions DSL soit détourné au niveau de la boucle locale et transmis directement sur Internet. Les filtres séparateurs du service téléphonique ordinaire situés aux deux extrémités de la boucle locale laisseraient intact le service téléphonique normal.

Un autre aspect du web qui fait que les technologies DSL constituent des solutions d'accès intéressantes est la nature asymétrique des communications de données fondées sur le web. Dans la plupart des cas, le seul trafic amont que les utilisateurs envoient au fournisseur de services correspond aux localisateurs uniformes de ressources (URL), qui sont des messages de texte très brefs permettant à l'utilisateur de circuler d'une page à l'autre sur le web. La plus grande partie du trafic web circule en aval sous la forme de pages web contenant beaucoup de graphismes, de fichiers textes plus ou moins longs, de fichiers audio, voire de séquences vidéo téléchargés par l'utilisateur à partir de serveurs web. Il est manifeste que la répartition asymétrique de la largeur de bande associée à la technologie ADSL est optimale pour l'accès web.

7.2 Télévision/Vidéo à la demande (VOD)

La technologie ADSL était au départ conçue comme un moyen pour les entreprises téléphoniques de concurrencer les entreprises de transmission par câble par la fourniture de programmes de télévision et de services de vidéo à la demande aux utilisateurs privés sur les fils téléphoniques ordinaires. La vidéo à la demande, regroupée avec l'accès Internet, ne s'est pas révélée être l'application décisive que chacun espérait mais l'analyse du retour sur investissement semble beaucoup plus intéressante. En outre, la plupart des pays extérieurs à l'Amérique du Nord disposent d'infrastructures de réseau de télévision par câble très modestes. En utilisant la technologie ADSL pour fournir des programmes de télévision et des services de vidéo à la demande regroupés avec d'autres services, y compris l'accès Internet et le service téléphonique ordinaire, les PTT de nombreux pays peuvent devenir l'organisme qui regroupe les activités relatives aux communications et au contenu.

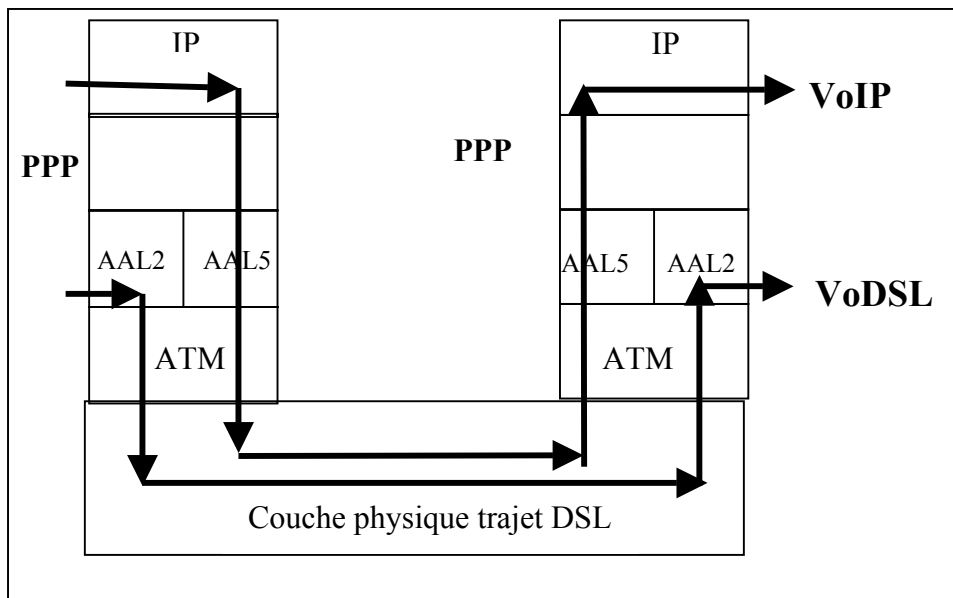
7.3 Service téléphonique sur DSL

Tel qu'indiqué à la Figure 7.1, le réseau d'accès permet l'acheminement de signaux téléphoniques:

- Service téléphonique ordinaire (POTS)
- Service téléphonique via ATM au moyen du protocole AAL2 (VoDSL)
- Service téléphonique sur Internet au moyen du protocole ATM AAL5 protocole du protocole, point to point (PPP), et du protocole Internet (VoIP).

A l'heure actuelle, la technologie VoDSL constitue apparemment la solution commercialement la plus éprouvée pour assurer la qualité de service prescrite. Toutefois le protocole Internet est une technologie qui évolue et qui sera donc en mesure à l'avenir de répondre aux besoins en matière de transmission de signaux vocaux.

Figure 7.1 – Méthodes de transport VoDSL



7.4 Fourniture de ligne louée

L'application la plus populaire à ce jour concernant les technologies DSL est peut-être celle qui vise à réduire fortement le coût de la fourniture de lignes louées T-1 ou E-1 du centre de commutation aux installations du client. La technologie HDSL a été utilisée pour cette application ces dernières années et cette utilisation a été un succès. L'année prochaine, il est prévu que la technologie SHDSL remplacera la technologie HDSL pour cette application étant donné qu'on peut parvenir à la même performance et aux mêmes caractéristiques de portée avec une seule paire de fils (SHDSL) qu'avec deux (HDSL).

Les technologies DSL, notamment la technologie SHDSL, permettront aussi aux fournisseurs de services autres que les entreprises téléphoniques (par exemple réseaux à valeur ajoutée, fournisseurs de services Internet et fournisseurs d'accès concurrentiels) de fournir eux-mêmes des lignes louées T-1 et E-1, étant donné qu'ils ont accès à la boucle locale. Si ces fournisseurs de services peuvent louer des lignes en cuivre «vacantes» depuis un centre de commutation donné d'une entreprise téléphonique jusqu'au client et louer un certain espace pour leur équipement de commutation au niveau du centre de commutation, alors l'utilisation d'une technologie DSL pourrait leur permettre de fournir des lignes louées T-1 et E-1 au client à un prix très bas. Il convient de noter qu'aux Etats-Unis, la législation sur la réforme des télécommunications qui a été récemment adoptée a été établie en vue de permettre aux fournisseurs de services autres que les entreprises téléphoniques d'accéder à la boucle locale et au centre de commutation.

7.5 Interconnexion de réseaux locaux

Dans l'environnement de réseau serveur-terminal existant, les besoins en largeur de bande pour les réseaux étendus sont modestes, seule la transmission de caractères entrés au clavier et de mises à jour textuelles à l'écran étant nécessaire. Toutefois, étant donné que les applications client/serveur continuent à être utilisées pour des tâches importantes de l'entreprise et qu'elles sont de plus en plus gourmandes en largeur de bande, les techniques à large bande rentables deviennent extrêmement intéressantes pour le raccordement de réseaux locaux à travers le réseau d'entreprise.

C'est la forte demande en solutions d'interconnexion de réseaux locaux qui a entraîné une croissance annuelle moyenne de plus de 100% du marché des services en mode relais de trame au cours des trois dernières années. Il est prévu que les technologies DSL croissent dans les mêmes proportions au cours des

prochaines années, cette croissance étant induite par la demande de raccordement de réseaux locaux à haut débit pour une fraction du coût des lignes louées. La technologie ADSL est certainement une technologie viable et, dans certains cas, très intéressante pour l'interconnexion de réseaux locaux, mais les technologies symétriques (SHDSL et SDSL par exemple) seront très populaires pour cette application au départ.

7.6 Fourniture du mode relais de trame

Dans de nombreux cas où une technologie DSL est utilisée pour raccorder des réseaux locaux, le relais de trame peut être utilisé comme mécanisme de transport afin de conserver intacte l'architecture de réseau en place, de maintenir les applications de gestion de réseau existantes et de faciliter la migration d'ensemble. Toutefois, la fourniture de services en mode relais de trame sur DSL a une applicabilité en elle-même pour des utilisations en dehors de l'interconnexion de réseaux locaux; par exemple, pour l'intégration du transport de données existant et du transport de signaux vocaux dans l'entreprise. Cette dernière application se révèle intéressante sur les marchés internationaux car les clients peuvent tirer parti des prix relativement indépendants de la distance qui caractérisent les offres utilisant le relais de trame. Essentiellement, toutes les applications qui sont disponibles en mode relais de trame sont disponibles lorsque le relais de trame a pour support une technologie DSL.

L'utilisation d'une technologie DSL comme mécanisme de transport sous-jacent présente les avantages suivants:

- Coût – étant donné que toute technologie DSL peut être mise en œuvre sur une ligne téléphonique existante, le coût d'une telle mise en œuvre est pratiquement dix fois moins élevé que le coût de la fourniture d'une ligne T-1 ou E-1 pour un accès en mode relais de trame.
- Augmentation de la largeur de bande – en ce moment, la très grande majorité des services en mode relais de trame ont des débits limités à T-1 ou E-1. Si la technologie ADSL était utilisée comme technique de transport, on pourrait, avec le relais de trame, atteindre des débits de 6 Mbit/s pour le trafic aval actuellement.

Ces avantages en matière de coûts et de largeur de bande peuvent permettre d'utiliser le relais de trame sur DSL dans des environnements ROBO, voire éventuellement SOHO.

7.7 Accès Intranet

Tandis que l'accès Internet constituera un marché déterminant pour l'évolution des technologies DSL, il est possible que l'accès Intranet soit plus important à court terme. Les Intranets sont des réseaux privés qui utilisent des composantes architecturales fondées sur le web (serveurs, navigateur, système de liens horizontaux, etc.) et des protocoles/langages du web (TCP/IP, HTML, Java, etc.) pour fournir des applications à l'échelle de l'entreprise. De nombreuses organisations s'orientent vers une architecture Intranet pour fusionner plusieurs applications, systèmes et plates-formes dans le cadre d'une même architecture de réseau. Toutefois, l'accès Intranet est aussi gourmand en largeur de bande que l'accès Internet, si ce n'est plus. Par conséquent, la technologie ADSL est idéale pour permettre aux organisations de raccorder des télétravailleurs à l'Intranet de l'entreprise à des débits similaires à ceux qui sont habituellement utilisés sur le réseau local d'entreprise. En outre, la technologie ADSL peut être utilisée pour fournir un accès Intranet bon marché et à haut débit aux bureaux virtuels/succursales, ce qui permet d'éviter des dépenses d'installation et de maintenance de serveurs web miroir sur le site de ces bureaux périphériques. Par ailleurs, la technologie ADSL peut permettre de fournir un accès Intranet à haut débit aux employés d'une entreprise lorsqu'ils travaillent à domicile.

8 Modèles de mise en place de réseaux utilisant les technologies DSL

Etant donné que les technologies DSL sont des techniques de transmission point à point fonctionnant principalement au niveau de la couche physique, elles peuvent prendre en charge divers protocoles de réseau. La plupart des fournisseurs de services se tournent vers les technologies DSL, et vers la

technologie ADSL en particulier, pour les utiliser comme composante technologique d'accès dans une architecture de réseau à large bande qui prendra en charge plusieurs services et applications. Selon l'intérêt du fournisseur de services considéré pour les aspects technologiques et stratégiques, les applications ou services fournis, le marché (utilisateurs professionnels ou utilisateurs privés) pour ces applications et services ainsi que la nature de cette nouvelle architecture à large bande peuvent varier dans une large mesure.

8.1 Éléments de réseau DSL

Les réseaux DSL contiennent des éléments réseau tels que:

Émetteur récepteur DSL

pour l'envoi et la réception de signaux de lignes modulés DSL.

Séparateur

pour séparer les signaux de lignes DSL et les signaux du service téléphonique traditionnel.

Routeur

dispositif de commutation d'un réseau à commutation par paquets qui dirige et commande le flux d'information à travers un réseau de données. Des configurations de hauteur sont utilisées par exemple pour relier des lignes DSL à un ordinateur personnel ou à un réseau local d'entreprise.

Passerelle vocale

assure la traduction du trafic vocal du réseau public à commutation de circuits vers le réseau de commutation par paquet et vice versa.

Multiplexeur d'accès DSL (DSLAM)

pour le multiplexage/démultiplexage statistique. Un multiplexeur DSLAM effectue un nombre minimum d'opérations de protocole, sans accomplir de fonction de commutation locale ou de routage, et se trouve situé normalement dans l'enceinte ou au voisinage des centraux téléphoniques. Des configurations DSLAM types permettent de concentrer de 200 à 500 lignes ADSL en un signal à 34 Mbit/s transmis en mode ATM. Des configurations DSLAM récemment mises au point peuvent comporter des fonctions supplémentaires à l'origine de la notion de dispositifs d'accès intégrés.

Dispositif d'accès intégré (IAD, Integrated access device)

ces dispositifs contiennent des fonctionnalités DSLAM tout en assurant des fonctions supplémentaires telles que:

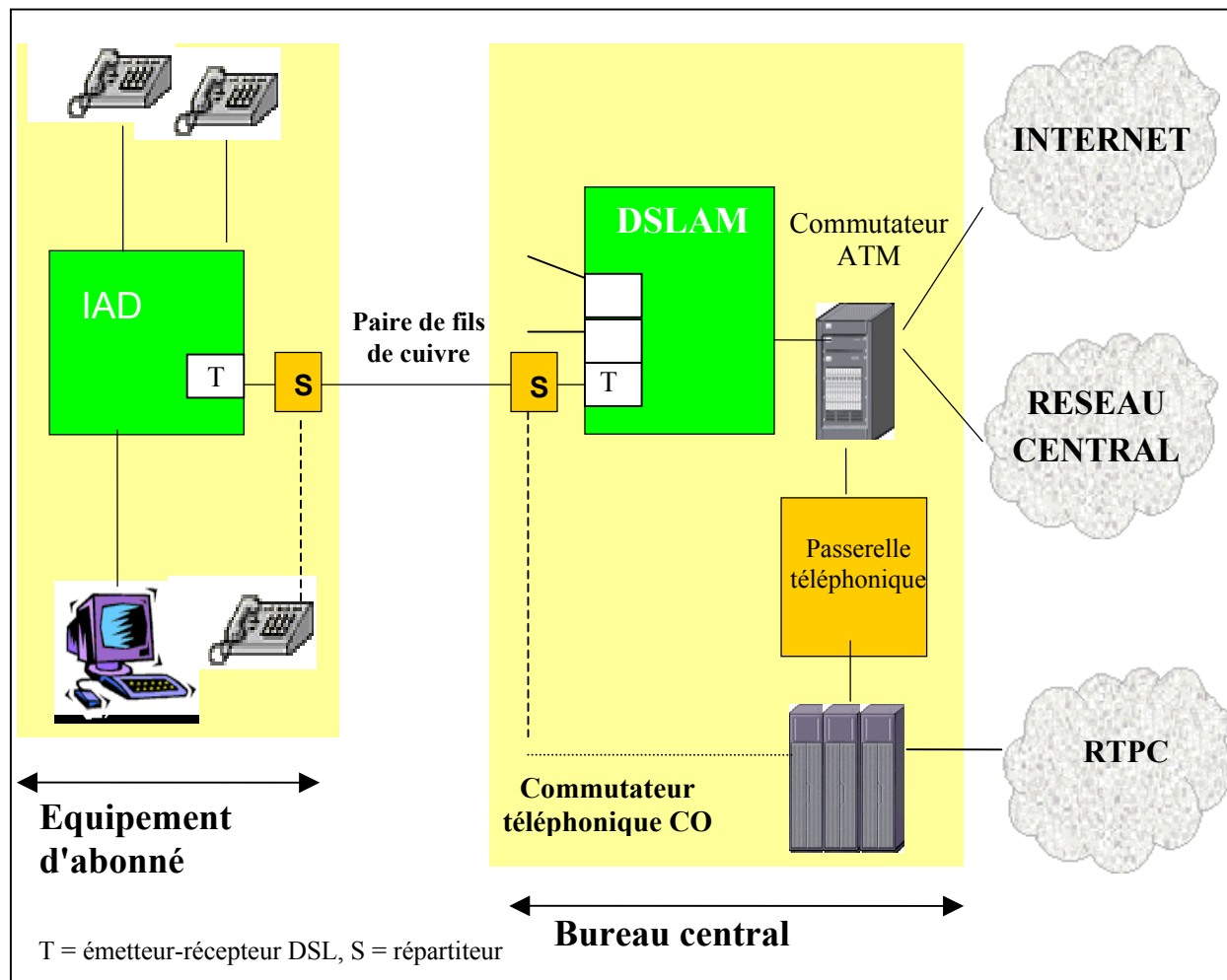
conversion analogique/numérique, commutation et routage, contrôle de la qualité de service des liaisons téléphoniques de données et RNIS, raccordement à l'Internet d'ordinateurs personnels et de réseaux locaux d'entreprise, attribution dynamique de largeur de bande, annulation d'écho et compression, fonctions coupe-feu, différentes possibilités d'interfaces (avec et sans fil) et possibilité de gestion à distance. Des configurations de dispositif d'accès intégré sont conçues spécifiquement pour différents systèmes DSL, par exemple pour les systèmes ADSL et SHDSL.

La Figure 8.1 représente un exemple d'architecture de réseau DSL. Les équipements locaux d'abonné se composent de téléphones analogiques, d'ordinateurs personnels, de séparateurs et de dispositifs d'accès intégrés. Le central téléphonique comprend un multiplexeur DSLAM, un séparateur, un commutateur ATM, un commutateur vocal et une passerelle vocale. Puisque l'équipement local d'abonné et le matériel du central peuvent provenir de différents fournisseurs, l'interopérabilité est devenue une préoccupation importante. Deux types d'interopérabilité sont actuellement à l'étude:

entre le dispositif d'accès intégré et la passerelle vocale; et

entre les puces électroniques du dispositif d'accès intégré et du multiplexeur DSLAM.

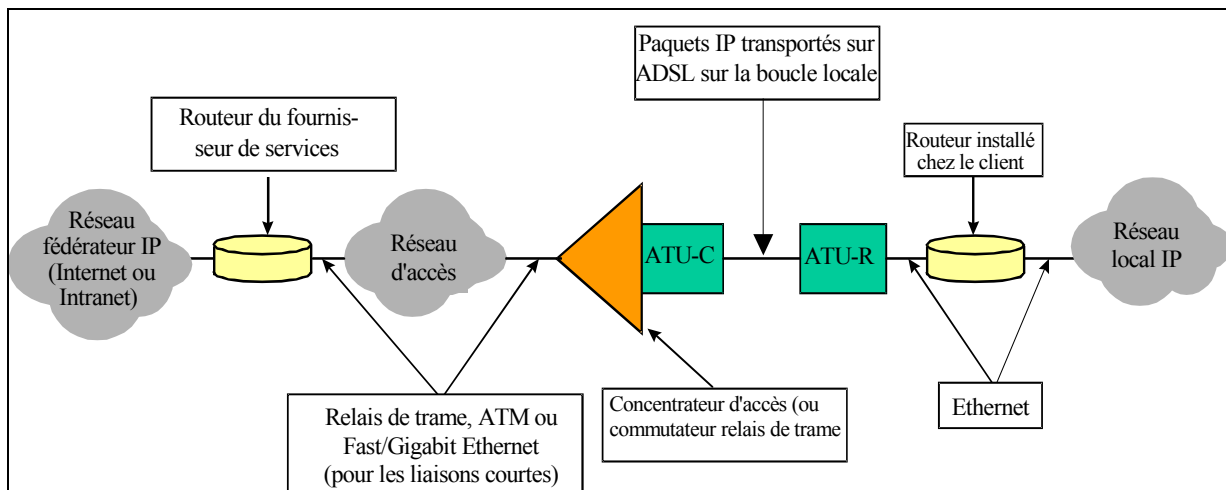
Figure 8.1 – Exemple d'architecture de réseau DSL



Il est important de comprendre qu'à cette étape, il n'y a pas vraiment de consensus en ce qui concerne l'architecture ou le modèle de réseau qui est le plus adapté pour la prise en charge d'une technique DSL comme technique d'accès et qu'il existe plusieurs versions des modèles fondamentaux présentés ici.

8.2 Modèle IP

Figure 8.2 – Modèle IP



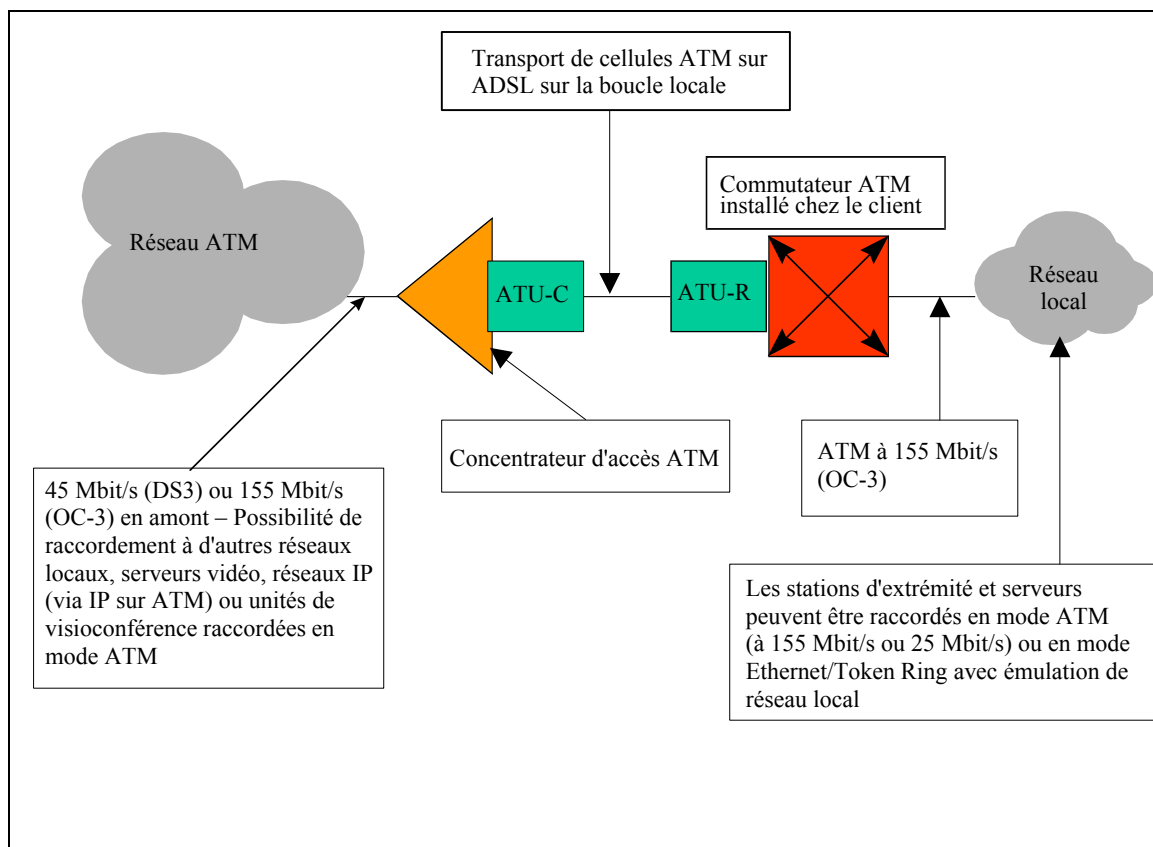
Utiliser la technologie ADSL comme mécanisme de transport pour le trafic IP est le choix qui s'impose pour les applications de type accès à l'Internet mais le modèle décrit ici n'est qu'un exemple: il existe de nombreuses versions possibles. En outre, le modèle IP peut aussi servir pour d'autres applications (accès Intranet, interconnexion de réseaux locaux, etc.).

Tandis que plusieurs protocoles intermédiaires (relais de trame, ATM, etc.) pourraient être utilisés entre IP et ADSL, le Forum ADSL a aussi spécifié le transport direct de paquets IP sur ADSL, c'est-à-dire sans protocole intermédiaire. On peut considérer ce scénario comme similaire à la mise en œuvre directe de IP sur un mécanisme de transport de couche physique (SONET par exemple). Dans ce cas, il faudrait un routeur ou un dispositif avec routage intégré au niveau du centre de commutation, et non pas un commutateur ou concentrateur d'accès fonctionnant uniquement au niveau de la deuxième couche.

La Figure 8.2 ci-dessus représente une application pour utilisateurs professionnels. Bien entendu, le protocole IP peut aussi être utilisé dans le cas d'applications pour utilisateurs privés. Dans ce cas, un ordinateur personnel ou peut-être un téléviseur Internet est situé du côté unité ATU-R de la ligne ADSL (l'unité ATU-R peut résider dans le bus du PC ou être raccordée au PC via Ethernet) et l'accès au réseau IP est établi via un protocole PPP (protocole point à point) sur la connexion ADSL.

8.3 Modèle ATM de bout en bout

Figure 8.3 – Modèle ATM



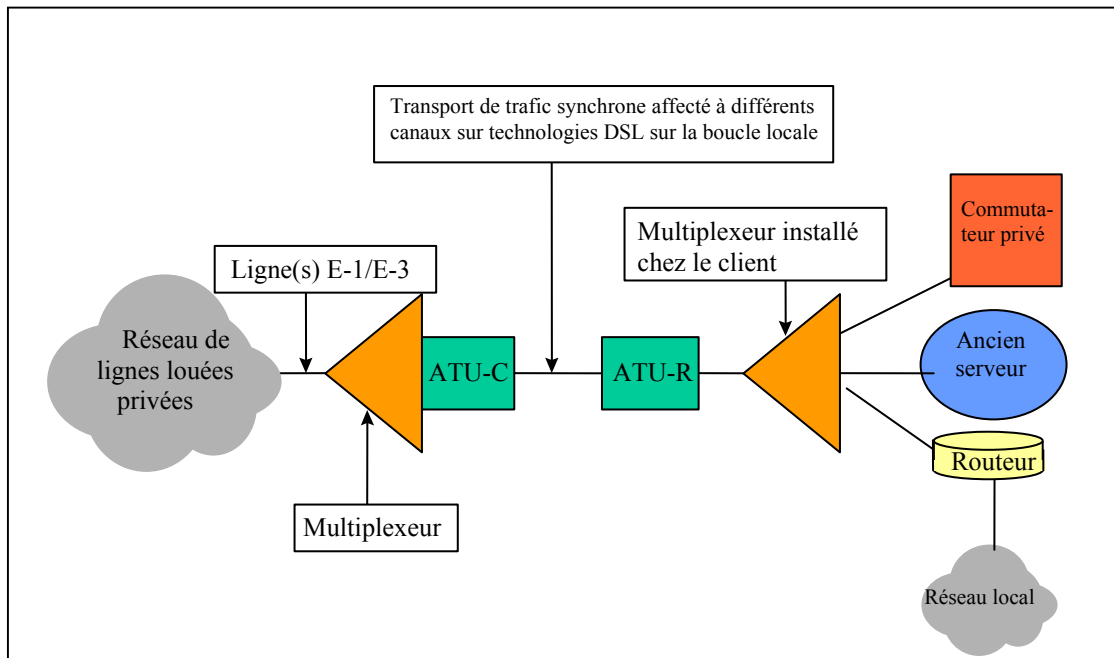
Etant donné que la technologie ADSL permet de fournir une connexion spécialisée à débit relativement élevé, elle peut aussi être utilisée pour étendre le réseau ATM et, par conséquent, offrir les caractéristiques de qualité de service de l'ATM sur tout le trajet jusqu'au poste de bureau. Le Forum ADSL a spécifié la manière dont les cellules ATM sont transportées sur ADSL, essentiellement l'interface utilisateur-réseau (UNI) ATM reliée à la ligne ADSL.

Avec des applications de bureau communiquant directement avec le réseau ATM, la largeur de bande peut être réservée (et garantie) de bout en bout dans le réseau. Ceci facilite la mise en œuvre d'applications isochrones, pour lesquelles les délais constituent un facteur essentiel (transmission de signaux vocaux, visioconférence, etc.). Le système d'exploitation Windows 98 inclura une interface API, Winsock 2, qui permettra aux applications de demander la qualité de service du réseau ATM.

Toutefois, l'ATM, et notamment l'ATM à des débits inférieurs à 25 Mbit/s, nécessite un préfixe relativement long et, par conséquent, n'est peut-être pas justifié pour de nombreuses applications qui n'ont pas d'exigences de qualité de service strictes ou qui peuvent fonctionner avec les services à qualité non garantie offerts par des protocoles comme le protocole RSVP (protocole de réservation). En outre, de nombreuses organisations de grande envergure qui nécessiteraient un service ATM feraient peut-être mieux d'utiliser un service ATM à 34/45 Mbit/s (DS-3) ou à 140/155 Mbit/s (OC-3) fonctionnant sur fibre plutôt que d'envisager de transporter des cellules ATM sur plusieurs lignes ADSL. Enfin, dans la mesure où des organisations sont intéressées par le service ATM pour des applications d'homologue à homologue (par exemple visioconférence), la répartition asymétrique de la largeur de bande qui caractérise la technologie ADSL ne serait pas optimale. La Figure 8.3 représente un modèle ATM de bout en bout.

8.4 Modèle avec commutation de circuit

Figure 8.4 – Modèle avec commutation de circuit



Comme nous l'avons déjà mentionné, on peut simplement utiliser les technologies DSL pour réduire considérablement le coût de la fourniture de lignes louées. Les technologies DSL peuvent alors être intégrées doucement dans les architectures de réseau existantes qui sont fondées sur des lignes louées privées utilisant la technique du multiplexage par répartition dans le temps (MRT) (voir la Figure 8.4).

9 Les technologies DSL et l'Infrastructure mondiale de l'information (GII)

L'Infrastructure mondiale de l'information (GII) est un concept architectural émanant de la CE 13 de l'UIT-T et qui vise à permettre aux utilisateurs de disposer d'un ensemble de services de communication assurant une multitude d'applications et englobant tous les modes d'information, à tout moment et n'importe où, à un coût et un niveau de qualité acceptables. La mise en œuvre de la GII implique la connexion de plusieurs composants mis en œuvre, à savoir:

Equipements infotiques – équipements qui permettent aux utilisateurs d'accéder à la GII et/ou qui peuvent monter, appeler et traiter des modules logiciels y compris ceux qui sont des bases de données et des vidéothèques. Exemples: PC, Set Top Boxes (STB), ordinateur de réseau, miniordinateurs et ordinateurs centraux, serveurs de fichiers et vidéo, processeurs de transactions, et d'une manière plus limitée, le téléphone, la télévision et le télécopieur.

Modules logiciels standard personnalisés – modules logiciels qui contiennent des fonctions de logiciel standard personnalisé. Ces modules fonctionnent sur des appareils d'information, des modules de logiciel d'application – modules de logiciel qui contiennent des fonctions d'application. Les modules de logiciel d'application fonctionnent sur des appareils d'information.

Sections de réseaux de télécommunication – sections du réseau de télécommunication qui relient des appareils d'information et permettent des fonctions de logiciel standard personnalisé et des fonctions d'applications qui sont montées sur différents appareils d'information pour des communications mutuelles. Ces sections comprennent des sections d'accès, des sections centrales, des sections de service amélioré et des sections de gestion.

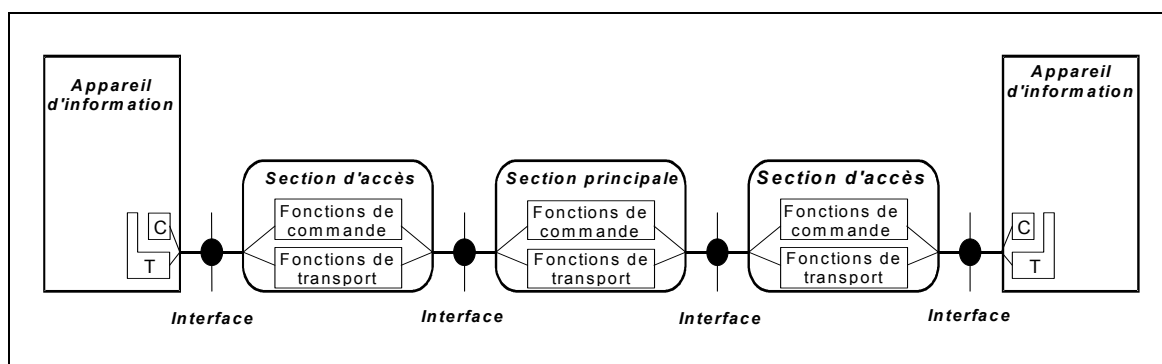
Chacune de ces sections fait partie du module de mise en œuvre et est interconnectée avec des interfaces. Les interfaces entre appareils d'information et section d'accès du réseau de télécommunication sont des interfaces physiques de télécommunication, comme celles qui se trouvent entre sections d'accès et sections principales. Leur spécification découle du processus illustré par la Figure 9.1 auquel on ajoute l'information d'interface physique. Par exemple, dans l'interface entre un appareil d'information et une section d'accès, l'information d'interface logique entre les fonctions du logiciel de base de l'appareil d'information et celles de la section d'accès se combinent pour former la spécification d'interface de base, et on y ajoute aussi les aspects de l'interface physique.

Les autres interfaces sont, soit des interfaces de programmation internes des appareils d'information, soit des protocoles qui sont transparents à travers les réseaux de télécommunication. Ces interfaces de mise en œuvre ne sont donc pas des interfaces physiques et leur spécification peut être obtenue directement des interfaces logiques du modèle fonctionnel par le processus décrit à la Figure 9.1.

La nature des appareils d'information, des modules de logiciel standard personnalisé et des modules de logiciel d'application fera l'objet d'une étude ultérieure. Les paragraphes ci-après décrivent les aspects des sections des réseaux de télécommunication dans la GII.

La Figure 9.1 montre deux appareils d'information connectés par un réseau de télécommunication avec trois sections, deux sections d'accès et une section principale. Les appareils d'information, les sections d'accès et la section principale dépendent de la technologie et de la mise en œuvre, mais la fourniture d'un service donné exigera que certaines fonctions GII soient mises en place dans chacune de ces sections.

Figure 9.1 – Appareils d'information reliés par des sections du réseau de télécommunication



C = fonctions de commande, T = fonctions de transport

9.1 Structuration des possibilités de mise en œuvre

Pour chacune des sections génériques énumérées, il existe un grand nombre de mises en œuvre possibles et de nombreuses interfaces peuvent être utilisées pour les interconnecter. Voici la liste de quelques possibilités actuelles.

Exemples d'équipements infotiques:

- Ordinateur personnel (PC)
- Set top box (STB)
- Ordinateur de réseau
- Mini-ordinateur
- Ordinateur central
- Serveur de fichiers/vidéo
- Processeur de transaction (par exemple, SCP)
- Téléphone
- Télévision
- Télécopieur

Exemples de sections d'accès:

- Réseau d'accès en fils de cuivre RTPC/RNIS
- Réseau d'accès en fils de cuivre DSL
- Réseau de télévision câblée
- Réseau d'accès direct en fibre
- Réseau optique passif
- Réseau d'accès avec élément radioélectrique dans la boucle (RITL)
- Réseau d'accès mobile numérique (par exemple, GSM)
- Réseau de télévision de Terre
- Réseau de radiodiffusion directe à satellite
- Réseaux d'accès à satellite géostationnaire (par exemple, Inmarsat)
- Réseaux d'accès à satellite sur orbite moyenne ou basse

Exemples de sections principales:

- Réseau principal RTPC/RNIS
- Réseau principal RPDC\$
- Réseau de transmission par paquets X.25
- Réseau à relais de trame
- Réseau SMDS
- Réseau RNIS-LB
- Réseau de lignes louées
- Internet

Exemples d'équipements infotiques pour les interfaces aux sections d'accès:

- Interface de RTPC
- Interface RNIS au débit de base et au débit primaire
- Interfaces Ethernet
- Interface à anneau à jeton
- Interfaces RNIS-LB
- Interface radioélectrique de radiodiffusion vidéonumérique par satellite
- Interface radioélectrique de mobile GSM
- Interface radioélectrique de réseau d'accès à satellite géostationnaire
- Interface radioélectrique de réseau à satellite sur orbite moyenne ou basse

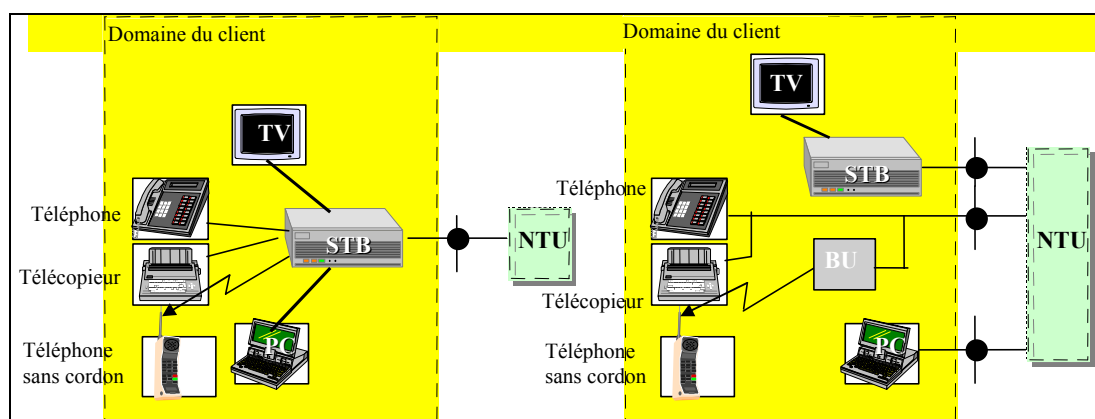
On a choisi ci-après quelques exemples pour montrer comment les exemples de mise en œuvre peuvent être construits sur la base de ces sections. Ces exemples sont principalement axés sur l'appareil d'information, la section d'accès et l'interface entre ces deux éléments.

9.2 Configurations d'appareil d'information

La configuration décrite à la Figure 9.2 concerne les appareils d'information d'un utilisateur final dans un environnement résidentiel. Elle se compose d'un téléphone analogique fixe, d'un téléphone sans cordon, d'un télécopieur, d'un PC et d'un STB connectés à une télévision analogique. Les applications sont censées nécessiter des capacités GII, à savoir la téléphonie, le transport de données et des possibilités multimédias interactives.

Les deux solutions suivantes montrent comment un tel utilisateur final pourrait configurer ses appareils d'information pour les connecter à une section d'accès (terminée par un appareil terminal sur réseau (NTU) dans ces exemples). Dans le premier exemple, tous les appareils d'information sont connectés à la section d'accès par l'intermédiaire du STB. Dans le second, il existe des interfaces distinctes pour le téléphone/télécopieur, le PC et STB/TV.

Figure 9.2 – Exemples d'appareils d'information d'un utilisateur final résidentiel



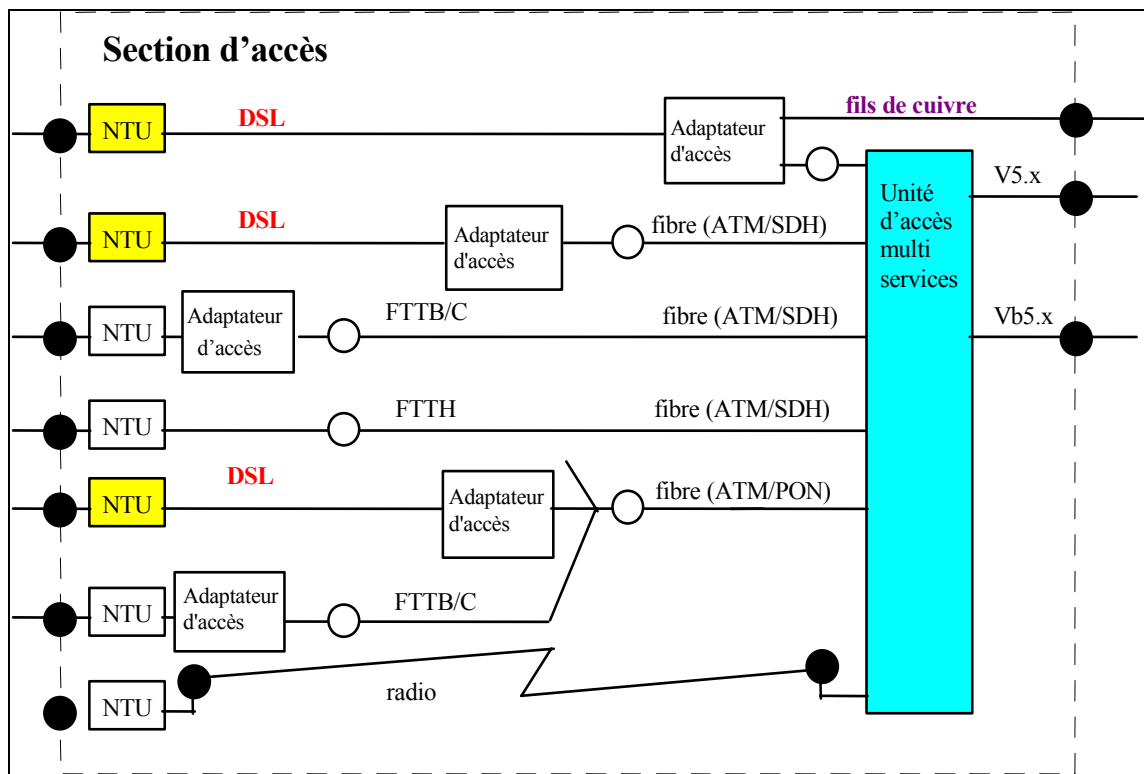
L'unité de terminaison de réseau (NTU) fait partie de la section d'accès et selon la mise en œuvre du réseau les appareils d'information de l'utilisateur peuvent être desservis via une ou plusieurs sections d'accès. Dans l'exemple ci-dessus, la télévision pourrait être connectée via un réseau de télévision câblée, tandis que le téléphone, le télécopieur et le PC pourraient l'être via un accès 2B+D du RNIS. En pareil cas, il n'y aurait pas de canal retour dans le réseau de télévision câblée, de sorte que l'interactivité serait assurée par l'accès RNIS.

9.3 Configurations de la section d'accès

Il existe un grand nombre de configurations possibles de la section d'accès, qui dépendront beaucoup de la technologie utilisée, celle-ci étant essentiellement dictée par les médias physiques. Cela pourrait être une paire en fils de cuivre, une fibre, des radiocommunications de Terre ou par satellite. Si de nombreuses sections d'accès sont réalisées avec un seul média physique, d'autres sections d'accès utiliseront une combinaison de ces médias.

Une section d'accès au réseau fixe est construite surtout avec des paires de cuivre et un mélange de fils de cuivre et de fibre. Néanmoins, dans certaines zones, un élément radioélectrique dans la boucle pourrait être utilisé. La configuration d'une telle section d'accès est présentée sur la Figure 9.3.

Figure 9.3 – Une configuration de la section d'accès au réseau fixe



9.4 Méthodologies de scénarios GII (modèles de référence Y.120)

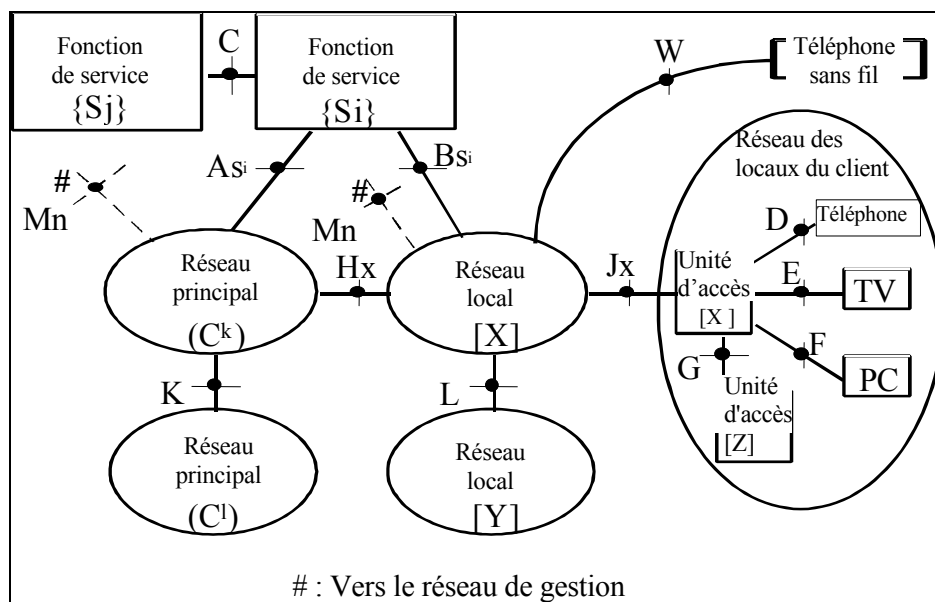
Conformément aux dispositions de l'Infrastructure mondiale de l'information (GII) conçue par l'UIT-T, la méthodologie des scénarios est décrite ici afin :

- de faciliter l'identification des principaux points d'interface dans le scénario;
- de faciliter la classification des interfaces au moyen d'un schéma taxinomique approprié;
- de faciliter l'identification des services qui peuvent être véhiculés à travers ces interfaces;
- de faciliter la classification des services au moyen d'un schéma taxinomique approprié;
- de faciliter l'identification des points terminaux pour la fourniture du service;
- de faciliter la recherche de l'interaction de toutes les composantes;
- de permettre l'utilisation des protocoles en cause, directement ou indirectement, à une interface donnée;
- d'être suffisamment générique pour faciliter la réalisation du scénario avec toutes les technologies et dans tous les domaines des organismes de spécification de normes.

La technique du scénario est également applicable aux besoins des applications ainsi qu'à ceux du réseau. Une interface intervient entre tout point où deux éléments ont besoin de communiquer.

Les besoins de l'application peuvent être inclus dans les scénarios. Ceux-ci sont avant tout axés sur la fourniture de services vocaux, de données et vidéo. Des exemples de scénarios adaptés à d'autres besoins des applications, comme le traitement transactionnel, le traitement réparti, la prise d'images, etc., devront être de même mis au point.

**Figure 9.4 – Modèle de référence générique de la GII
(Méthodologie des scénarios selon l'annexe à Y.120)**



Composants:

- Fonction de service: par exemple, serveur vidéo et prestataire de service vidéo pour service vidéo, et routeur IP et point de présence pour service Internet
- Réseau principal: par exemple, réseau de télécommunication, RTPC, RNIS à bande étroite, RNIS-LB
- Réseau local: par exemple, réseau de télévision sur antenne communautaire, ADSL/VDSL, réseau en fibre, RITL, satellite et y compris les réseaux d'accès décrits dans le corps de la recommandation
- CPN (réseau des locaux du client): comme Unité d'accès, TV, PC, téléphone, téléphone sans fil:
 - { S_i, S_j^* } signifie le type de services
 - (C_k, C_l^*) signifie la technologie du réseau principal
 - [X, Y^*] signifie la technologie du réseau local (technologie d'accès)

Points d'interface:

- As: entre la fonction de service et le réseau principal (s: type de service)
- Bs: entre la fonction de service et le réseau local (s: type de service)
- C: entre fonctions de service
- W: interface du terminal pour le téléphone sans fil
- D: interface du terminal pour le téléphone
- E: interface du terminal pour la télévision
- F: interface du terminal pour le PC
- G: entre unités d'accès
- Hx: entre réseau principal et réseau local (x: type de technologie d'accès)
- Jx: entre réseau local et CPN (x: type de technologie d'accès)
- K: entre réseaux principaux

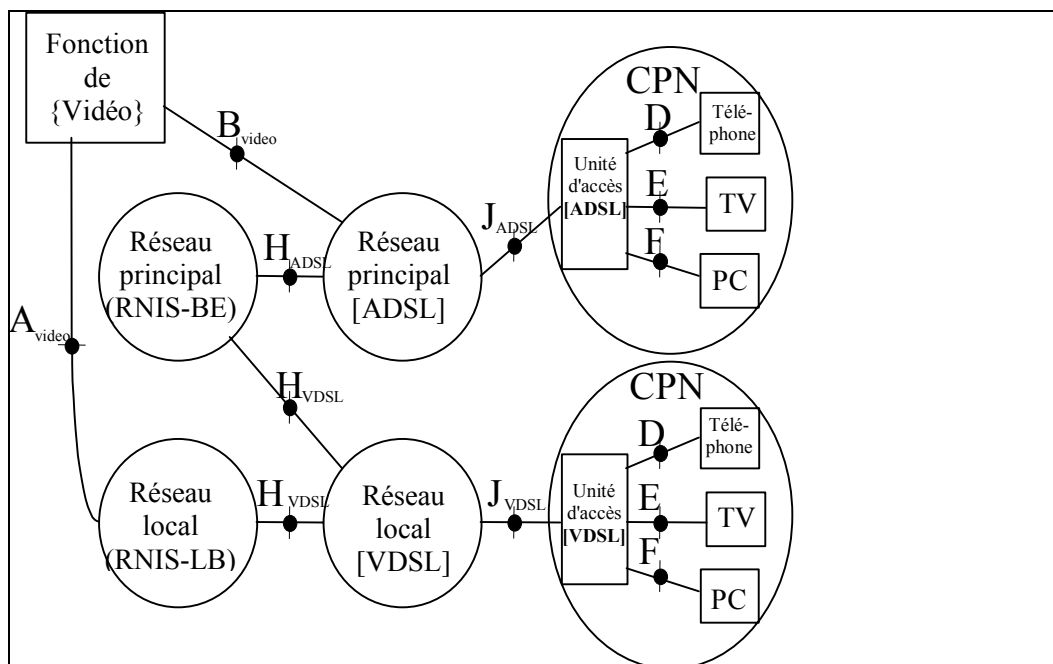
- L: entre réseaux locaux
- Mn: entre réseau principal/local et réseau de gestion (n: type de réseau)

Scénarios:

- 1) Fourniture d'un service vocal/vidéo/données sur l'infrastructure existante
- 2) Fourniture de services vocaux/données/vidéo sur réseaux en câble utilisant le RNIS-LB
- 3) Utilisation d'ADSL ou de VDSL pour fournir la largeur de bande vidéo sur des paires en fils de cuivre
- 4) Scénario d'accès en fibre
- 5) Utilisation d'un élément radioélectrique dans la boucle locale
- 6) Accès assuré par satellite
- 7) Exemple d'accès à l'Internet.

9.4.1 Voix/Données/Vidéo sur paires de cuivre

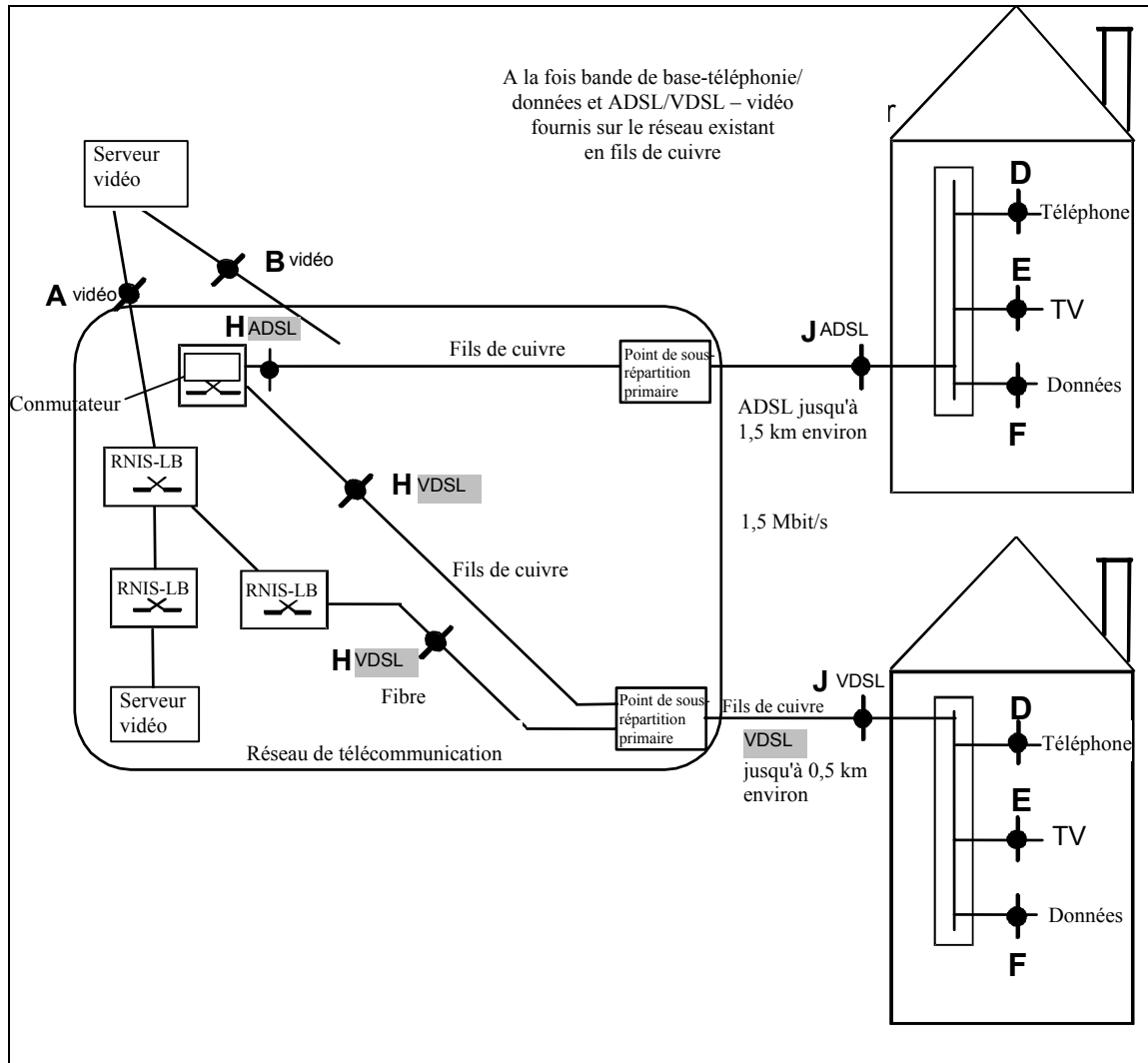
Figure 9.5 – Utilisation d'ADSL ou de VDSL pour fournir la largeur de bande vidéo sur fils de cuivre



La Figure 9.5 illustre la représentation logique et la Figure 9.6 la représentation physique.

- Fonction de service: Serveur vidéo
- Réseau principal: RNIS-LB
- Réseau local: ADSL, VDSL
- CPN: télévision, PC, terminal tél.
- Unité d'accès pour ADSL, VDSL

Figure 9.6 – Représentation physique



Des services vidéo peuvent être fournis aux locaux du client:

- de BVIDEO via JADSL;
- des serveurs vidéo via BVIDEO, HADSL et HVDSL au point de sous-répartition, puis via JVDSL;
ou
- depuis le serveur vidéo via AVIDEO et HVDSL jusqu'au point de sous-répartition, puis via JVDSL.

Une information de commande pour les services vidéo peut être échangée:

- via JADSL, au serveur vidéo via BVIDEO;
- via JVDSL, HVDSL, HADSL et BVIDEO au serveur vidéo; ou
- via JVDSL, VDSL et AVIDEO au serveur vidéo.

9.4.2 Voix/données/vidéo par le réseau Internet

La Figure 9.7 illustre la représentation logique et la Figure 9.8 la représentation physique.

Le trafic à large bande à partir du point de présence Internet est assuré par l'intermédiaire de connexions ATM ou de relais de trame à grand débit jusqu'à un dispositif latéral; il est transmis aux locaux résidentiels (ou commerciaux) via par exemple, des connexions ADSL. Le trafic téléphonique analogique provenant du commutateur du réseau local est combiné et séparé aux deux extrémités de la liaison ADSL.

Figure 9.7 – Représentation logique

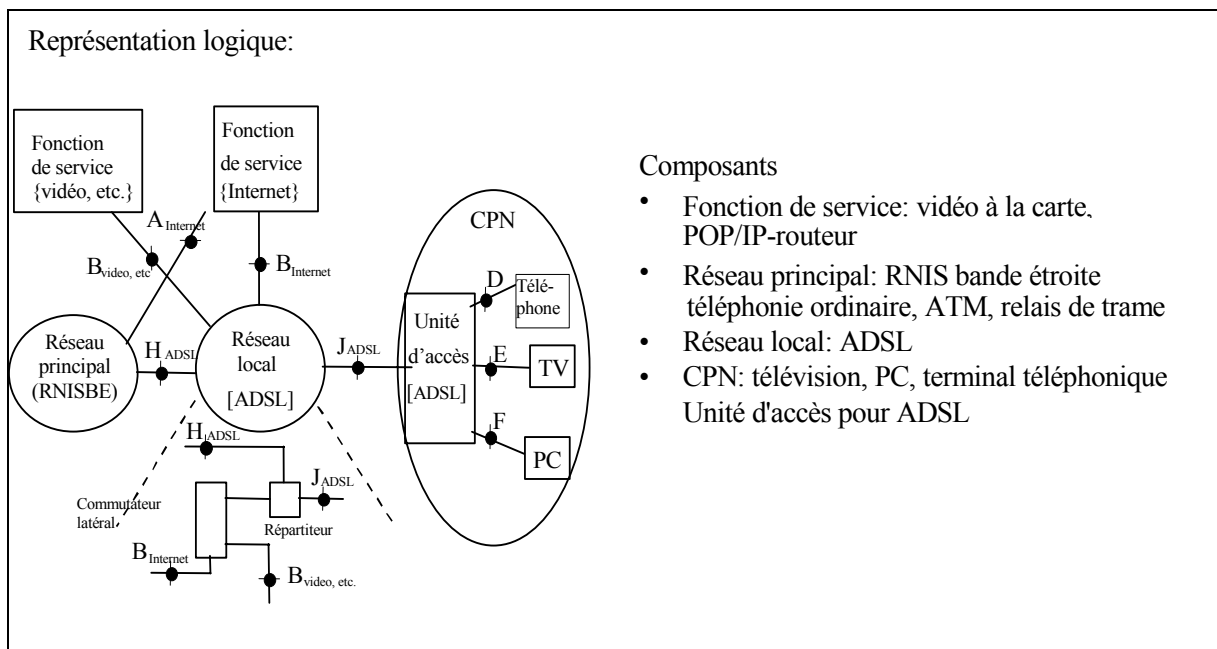
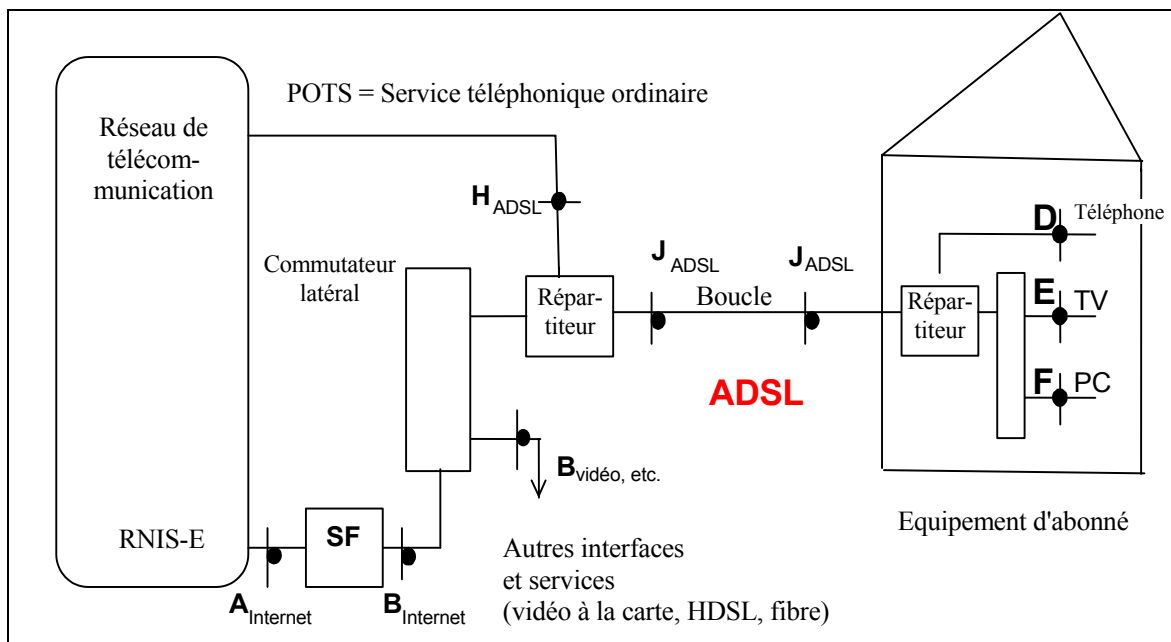


Figure 9.8 – Représentation physique



SF = Fonction de service

Les scénarios décrits sont résumés dans le tableau ci-après:

	Scénario DSL	Scénario Internet
Services	Voix/données et vidéo sur ADSL/VDSL	a) Données sur <u>Internet</u> b) Voix/vidéo et/ou données sur <u>Internet</u>
Réseau principal	RNIS-LB	1) POTS/FR/ATM 2) Réseau fédérateur ATM
Réseau local	<u>ADSL/HDSL</u>	1) ADSL 2) RTPC/RNIS, HFC, PON
CPN	Unité d'accès TV, PC, téléphone	Unité d'accès TV, PC, téléphone
Flux informationnel		

10 Conclusion

La famille de technologies DSL donne une grande diversité de méthodes d'utilisation des lignes permettant de répondre à différents besoins du marché sur des infrastructures actuelles et futures. Les technologies DSL peuvent être mises en œuvre dans le cas d'applications pour utilisateurs professionnels comme dans le cas d'applications pour utilisateurs privés, mais pour ce qui est des seules applications à large bande pour utilisateurs privés, les possibilités sont nombreuses. Les besoins du marché continuent à évoluer. Il n'existe pas d'outil unique pour construire une maison. Dans le contexte des technologies DSL, qu'elles soient à deux paires, à paire unique, asymétriques, symétriques, avec adaptation du débit ou multicanal, les techniques de boucle d'abonné numérique sont toutes des outils à utiliser pour la construction d'un service. Les technologies DSL sont suffisamment souples pour pouvoir répondre aux défis du marché.

ANNEXE 1

**Aperçu général des Recommandations de l'UIT relatives
à la ligne d'abonné numérique (DSL)**

La famille des Recommandations relatives à la ligne d'abonné numérique (DSL) comprend les Recommandations suivantes: G.992.1, G.992.2, G.991.1, G.991.2, G.994.1, G.995.1, G.996.1 et G.997.1.

Les Recommandations G.991.1, G.992.1, G.992.2 présentent des techniques de transmission sur le réseau en cuivre local existant d'une gamme de débits binaires, allant de distances relativement courtes avec des débits élevés à des distances élevées avec des débits relativement faibles.

Les Recommandations G.994.1, G.996.1 et G.997.1 complètent les Recommandations G.992.1, G.992.2 et ultérieurement la Recommandation G.991.2 en présentant des procédures communes d'établissement de liaison, de gestion et d'essais.

1 G.991.1 (anciennement G.hdsl) – Emetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique à grand débit (HDSL)

Cette Recommandation décrit un émetteur HDSL (ligne d'abonné numérique à grand débit) qui est un système de transmission symétrique et bidirectionnel permettant le transport de signaux à un débit de 1 544 kbit/s ou de 2 048 kbit/s sur les paires torsadées en cuivre d'un réseau d'accès.

La Recommandation G.991.1 décrit une technique de transmission appelée ligne d'abonné numérique à grand débit (HDSL) comme moyen de transport de plusieurs types d'applications. Elle définit les caractéristiques requises pour un système de transmission HDSL, la qualité de fonctionnement de la transmission, les conditions de maintenance et les procédures nécessaires pour HDSL.

Un système d'émetteur-récepteur HDSL est un émetteur-récepteur deux fils bidirectionnels pour fils métalliques utilisant la méthode de l'annulation d'écho. Trois systèmes peuvent être utilisés, l'un véhiculant un débit binaire de 784 kbit/s sur chacune des deux ou trois paires utilisées en parallèle, un autre assurant un débit accru de 1 168 kbit/s sur seulement deux paires en parallèle, le troisième assurant un débit encore plus élevé de 2 320 kbit/s sur une seule paire.

2 G.991.2 (anciennement.hdsl) – Emetteurs-récepteurs pour ligne d'abonné numérique à haute vitesse sur paire unique (SHDSL)

La technique SHDSL (ancien terme: émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique à grand débit) vise à fournir un service symétrique sur une seule paire de fils en améliorant la technique décrite dans la Recommandation G.991.1 qui nécessite deux ou trois paires de cuivre. Elle permet en outre des débits accrus de 1,5 à 2,3 Mbit/s au lieu des 784 kbit/s (trois paires) à 1,2 Mbit/s (deux paires).

Cette Recommandation décrit une méthode de transmission visant à fournir un service SHDSL (ligne d'abonné numérique à haut débit à une paire) pour le transport de données sur des réseaux d'accès de télécommunication. Les émetteurs-récepteurs SHDSL sont conçus principalement pour un fonctionnement en mode duplex sur des paires métalliques torsadées à deux fils et à calibre mixte. Un fonctionnement à quatre fils peut être pris en charge pour des applications à grande portée. Des régénérateurs de signal facultatifs aussi bien pour le fonctionnement à deux paires qu'à une seule sont également décrits. Les émetteurs-récepteurs SHDSL peuvent prendre en charge des débits de données utilisateur symétriques sélectionnés allant de 192 kbit/s à 2 304 kbit/s en utilisant un code en ligne TC-PAM (modulation d'amplitude à impulsions à codage en treillis) sur des distances allant de 1,8 à 6,5 km. Des débits fractionnés de $n \times 128$ kbit/s sont proposés pour des boucles plus longues, des environnements plus bruyants ou des besoins de service particuliers.

Ils sont conçus de façon à être compatibles du point de vue du spectre avec d'autres techniques de transmission déployées sur le réseau d'accès, y compris d'autres technologies DSL. Les émetteurs-récepteurs SHDSL n'acceptent pas la technique de fractionnement analogique pour la coexistence avec le service téléphonique ordinaire ou le réseau RNIS. Des exigences régionales, comprenant aussi bien des différences d'exploitation que des exigences de qualité de fonctionnement, ainsi que des exigences relatives aux régénérateurs de signaux sont décrites dans diverses annexes à cette Recommandation.

Cette Recommandation ne décrit pas toutes les conditions nécessaires à la mise en œuvre d'émetteurs-récepteurs SHDSL. Elle sert en revanche à décrire les fonctions nécessaires pour assurer l'interopérabilité d'équipements de diverses origines. Les principaux éléments décrits dans cette Recommandation sont les suivants:

- dispositions pour un fonctionnement en mode duplex sur des paires métalliques torsadées à deux fils et à calibre mixte ou, facultativement, sur des paires du même type à quatre fils;
- spécification des fonctions de la couche physique, notamment codes de ligne et correction d'erreur directe;
- spécification des fonctions de la couche de liaison de données, notamment synchronisation de trame et données d'exploitation et de maintenance;
- dispositions pour une utilisation facultative des répéteurs sur des rayons de raccordement étendus;
- dispositions relatives à la compatibilité du spectre avec d'autres techniques de transmission mises en œuvre sur le réseau d'accès;
- dispositions pour des caractéristiques régionales particulières, y compris des différences fonctionnelles et des caractéristiques de qualité de fonctionnement.

Les applications cibles qui ont été proposées à l'heure actuelle pour la Recommandation G.991.2 sont:

Services de réseau à tarif fixe comprenant notamment:

- Transport RNIS débit primaire ou RNIS accès de base multiple
- Voies interurbaines vocales vers des sites de cellules hertziens
- Transport T1/E1
- Transport T1/E1 fractionné
- Transport de service téléphonique ordinaire multiple

Services de données et de téléphonie professionnels haut débit comprenant notamment:

- Interconnexion de réseaux locaux
- Transport TCP/IP/PPP/ATM pour le relais de trame d'accès à l'Internet ou ATM de ou entre sites professionnels
- Vidéoconférence
- Multimédia interactif
- Enseignement à distance
- Services de base de données évolués.

3 Recommandation G.992.1 (ex-G.dmt) – Emetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique asymétrique (ADSL)

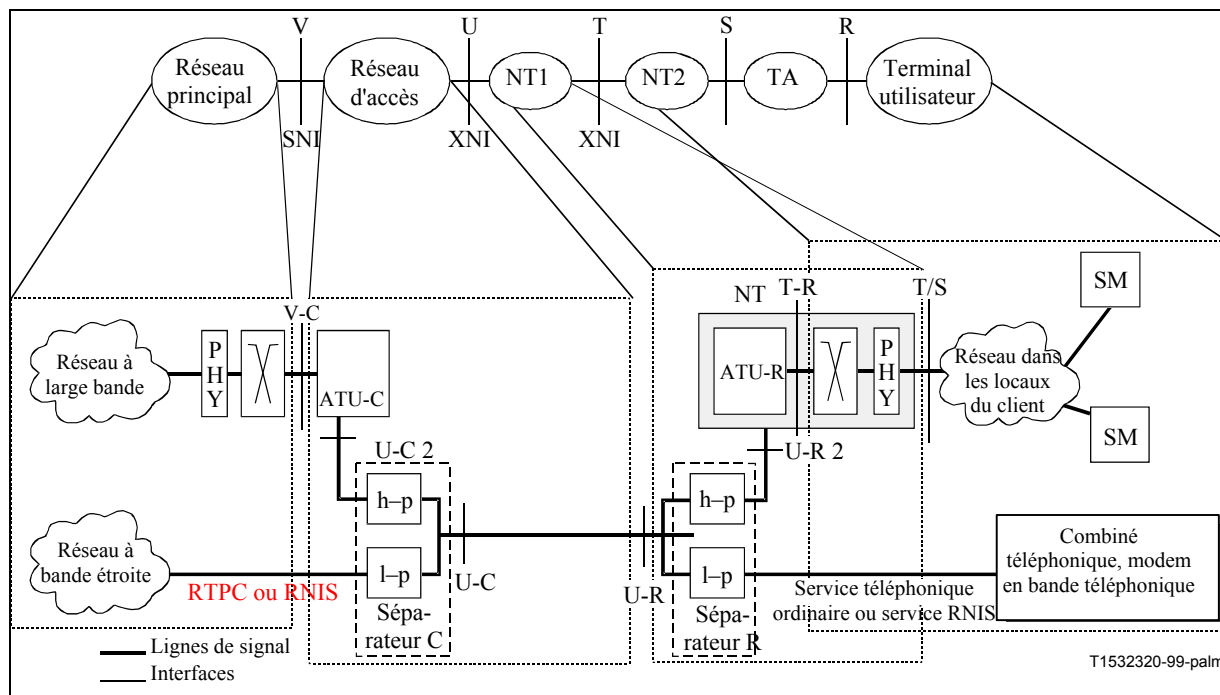
La Recommandation G.992.1 décrit les émetteurs-récepteurs d'une ligne asymétrique d'abonné numérique (ADSL) sur une paire métallique torsadée qui permet la transmission de données à haut débit entre l'extrémité de l'exploitant du réseau (ATU-C) et l'extrémité du client (ATU-R). Ces systèmes autorisent des débits d'environ 6 Mbit/s vers l'aval et d'environ 640 kbit/s vers l'amont selon la mise en œuvre et le niveau de bruit environnant.

Cette Recommandation spécifie les caractéristiques de la couche physique de l'interface de la ligne asymétrique d'abonné numérique (ADSL) avec les boucles métalliques et la Figure 1, présente un modèle de référence du système.

Cette Recommandation a été élaborée pour assurer un interfaçage et un interfonctionnement corrects des unités de transmission ADSL à l'extrémité du client (ATU-R) et à l'extrémité de l'exploitant du réseau (ATU-C). Une simple paire torsadée de fils téléphoniques est utilisée pour connecter l'ATU-C à l'ATU-R. Les unités de transmission ADSL doivent accepter diverses caractéristiques de paires de fils et faire face aux perturbations typiques (par exemple, diaphonie et bruit).

Une unité de transmission ADSL peut véhiculer simultanément: des supports simplex vers l'aval, des supports duplex, un canal duplex analogique dans la bande de base et un débit supplémentaire de ligne ADSL pour le verrouillage de trame, le contrôle d'erreur, les opérations et la maintenance.

Figure 1 – Modèle de référence de système pour la Recommandation G.992.1



4 Recommandation G.992.2 (ex-G.lite) – Émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique asymétrique sans filtre séparateur

La Recommandation G.992.2 décrit l'interface entre le réseau de télécommunication et l'installation d'abonné en terme d'interactions et de caractéristiques électriques. Elle décrit la transmission simultanée de services RTC et de services de données selon la série V au moyen d'un canal numérique sur une seule paire téléphonique métallique de calibre mixte. Elle définit également les procédures permettant d'opérer dans un environnement de bruit RNIS-TCM.

Cette Recommandation contient des procédures permettant d'assurer la fourniture sans qu'il soit nécessaire de faire appel aux «filtres séparateurs» couramment installés à l'entrée des locaux d'abonné. Elle spécifie également des procédures de gestion d'énergie et de contrôle de l'état de la liaison permettant des économies d'énergie dans le centre de commutation et dans les locaux d'abonné.

Le système de transmission est conçu de façon à fonctionner sur une paire téléphonique métallique de calibre mixte passant par le réseau en cuivre existant et par le câblage des locaux d'abonné. Ces émetteurs-récepteurs sont principalement destinés à un usage résidentiel et constituent une version simplifiée des systèmes décrits dans la Recommandation G.992.1 afin d'offrir une solution «prête à fonctionner».

Une unité de transmission G.992.2 peut véhiculer simultanément un support simplex vers l'aval et vers l'amont, un canal duplex analogique dans la bande de base et un débit supplémentaire de ligne ADSL pour le verrouillage de trame, le contrôle d'erreur, les opérations et la maintenance. G.992.2 prend en charge au maximum un flux de 1,536 Mbit/s vers l'aval et un flux de 512 kbit/s vers l'amont.

5 G. 993.1(G.vdsl) – Fondement des lignes d'abonné numérique à très grande vitesse

Les systèmes VDSL traitent des débits asymétriques allant jusqu'à 51 Mbit/s et des débits symétriques allant jusqu'à 26 Mbit/s via une paire de fils unique optimisée pour un débit élevé et une portée faible. Le débit vers l'amont est de l'ordre de 1,6, 2,3 et 19 Mbit/s ou égal au débit vers l'aval en cas de transmission symétrique. La portée de ces systèmes est de l'ordre de 300 à 1 500 mètres selon le débit.

La technologie VDSL ne couvre que la liaison entre le point de sous-répartition et les locaux du client. Pour cette raison, elle exige une architecture Fibre jusqu'au nœud avec une unité de réseau optique (ONU) implantée sur le réseau d'accès métallique (ou au niveau du central local ou du centre de commutation de desserte) pour le transport de données à large bande entre le central et le point de sous-répartition. Ce modèle d'architecture couvre à la fois les applications à longue et courte portée des connexions par fibre optique mettant en œuvre la technologie VDSL, comme l'illustre la Figure 3.

Le modèle de référence du système, représenté sur la Figure 2, décrit les blocs fonctionnels qui sont nécessaires pour fournir le service ADSL.

Figure 2 – Modèle de référence du système G.992.2

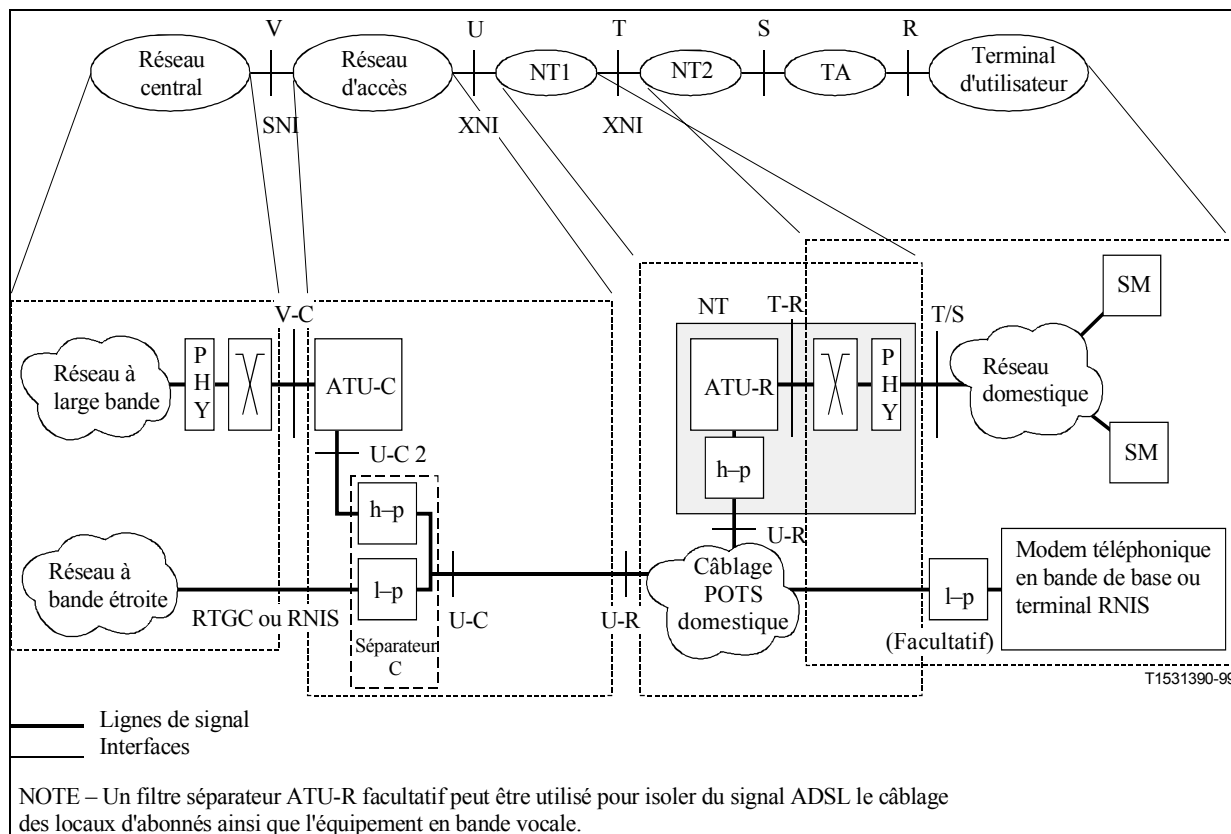
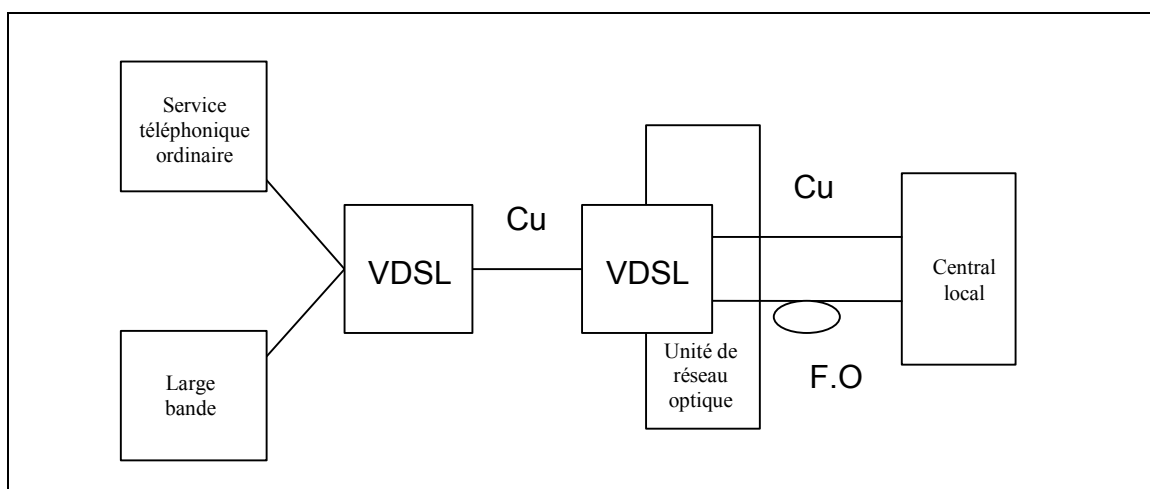


Figure 3 – Schéma de connexion VDSL



6 Recommandation G.994.1 (ex-G.hs) – Procédures de prise de contact pour émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique (DSL)

La Recommandation G.994.1 définit les signaux, les messages et les procédures à échanger entre les équipements de ligne d'abonné numérique (DSL) quand les modes d'exploitation des équipements doivent être automatiquement établis et choisis, mais avant que soient échangés les signaux propres à une Recommandation DSL.

Les principales caractéristiques de la Recommandation G.994.1 sont les suivantes:

- utilisation sur boucles locales métalliques;
- dispositions pour échanger une information sur les capacités entre équipements DSL pour identifier les modes communs d'exploitation;
- dispositions permettant à un équipement DSL à l'une ou l'autre extrémité de la boucle de choisir un mode commun d'exploitation ou de demander à l'autre extrémité de choisir ce mode;
- dispositions visant à l'échange d'une information non normalisée entre équipements DSL;
- dispositions concernant l'échange et la demande d'une information relative au service et à l'application;
- prise en charge des modes de transmission duplex et semi-duplex.

7 Recommandation G.995.1 – Aperçu général des Recommandations relatives aux lignes d'abonné numérique (DSL)

La Recommandation UIT-T G.995.1 permet de se repérer dans la famille des Recommandations DSL dont elle donne un aperçu général. Elle précise les liens qui existent entre les différentes Recommandations de cette famille. Elle définit également une configuration de référence de système générique et montre les liens entre cette configuration et les modèles de référence de système des Recommandations DSL. Elle est de nature informative et ne comprend aucune prescription spécifique.

8 Recommandation G.996.1 (ex-G.test) – Procédures de test pour les émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique (DSL)

La Recommandation G.996.1 définit les procédures d'essai applicables aux Recommandations de l'UIT portant sur les lignes d'abonné numériques (DSL, *digital subscriber line*). Les procédures d'essai qu'elle décrit incluent des méthodes permettant de tester des émetteurs-récepteurs DSL en présence de diaphonie provoquée par d'autres services, de bruit impulsif et de signalisation de service téléphonique ordinaire. Les boucles d'essai et les modèles de câblage chez l'abonné sont spécifiés pour différentes régions du monde dans le cadre des mesures de qualité de fonctionnement de lignes DSL. D'autres Recommandations portant sur les lignes DSL sont mentionnées dans cette Recommandation en ce qui concerne les procédures et les configurations de test. La Recommandation G.996.1 ne spécifie pas la qualité de fonctionnement requise par ces autres Recommandations; elle ne spécifie que les procédures de mesure de la qualité de fonctionnement requise par une Recommandation donnée.

9 Recommandation G.997.1 (ex-G.ploam) – Gestion de couche Physique pour les émetteurs-récepteurs de lignes d'abonné numérique (DSL)

La Recommandation G.997.1 spécifie la gestion de couche physique (contenu et syntaxe des éléments de réseau pour la gestion de configuration, des pannes et de la qualité de fonctionnement) des systèmes de transmission ADSL. Elle définit les moyens de communication sur un canal de communication transparent défini au niveau de la couche physique par les Recommandations G.992.1 et G.992.2.

10 Relations entre Recommandations DSL

Les Recommandations DSL sont reliées les unes aux autres comme l'indique la Recommandation G.995.1.

Les Recommandations G.992.1, G.992.2, G.991.1 et G.991.2 sont des spécifications destinées à l'interface de couche physique numérique métallique pour utilisation sur des installations à paires de cuivre torsadées. Cependant, elles se différencient par le type d'application, la gamme des débits de données, la symétrie ou l'asymétrie dans les deux sens, la portée de l'installation de boucle et les technologies de code en ligne.

En ce qui concerne la symétrie, les Recommandations G.991.1 et G.991.2 spécifient des débits symétriques, alors que G.992.1 et G.992.2 spécifient des débits asymétriques vers l'aval et vers l'amont. Les Recommandations G.991.1 et G.991.2 ne permettent pas la transmission simultanée de G.991.1 et des transmissions dans la bande vocale. Avec un équipement complet, G.991.1 assure un service à débit symétrique de données de 2 320 kbit/s, deux de 1 168 kbit/s ou deux ou trois de 784 kbit/s.

Les systèmes G.992.1 offrent un débit de 6,144 Mbit/s vers l'aval et 640 kbit/s vers l'amont, alors que ceux de G.992.2 assurent au maximum 1,536 Mbit/s vers l'aval et 512 kbit/s vers l'amont. On peut noter que les systèmes G.992.1 présentent une plus grande asymétrie vers l'aval que vers l'amont que les systèmes G.992.2.

S'agissant de la portée de l'installation de boucle, les Recommandations G.991.1 G.991.2 ont une moindre longueur de boucle, par rapport aux Recommandations G.992.1 et G.992.2. Pour les Recommandations G.991.1 et G.991.2, la longueur peut être accrue au moyen de régénérateurs, lesquels ne sont pas spécifiés pour les boucles de G.992.1 et G.992.2.

En matière d'applications, les Recommandations G.991.1 et G.991.2 conviennent aux applications professionnelles. La G.992.1 peut être utilisée pour les applications tant professionnelles que résidentielles tandis que la G.991.2 est principalement adaptée aux applications résidentielles. La grande largeur de bande vers l'aval de G.992.1 convient pour faciliter certaines applications de radiodiffusion comme la vidéo à la carte. Les autres applications de données sont possibles sous réserve de débits plus faibles vers l'amont par rapport aux Recommandations G.991.1 et G.991.2.

La Recommandation G.992.2 met surtout l'accent sur des installations simplifiées. Elle convient à l'accès Internet à grand débit par comparaison avec la transmission de données dans la bande vocale. Les Recommandations G.992.2 et G.992.1 utilisent les mêmes principes de code en ligne DMT. La Recommandation G.991.1 offre le choix entre deux codes en ligne, 2B1Q ou CAP.

A certains égards, les Recommandations G.992.1 et G.992.2 sont étroitement liées. Il existe d'autres aspects qui les différencient. Leur relation étroite tient à l'utilisation du même code central en ligne DMT et de ses paramètres connexes. La G.992.2 a été conçue en vue d'un possible interfonctionnement avec la G.992.1 et est fondée sur des modifications de la G.992.1 pour atteindre les objectifs clés que constituent une moindre complexité des équipements, une moindre consommation d'énergie et un fonctionnement sans filtre séparateur. Parmi les caractéristiques qui distinguent la G.992.2 figurent la taille réduite TFRI pour l'émetteur vers l'aval, un plus petit ensemble de paramètres pour le codage FEC, l'intercalage et une structure de verrouillage de trame plus simple et réduite. D'autres caractéristiques propres à la G.992.2 sont le reconditionnement rapide et des mécanismes d'économie d'énergie. La procédure de reconditionnement rapide est appliquée dans les cas où un téléphone non linéaire est décroché, changeant ainsi les caractéristiques du canal de façon significative dans un environnement sans filtre séparateur.

La Recommandation G.994.1 prévoit un mode commun de sélection et d'exploitation automatiques des équipements définis dans les Recommandations G.992.1 et G.992.2. Les messages, signaux et procédures G.994.1 interviennent avant que soient échangés les signaux propres à une Recommandation DSL donnée. Le recours à G.994.1 fait partie intégrante des Recommandations G.992.1, G.992.2 et sera même utilisée même dans la Recommandation G.991.2. La Recommandation G.991.1 ne prend pas en charge la Recommandation G.994.1. Cette dernière Recommandation sera sans doute utilisée dans les futures Recommandations DSL et lors d'une future révision des recommandations actuelles. Elle n'a pas d'implications pour G.997.1 et G.996.1.

La Recommandation G.996.1 offre une ressource commune de procédures d'essai, de spécifications de boucle et de modèles de bruit pour faciliter les essais de performance des Recommandations de la série G.DSL. G.992.1, comme G.992.2, utilise les procédures d'essai, des spécifications de boucle et les modèles de bruit de G.996.1 lorsque les conditions de qualité sont spécifiées.

G.991.1 est autonome à cet égard. Les futures Recommandations de la série G.DSL continueront sans doute à utiliser les ressources de G.996.1 pour la spécification de leurs caractéristiques de qualité de fonctionnement.

La Recommandation G.997.1 spécifie des moyens de communication sur un canal d'exploitation transparent incorporé définis dans la couche physique. Elle spécifie les éléments de réseau, leur contenu et leur syntaxe pour la gestion de configuration, des dérangements et de la qualité de fonctionnement. Bien que G.997.1 constitue une ressource commune d'éléments de réseau et de syntaxe pour la gestion de la configuration, des dérangements et de la qualité de fonctionnement, elle n'exclut pas le recours au canal d'exploitation transparent incorporé, tel qu'il est actuellement défini dans G.992.1 et G.992.2 et G.991.1.

Les configurations de référence des Figures 1 et 2 représentent des groupes fonctionnels abstraits qui peuvent éventuellement correspondre à des dispositifs réels. Les dispositifs réels peuvent comprendre un groupe fonctionnel abstrait, plusieurs groupes fonctionnels abstraits ou une partie d'un groupe fonctionnel abstrait.

On peut observer, en comparant les Figures 1 et 2, que la différence principale du modèle de référence du système concerne l'absence d'une fonction de séparateur distincte pour le service téléphonique ordinaire. La fonction de filtre passe haut est représentée intégrée à l'unité terminale de réseau, un filtre passe-bas facultatif est illustré en regard du service téléphonique ordinaire, du réseau RNIS ou du terminal utilisateur et l'interface U-R2 n'existe pas sur les systèmes G.992.2.

Quoi qu'il en soit, ceci n'exclut en rien, l'utilisation d'un système de transmission G.992.2 avec filtre séparateur comme celui décrit dans la Recommandation G.992.1.

ANNEXE 2

Description des technologies DSL

La mise en œuvre des systèmes DSL fait appel à un traitement de signal numérique et analogique particulièrement complexe fondé sur des nouvelles technologies de circuit. Dans la présente annexe, on essaie de décrire les fonctionnalités complexes de certains systèmes DSL de façon simplifiée. La connaissance des fonctions de base peut être utile pour le choix d'un système, pour la compréhension de leurs conditions de travail et de leurs limites.

1 Technologie DSL

Les lignes d'abonné numériques asymétriques permettent de transmettre des données à haut débit sur des câbles à paires torsadées. La Figure 1.1 représente le diagramme fonctionnel simplifié décrivant de manière distincte les fonctions d'émetteur et de récepteur ADSL. Dans un terminal ADSL (émetteur-récepteur), les fonctions d'émission et de réception sont connectées par un circuit hybride.

L'émetteur ADSL se compose des éléments suivants:

Interface numérique	
Multiplieur	(MUX)
Circuit de trame	(Générateur de trame)
Mise en ordre des tonalités	(Ordre des tonalités)
D'un codeur à constellation	(Codeur de constellation et commande de gain)
Transformée de Fourier discrète inverse	(IDFT)
Convertisseur parallèle-série	(P/S)
Convertisseur numérique-analogique	(N-A + filtre + amplificateur)
Interface de ligne	

Le récepteur ADSL se compose des éléments suivants:

Interface de ligne	
Convertisseur analogique-numérique	(A-N + filtre + amplificateur ACAG)
Egaliseur dans le domaine temps	(TEQ)
Transformée de Fourier discrète	(DFT)
Egaliseur dans le domaine fréquence	(FEQ)
Décodeur à constellation	(Const. Decod.)
Régénérateur bit de tonalité	
Traitement de trame	(Verrouillage de trame)
Demultipieur	(Demux)
Interface numérique	

En outre, la Figure 1.1 illustre les flux de signaux qui sont en partie numériques et en partie analogiques et présentés en partie dans le domaine temps et en partie dans le domaine fréquence.

1.1 Fonctions de l'émetteur**1.1.1 Interface de ligne**

Pour la transmission dans la boucle d'abonné, on utilise la technique multiporteuse avec des tonalités multiples discrètes (DMT). La largeur de bande disponible pour la transmission est divisée en deux bandes de fréquence parallèles dont chacune achemine une partie du flux d'information total. L'ADSL utilise 256 fréquences de sous-porteuses (128 fréquences de sous-porteuses pour le système ADSL Lite) dans le sens aval et 32 sous-porteuses dans le sens amont. Les sous-porteuses sont régulièrement espacées

de 4,3125 kHz. La Figure 1.2 illustre les structures en sous-porteuses de différents types de systèmes ADSL. Une sous-porteuse est utilisée comme tonalité pilote, les autres sous-porteuses sont modulées par un signal à 4 000 Baud pour l'acheminement de l'information. La Figure 1.3 illustre le principe de modulation. Chaque fréquence de sous-porteuse achemine des informations codées en modulation d'amplitude en quadrature (MAQ), c'est-à-dire que la fréquence de sous-porteuse est modulée par l'enveloppe du signal MAQ. Le spectre du signal de ligne contient toutes les fréquences de sous-porteuses.

1.1.2 Interface numérique

Il est possible de connecter au maximum sept canaux support à l'émetteur ADSL, à savoir:

4 canaux aval et 3 canaux duplex aval et amont.

1.1.3 Multiplexeur

La largeur de bande de transmission disponible de la liaison ADSL est ventilée parmi les canaux supports activés, les signaux de rythme/synchronisation et les signaux de gestion.

Pour les interfaces de gestion, sont fournis les bits d'indication (ib), un canal d'exploitation intégré (coc) et un canal de commande de préfixe ADSL (aoc). Les différents signaux sont combinés et mis en trame.

1.1.4 Circuit de trame

Le flux de signaux est codé avec contrôle de redondance cyclique (CRC), embrouillé, codé en CED (correction d'erreur directe) puis acheminé sous forme de trame. Chaque trame normalement contient des signaux appartenant à la piste rapide et à la piste de latence. La piste de latence utilise une technique d'entrelacement qui offre une transmission beaucoup plus sûre mais plus lente.

Chaque trame est transmise sous forme d'un symbole DMT à raison de 4 000 trames par seconde, chacune de ces trames ayant une durée de 0,25 ms. Toutefois, le contenu de la trame (bit/s) est variable et dépend de l'état de la ligne. Pour chaque groupe de 68 trames, une trame de synchronisation est ajoutée dans le convertisseur parallèle-série, ce qui conduit à la constitution d'une supertrame contenant 69 trames dont la durée totale est de 17 ms. La Figure 1.4 montre la supertrame pour une transmission aval ADSL. Chaque trame contient des données rapides et entrelacées. L'octet rapide de chaque trame achemine l'information crc ou ib. La trame de synchronisation (symbole de sync.) n'achemine aucune donnée.

1.1.5 Mise en ordre des tonalités

Un symbole DMT est transporté par un certain nombre de sous-porteuses en parallèle (sous-symbole) et présenté dans le domaine fréquence. Chaque sous-porteuse transporte un certain nombre de bits pendant chaque sous-symbole. Les bits sont sélectionnés dans la trame entrante. Le nombre de bits/sous-symboles dépend de la qualité de la transmission de la sous-porteuse. Chaque sous-symbole peut acheminer 15 bits au maximum. Pour évaluer cette qualité, une séquence connue (signal à large bande) est transmise pendant le processus d'initialisation d'une transmission ADSL. La puissance reçue par sous-porteuse et le rapport signal/bruit par sous-porteuse sont mesurés au niveau du récepteur ADSL. Sur la base de ces mesures, le nombre admissible de bits et la puissance d'émission requise par sous-porteuse (tonalité) sont calculés, le résultat de ces calculs est acheminé vers l'émetteur. Sur la base de cette information, l'émetteur attribue à chaque symbole le nombre admissible de bits et transmet la sous-fréquence avec la puissance requise. La Figure 1.5 illustre par un exemple le nombre de bits transmis sur la base du rapport S/B reçus et montre la sélection de bits dans une trame entrante. Un rapport S/B élevé permet la transmission de nombreux bits/tonalités. Dans cet exemple, les bits sont sécurisés par la transmission avec entrelacement.

1.1.6 Codage à constellation

Dans ce type de codage, un certain nombre de bits par sous-symbole est codé en modulation d'amplitude en quadrature (MAQ). A N bits par sous-symbole correspondent 2^N , différents points de constellation (appelé constellation MAQ 2^N). Le nombre maximum de 15 bits/sous-symbole offre 32768 points de constellation. La Figure 1.6 montre en exemple les constellations 4-MAQ et 16-MAQ. La constellation 4-MAQ peut acheminer les bits 00, 01, 10 et 11 correspondant à quatre points de constellation. Les points de constellation sont représentés sous forme de nombres complexes. Dans l'exemple inférieur gauche de la Figure 1.6, les constellations entre {00, 01, 10, 11} correspondent au nombre complexe X1 (Re est la partie réelle et Im la partie imaginaire du nombre complexe). Les points de constellation sont modulés avec une fréquence de sous-porteuse à transmettre comme sous-symbole. Le signal modulé correspondant est le suivant:

$$S_1(t) = \text{Re}\{X_1 \exp j2\pi f_{sc} t\}$$

et la modulation peut être illustrée comme la rotation de la constellation X1 avec $\omega = 2\pi f_{sc}$ (f_{sc} = fréquence de sous-porteuse) (voir la partie inférieure droite de la Figure 1.6). Le processus décrit du codage de constellation est appliqué à chaque sous-porteuse.

1.1.7 Transformée de Fourier discrète inverse (IDFT)

Chacune des sous-porteuses est modulée et tous les sous-symboles résultants sont additionnés pour obtenir un symbole DMT que l'on peut exprimer dans le domaine temps comme suit:

$$S(t) = \sum \text{Re}\{X_i \exp j2\pi f_{sci} t\}, \sum \text{ de } i = 1 \text{ à } N$$

Cette équation correspond à la définition de la transformée de Fourier discrète inverse (IDFT). Les coefficients X_i sont déterminés pendant le processus de codage de constellation et les itérations effectuées par la transformée IDFT se traduisent par une présentation parallèle des sous-symboles sous forme d'échantillons numériques dans le domaine temps.

1.1.8 Convertisseur parallèle/série

Les échantillons numériques parallèles sont convertis en échantillons série. Chaque symbole DMT est représenté par 512 échantillons, correspondant aux 256 fréquences de sous-porteuses qui interviennent dans le transport de l'information. Un préfixe cyclique de 32 échantillons est ajouté à ces 512 échantillons.

Le préfixe cyclique, qui n'achemine pas d'information, est ajouté au début de chaque symbole DMT. Le préfixe cyclique sera utilisé par l'égaliseur dans le domaine temporel (TEQ, *time domain equalizer*) du récepteur pour diminuer la distorsion dans le canal.

1.1.9 Convertisseur numérique-analogique

Les échantillons numériques sont convertis en signaux analogiques, qui apparaissent comme un certain nombre de sous-fréquences parallèles, chacune étant modulée en MAQ par les fréquences sous-porteuses. Après amplification et filtrage, les signaux analogiques sont acheminés sur la ligne via un coupleur hybride (voir la Figure 1.8).

1.2 Récepteur

1.2.1 Convertisseur analogique-numérique

Un amplificateur à CAG est réglé pendant le processus d'initialisation. Après filtrage, les signaux analogiques sont convertis en échantillons numériques dans le domaine temps.

1.2.2 Egaliseur dans le domaine temps

La Figure 1.7 montre un exemple d'une réponse de canal à un symbole DMT transmis conduisant à des perturbations entre symboles DMT (partie supérieure droite de la Figure 1.7). Cette figure illustre un processus numérique avec une présentation analogique pour faciliter la compréhension. L'égaliseur dans le domaine temps (TEQ) abrège la durée du signal de réponse causé par la distorsion du canal (partie inférieure gauche de la Figure). Des réponses résiduelles apparaissent dans l'intervalle temps du préfixe cyclique placé au début de chaque symbole DMT et n'interfèrent pas avec le processus de détection (bande de garde du préfixe cyclique). Après l'égaliseur TEQ, le préfixe cyclique est éliminé.

1.2.3 Transformée de Fourier discrète (DFT)

La transformée DFT convertit les échantillons du domaine temps vers le domaine fréquence.

1.2.4 Egaliseur dans le domaine fréquence

L'égaliseur dans le domaine fréquence (FEQ) ajuste le gain et la phase des fréquences de sous-porteuses entrantes pour permettre l'utilisation d'un décodeur commun.

1.2.5 Décodeur de constellation

Le décodeur élimine des constellations MAQ de chaque sous-porteuse entrante pendant un intervalle de symboles DMT.

1.2.6 Régénérateur de bit de tonalité

Le régénérateur de bit de tonalité convertit les constellations MAQ de chaque sous-symbole en séquences binaires disposées en trames.

1.2.7 Traitement des trames

Les signaux sont décodés en CED, désambrouillés et décodés en CRC. Pour la piste de latence, un processus d'entrelacement inverse doit être appliqué.

1.2.8 Démultiplexeur

Le démultiplexeur distribue l'information aux canaux supports aval de réception et reçoit l'information provenant des canaux supports amont d'émission. En outre, l'information de gestion est distribuée.

1.3 Récepteur ADSL avec limitation d'écho

La Figure 1.8 montre le diagramme fonctionnel d'un terminal ADSL disposant d'un annuleur d'écho. Le processus d'annulation d'écho permet l'utilisation de la même largeur de bande pour la transmission amont et aval.

1.3.1 Egaliseur dans le domaine fréquence

L'émetteur local envoie un signal à large bande connu que le récepteur local utilise pour calculer la réponse en fréquence de l'écho.

1.3.2 Egaliseur dans le domaine temps

L'énergie des signaux réfléchit à l'émetteur-récepteur de l'extrémité distante et les fuites dans les coupleurs hybrides provoquent des réponses d'écho longues qui sont compensées dans l'égaliseur du domaine temps par synthèse d'écho circulaire (CES, *circular echo synthesis*).

1.4 Processus d'initialisation

Avant la transmission de la charge utile, les terminaux ADSL du central et du client doivent être accordés compte tenu aussi de la boucle locale d'abonné qui se trouve entre eux. Les processus à exécuter sont les suivants:

- Activation: Emission et réception de fréquences d'activation pendant des intervalles déterminés.
- Réglage du gain: Un signal à large bande connu est transmis pour régler l'amplificateur à CAG, un signal à large bande connu sert à mesurer le rapport S/B et la puissance par sous-porteuse, permettant ainsi de calculer le niveau requis à l'émission et le nombre de bits admissible par sous-symbole.
- Synchronisation: Une tonalité pilote de fréquence et de phase connues commande la boucle à verrouillage de phase numérique du récepteur pour la synchronisation des convertisseurs A-N et N-A; des signaux de synchronisation fondés sur un préfixe cyclique sont envoyés sans tonalité et la réponse dans le canal est utilisée pour obtenir la synchronisation de symbole.
- Egalisation: Réglage des égaliseurs dans le domaine temps et dans le domaine fréquence et des annuleurs d'écho avec un signal à large bande connu.

Figure 1.1 – Principe de fonctionnement des émetteurs et récepteurs ADSL

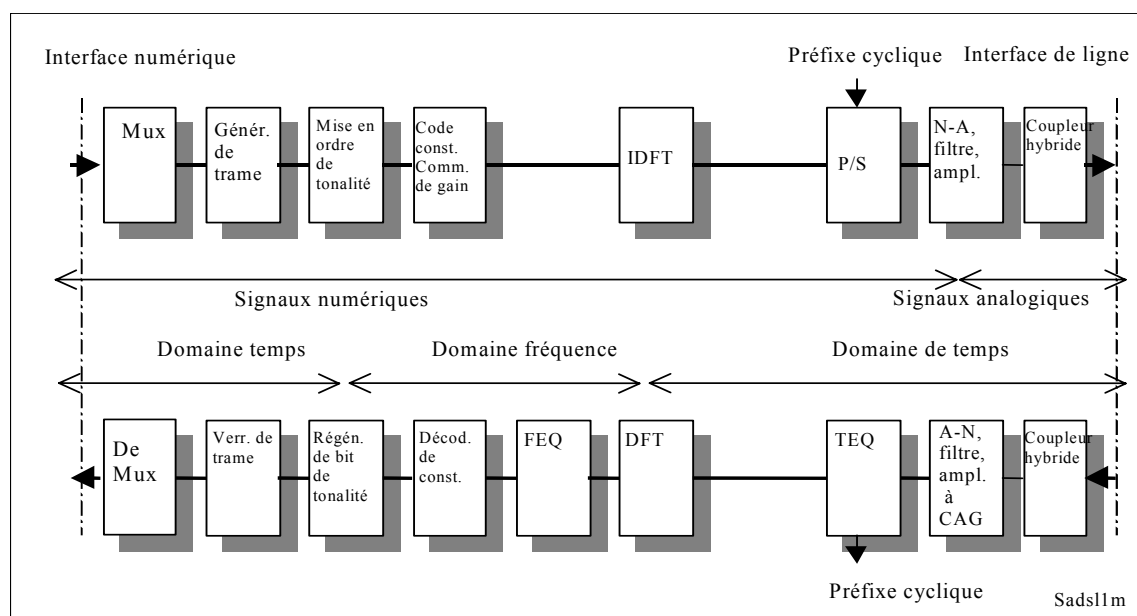


Figure 1.2 – Plan de fréquence pour l'ADSL

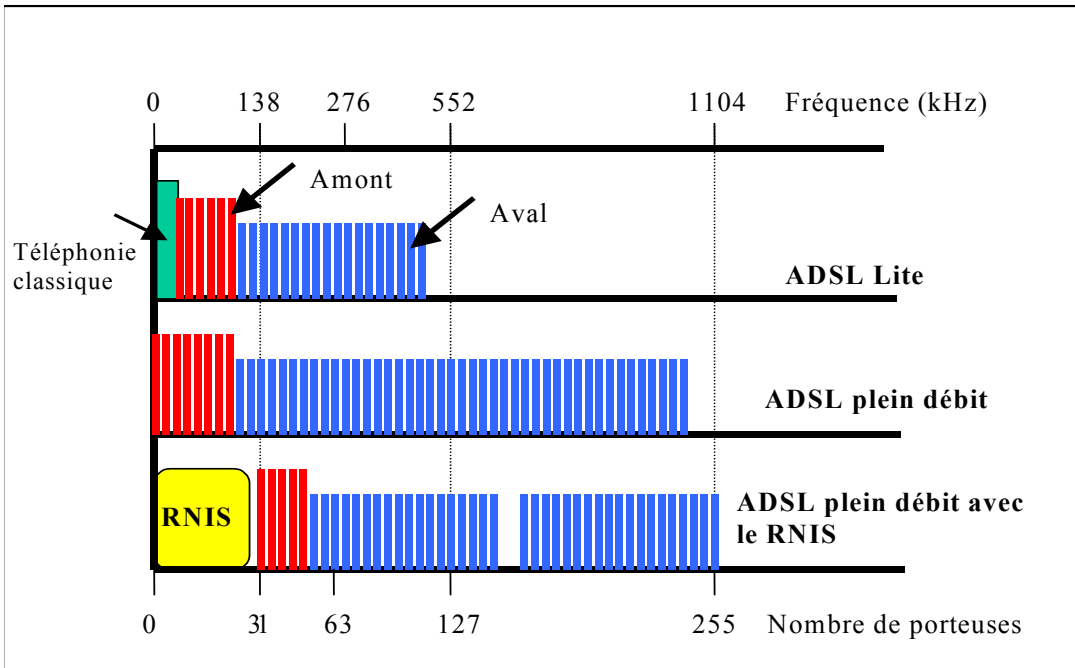


Figure 1.3 – Spectre d'émission du signal de ligne

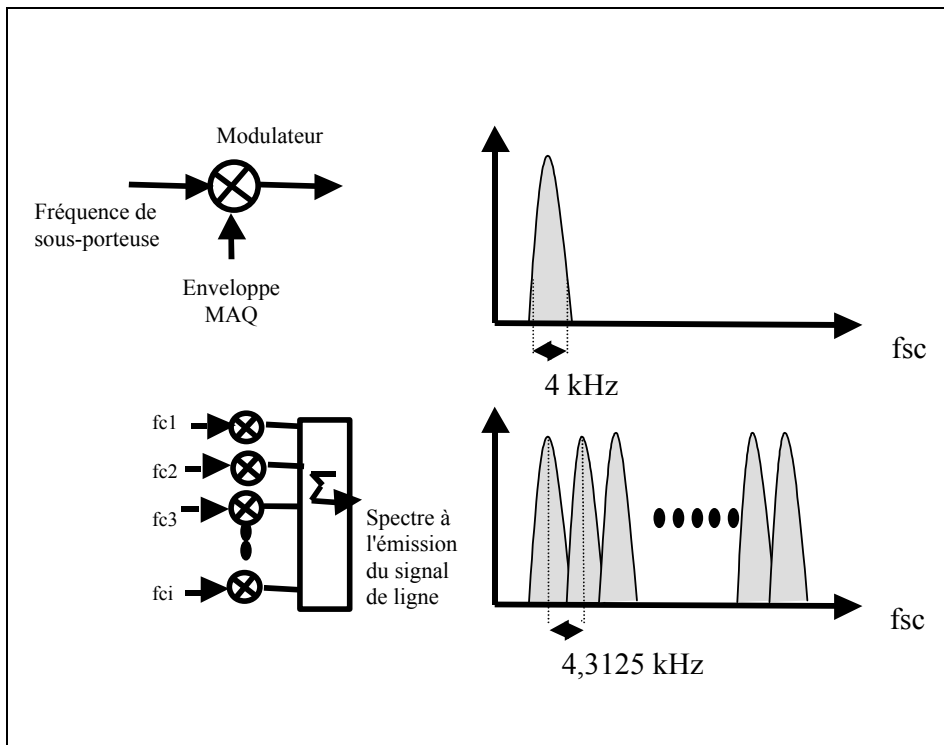


Figure 1.4 – Superframe ADSL et configuration de trame

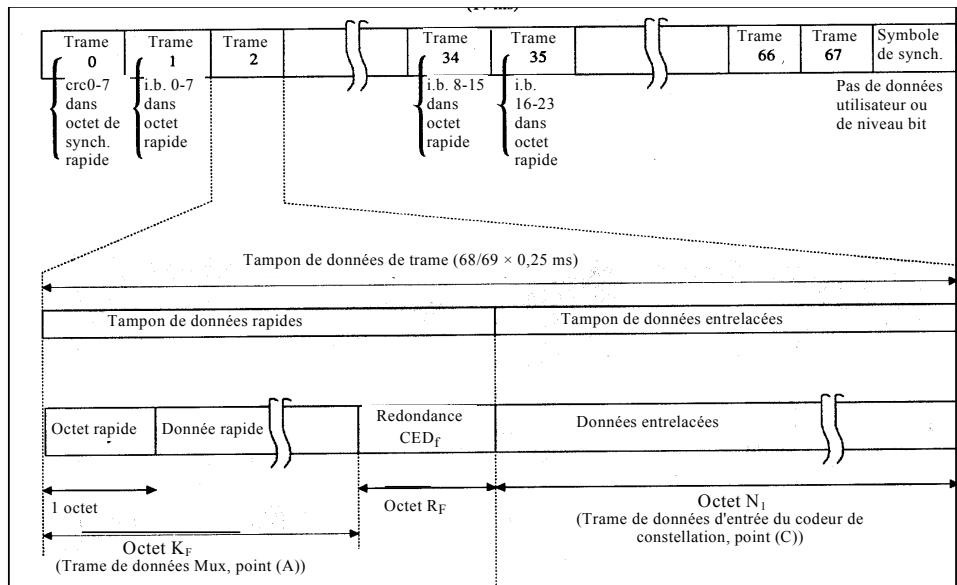


Figure 1.5 – Exemple de mise en ordre de tonalités et d'extraction de bits

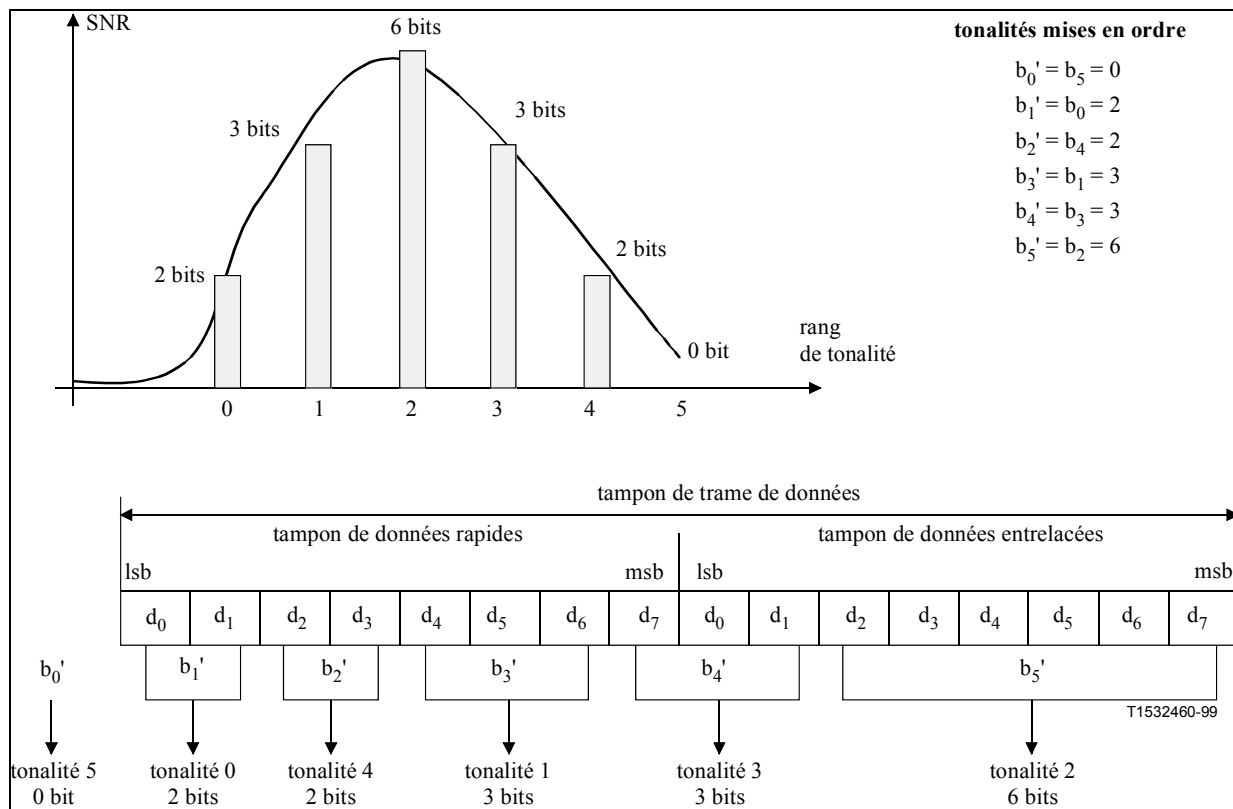


Figure 1.6 – Exemple de codage et de modulation en constellation

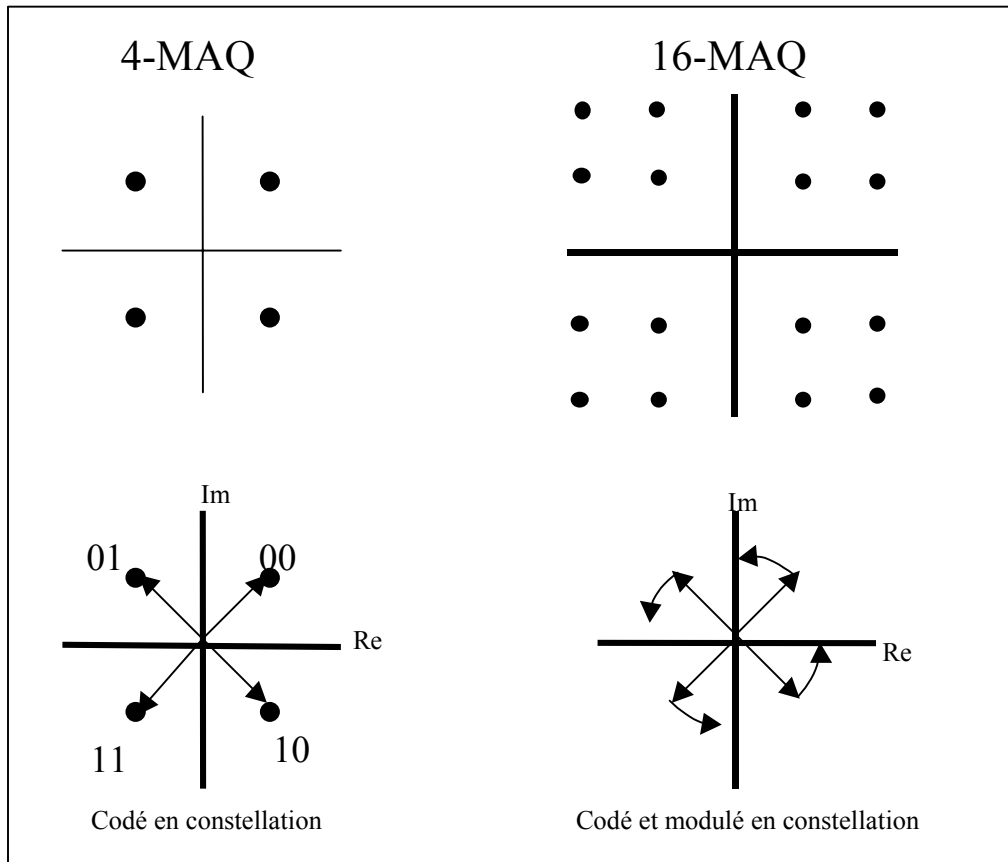


Figure 1.7 – Exemple de réponse de canal avec ou sans égalisation

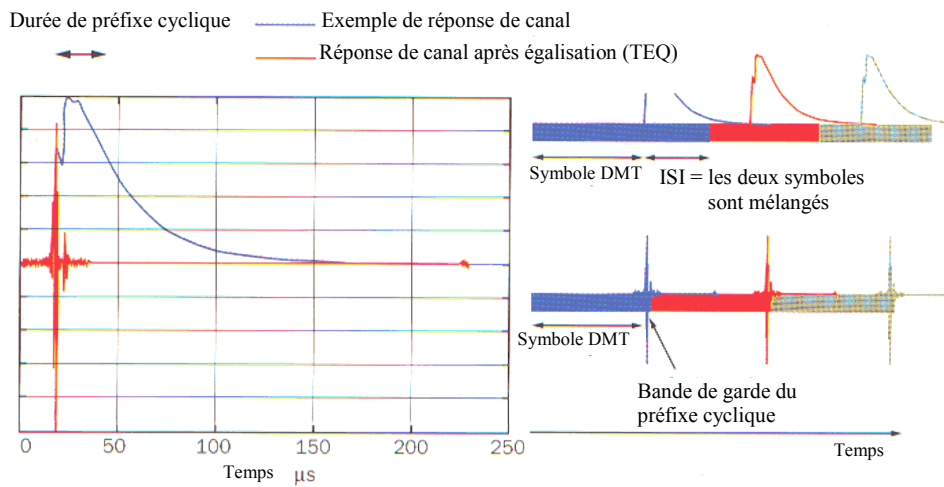
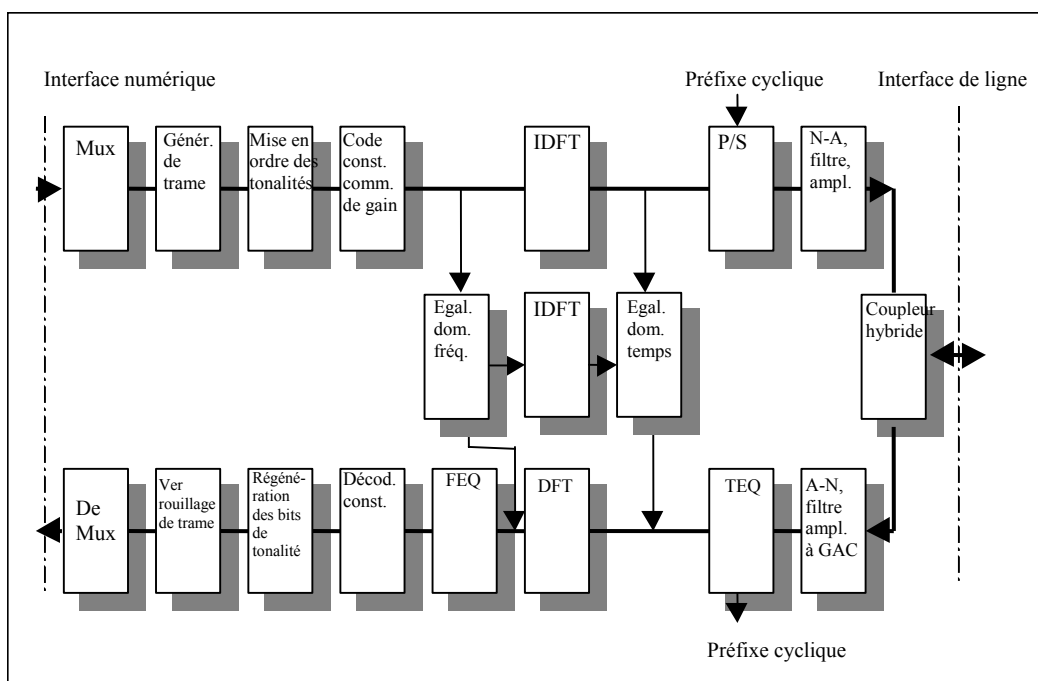


Figure 1.8 – Emetteur-récepteur ADSL avec annuleur d'écho



2 Technologie SHDSL

La technologie de lignes d'abonné numériques monopaires à grand débit (SHDSL) définie dans la Recommandation UIT-T G.991.2 permet la transmission de données à grand débit sur une ou deux paires métalliques torsadées avec ou sans répéteur. La technologie SHDSL est un développement de la technologie HDSL qui offre la même portée, les mêmes dégradations de boucle, la même immunité et les mêmes services que la technologie HDSL. De plus, la technologie SHDSL permet une diminution des coûts et offre une compatibilité avec certaines autres technologies DSL. La transmission T1 et E1 est possible sur environ 4 000 mètres.

Sur une paire, la HDSL accepte des débits de données allant de 192 kbit/s à 2 312 kbit/s par incrément de 8 kbit/s. Les débits de données autorisés sont donnés par la relation suivante:

$$(N \times 8 + I) \times 8 \text{ kbit/s}$$

N étant compris entre 3 et 36 et I entre 0 et 7. Pour N = 36, I est limité aux valeurs 0 ou 1. N et I déterminent la charge utile et les données de préfixe.

La HDSL permet, sur deux paires, la transmission de données à des débits compris entre 384 et 4 626 kbit/s par incrément de 16 kbit/s.

La Figure 2.1 est un diagramme synoptique simplifié d'un émetteur-récepteur SHDSL dont la partie émetteur est composée des modules suivants:

- Circuits d'interface, dépendent du client et de l'application
- Dispositif d'émission d'application, dépend de l'application (T1, E1, etc.)
- Dispositif de mise en trame

Embrouilleur
 Dispositif de codage en treillis
 Précodeur
 Conformateur de spectre
 Convertisseur numérique/analogique et amplificateur

La partie réception se compose des modules suivants:

Amplificateur à CAG et convertisseur analogique/numérique
 Egaliseur à alimentation adaptative
 Dispositif de décodage de Viterbi
 Désembrouilleur
 Dispositif de décomposition de trame
 Dispositif de réception d'application
 Circuits d'interface

Les signaux d'émission et de réception sont combinés dans un coupleur hybride (H) et compensés dans un annuleur d'écho.

2.1 Emetteur

2.1.1 Dispositif de mise en trame

Chaque trame SHDSL contient quatre blocs de charge utile (PA), quatre blocs de préfixe (OH), une information de synchronisation de trame (FR) et une information de bourrage (ST). Chaque bloc de charge utile contient 12 sous-blocs, chacun des sous-blocs acheminant des bits d'information (charge utile). La longueur de la trame dépend du débit de transmission, de la structure de trame et de l'application. Dans le mode avec réinitialisation du canal (*clear channel*), il n'existe pas de relation spécifiée entre la structure des données d'utilisateur et son positionnement dans les sous-blocs. Toute structure additionnelle des données d'utilisateur dépend des protocoles de couche supérieure et n'est pas spécifiée par l'UIT.

La Figure 2.2 illustre un exemple d'une trame transmettant de l'information sur canal réinitialisé à 2 048 kbit/s. La trame contient les parties suivantes:

Synchronisation de trame	14 bits	
Blocs de charge utile	k bits	$k = 12(N \times 8 + I)$ bits
Sous-bloc de longueur		$k_s = N \times 8 + I$ bits
Chaque sous-bloc achemine N intervalles de temps de 8 bits (octets)		
Information de préfixe	32 bits	
Bits d'indication fixe, bits de canal d'exploitation intégrée (eoc)		
Bits de contrôle de redondance cyclique (crc)		
Information de bourrage	1 à 4 bits	
Trame de longueur nominale	$L = 4k + 48$	
Trame de durée nominale	6 ms	

Pour l'exemple avec $N = 32$ et $I = 0$, la longueur de trame L est égale à 12 336 bits, y compris les 48 bits de synchronisation et les fonctions de préfixe.

2.1.2 Dispositif de codage en treillis

Le flux binaire entrant provenant de l'embrouilleur, tel que représenté à la Figure 2.3, est converti en trois groupes de bits parallèles X_0 , X_1 et X_2 . Dans le codeur convolutionnel utilisant les principes de codage en treillis, un bit de codage redondant, représentant le bit de plus faible poids, est ajouté. Les quatre bits résultant Y_0 , Y_1 , Y_2 et Y_3 sont convertis en 16 valeurs PAM possibles (symbole). Chaque symbole apparaît comme échantillon numérique discret dans le temps.

2.1.3 Précodeur

Pour compenser la distorsion dans le canal, les signaux transmis sont précodés dans un filtre de Tomlinson. Les coefficients du filtre sont déterminés par le récepteur durant les procédures de démarrage et retransmis vers l'émetteur pour régler le précodeur. Les coefficients ne sont pas changés pendant la transmission de la charge utile.

2.1.4 Dispositif de modelage du spectre

Le filtre numérique utilisé pour le conformateur de spectre peut être modifié par programmation pour obtenir le spectre d'émission optimum pour différentes régions et différentes applications. En Amérique du Nord, on utilise la transmission PAM avec spectre interverrouillé, ce qui conduit à des spectres qui se chevauchent mais qui ne sont pas identiques pour les transmissions amont et aval tel que l'illustre la Figure 2.4 (code de ligne OPTIS).

Dans le sens amont SHDSL, la limitation du spectre au-delà de 250 kHz minimise le brouillage avec l'ADSL aval, c'est-à-dire la SHDSL et l'ADSL peuvent être utilisés sur la même boucle d'abonné.

2.1.5 Convertisseur numérique-analogique

Les échantillons numériques discrets dans le temps (symbole) provenant du dispositif de conformation du spectre sont convertis en signaux analogiques, amplifiés et transmis via le coupleur hybride vers la ligne d'abonné. Le débit de symbole du signal de ligne modulé en PAM est égal à 1/3 du débit binaire de charge utile.

2.2 Récepteur

2.2.1 Convertisseur analogique-numérique

Les signaux analogiques provenant du coupleur hybride sont échantillonnés et convertis en valeurs numériques discrètes dans le temps pour chaque symbole.

2.2.2 Egaliseur aval à alimentation adaptative

L'égaliseur (FFE) est utilisé pour supprimer les signaux parasites intersymboles restants du flux de données reçu. Le fonctionnement de l'égaliseur FFE est fondé sur un algorithme à valeur quadratique moyenne et s'adapte pendant chaque symbole reçu.

2.2.3 Décodeur de Viterbi

Chaque symbole entrant sous la forme d'un signal numérique PAM est décodé dans un décodeur de Viterbi (voir la Figure 2.5) qui se compose d'un découpeur, qui détermine X1 et X2 et un décodeur de Viterbi détectant le bit de poids le plus faible X0. L'état du décodeur de Viterbi, jusqu'à 2^{20} , est communiqué à l'émetteur lors d'une procédure de prise de contact. Une valeur type utilisée en Amérique du Nord est de 512 états. Avec le décodeur de Viterbi, le récepteur ne détecte pas un symbole, symbole par symbole, mais plutôt à partir d'une séquence de symboles. Analysant une séquence de symboles, le décodeur choisit la séquence de symboles présentant la plus faible probabilité d'erreur. En outre, les bits erronés sont récupérés en utilisant un algorithme de Viterbi à probabilité maximale. Dans le cas d'un décodeur à 512 états, la longueur de séquence du décodeur est d'environ 64 symboles, ce qui conduit à un temps de traitement type de 500 ps.

2.2.4 Dispositif de débramage

Après désembrouillage et verrouillage de trame, la charge utile et l'information de préfixe sont transmises au circuit d'interface spécifique de l'application.

2.3 Procédure de démarrage

Avant la transmission de la charge utile, il est nécessaire de transmettre des séquences de préactivation et d'activation.

2.3.1 Préactivation

La préactivation est basée sur les procédures de prise de contact définies dans la Recommandation UIT-T G.994.1.

Pendant la phase de préactivation, des fonctions de synchronisation sont établies entre l'émetteur et le récepteur. La Figure 2.6 montre les modules fonctionnels qui interviennent dans la phase de préactivation.

2.3.2 Activation

La Figure 2.7 représente les modules fonctionnels qui interviennent dans l'activation. Pendant la phase d'activation, les coefficients du précodeur sont déterminés, c'est-à-dire que l'égaliseur par retour de décision (DFE, *decision feedback equalizer*) contrôle la sortie du découpeur de décisions (Q) et identifie le bruit et les éléments perturbateurs. Le signal est retourné et soustrait du symbole entrant suivant. L'égaliseur DFE détermine les caractéristiques d'égalisation de la ligne, c'est-à-dire les coefficients du précodeur côté émetteur. Avant la transmission de la charge utile, l'égaliseur DFE est déconnecté et le précodeur est connecté avec les coefficients ainsi fixés.

Figure 2.1 – Diagramme fonctionnel simplifié d'un émetteur-récepteur SHDSL

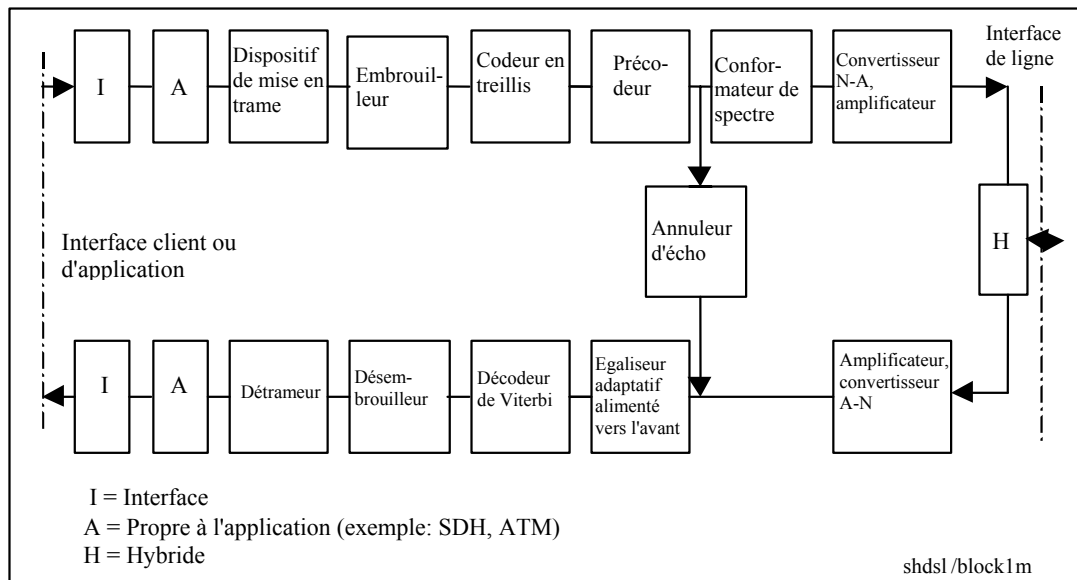


Figure 2.4 – Gabarit spectral de puissance OPTIS

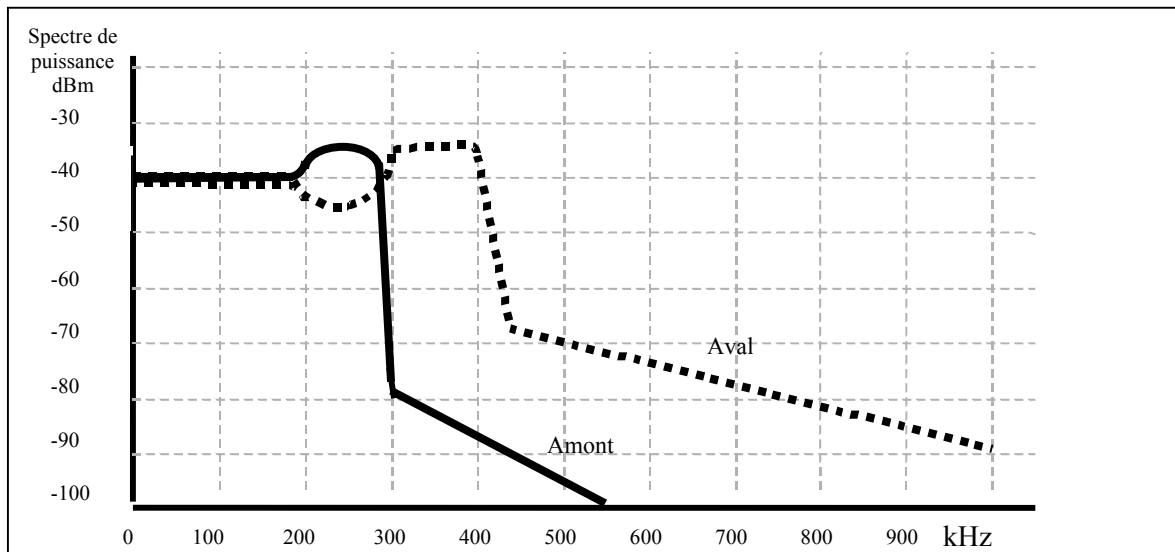


Figure 2.5 – Décodeur de Viterbi

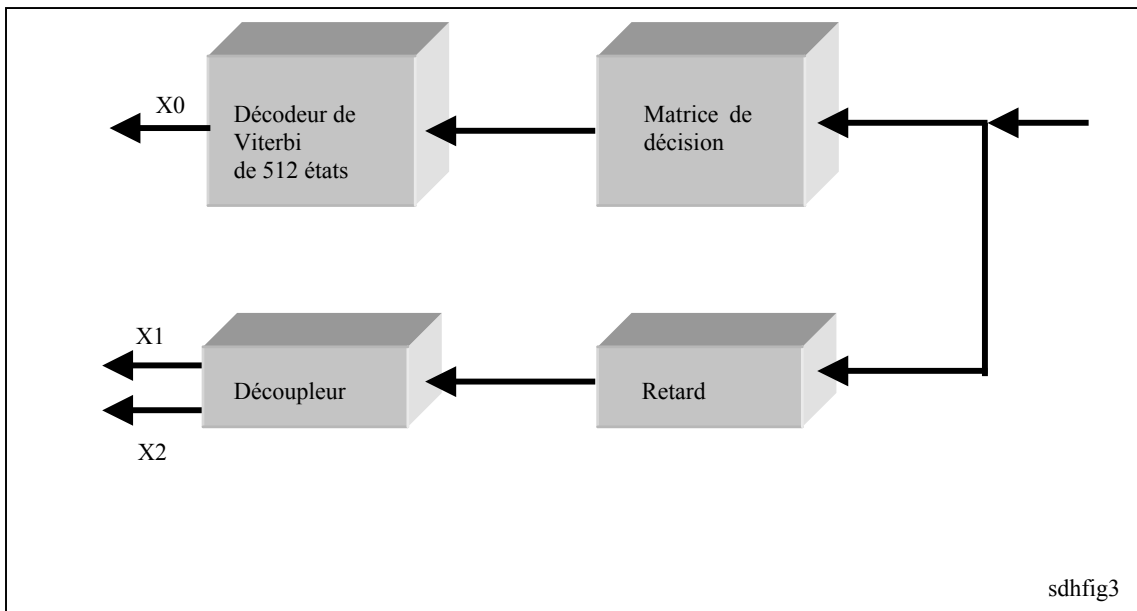


Figure 2.6 – Processus de préactivation

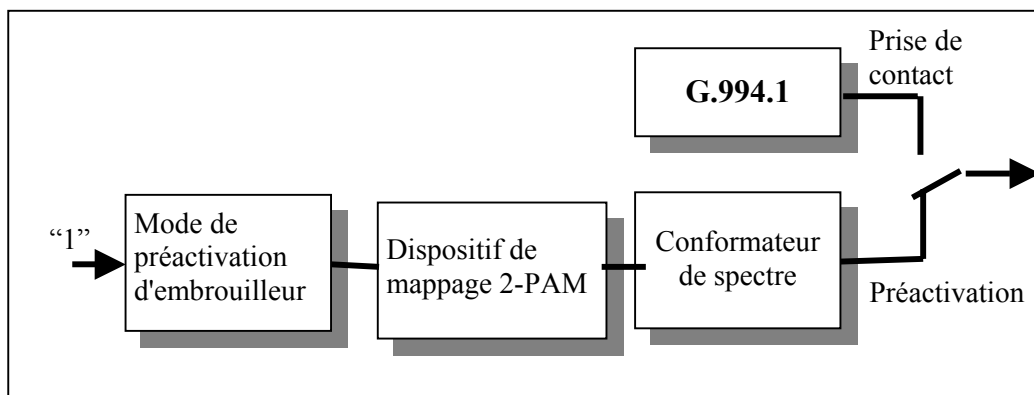
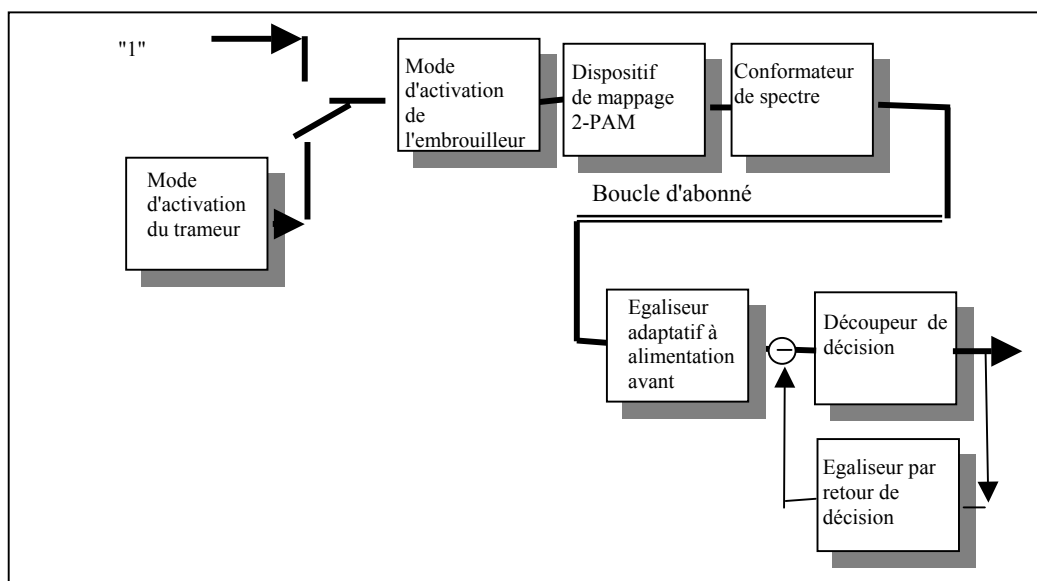


Figure 2.7 – Processus d'activation



3 Technologie HDSL

La technologie HDSL (ligne d'abonné numérique à grand débit) a été mise au point par les laboratoires Bell de l'ATT et Bellcore en 1987. Dix ans après environ, 450 000 lignes HDSL étaient en exploitation dans le monde entier. Il est apparu nécessaire d'utiliser la technologie HDSL lorsque les systèmes de transmission T1/E1 étaient utilisés comme ligne privée entre le central et les locaux de l'abonné. Cette technologie est un développement du RNIS. La Figure 3.1 représente un diagramme fonctionnel simplifié d'un terminal HDSL avec codage 2B1Q.

Les unités de terminaison de réseau (NTU, *network termination unit*) et de terminaison de ligne (LTU, *line termination unit*) peuvent être connectées par une, deux ou trois paires métalliques pour s'adapter à la qualité de ligne de l'abonné, à la distance et au débit de données requis. En option, des régénérateurs (REG) alimentés depuis les terminaux, peuvent être utilisés pour augmenter la distance.

Un émetteur récepteur simplifié HDSL en code 2B1Q se compose des éléments suivants:

- Un codeur et un décodeur CRC-6
- Un codeur et un décodeur 2B1Q avec amplificateurs
- Un annuleur d'écho (EC)
- Un coupleur hybride (HY)

Un émetteur récepteur simplifié HDSL pour code CAP se compose des éléments suivants:

- Un embrouilleur et un désembrouilleur
- Un codeur et un décodeur en treillis
- Un précodeur Tomlinson
- Des amplificateurs

(Les principes de codage en treillis et de précodage Tomlinson sont analogues aux fonctions correspondantes de la SHDSL)

Entre l'émetteur récepteur HDSL et l'interface client ou d'application se trouvent les unités suivantes:

- Les circuits d'interface
- Les circuits de mise en correspondance
- Les circuits communs

3.1 Fonctions de mise en trame

Le flux d'informations propre à l'application au départ des interfaces client ou d'application est contenu dans une structure de *trame propre à l'application*. Ainsi, un signal numérique à 2048 bits structuré, qui est utilisé par exemple pour un service de lignes louées, est contenu dans une *trame d'application* de 32 octets apparaissant à la sortie du circuit d'interface. Dans le circuit de mappage, l'information de charge utile et de gestion est disposée dans la trame centrale (*core frame*). Dans le circuit commun, la *trame centrale* et les informations de gestion supplémentaires sont placées dans une *trame HDSL* (pour la transmission sur une seule paire) ou deux ou trois trames *HDSL* parallèles (pour la transmission sur plusieurs paires).

La Figure 3.2 illustre les différentes trames pour la transmission sur une seule paire à 2048 kbit/s. La trame HDSL contenant 13920 bits est transmise nominalement pendant 6 ms. La trame achemine l'information de charge utile et de préfixe pour les fonctions suivantes:

- mise en trame;
- gestion (par exemple perte de signal, erreur de bloc d'extrémité distante, canaux d'exploitation intégrés CRC et indication de violation bipolaire, état de l'alimentation et des répéteurs).

Les trames correspondantes sont normalisées pour la transmission sur plusieurs paires.

Du côté récepteur, les *trames HDSL* entrantes sont converties en *trames centrales* dans le circuit commun, qui a pour fonction de compenser les variations de temps de transmission des *trames HDSL* sur plusieurs paires et d'extraire l'information de gestion. De même, le circuit de mappage extrait l'information de gestion et convertit les trames centrales en trames d'application pour leur transfert vers l'interface client ou d'application.

3.2 Code de ligne

Le code 2B1Q convertit deux bits en un élément de signal quaternaire comme le montre la Figure 3.3. Le débit en bauds sur la ligne d'abonné est égal à la moitié du débit binaire.

Deux versions de codes CAP (CAP, *carrierless amplitude phase modulation*: modulation d'amplitude et de phase sans porteuse) sont utilisées:

le code 64 CAP avec des constellations de 64 signaux, chaque constellation acheminant 6 bits comme le montre la Figure 3.4;

le code 128 CAP avec des constellations à 128 signaux, chaque constellation acheminant 7 bits.

Dans l'émetteur HDSL, un bit est nécessaire pour le codage en treillis, c'est-à-dire que pour le code 64 CAP, utilisé pour la transmission sur deux paires, on achemine 5 bits par élément de signal, le débit en bauds est donc égal à 1/5 du débit binaire et pour le code CAP 128, utilisé pour la transmission sur une seule paire, on achemine 6 bits par éléments de signal, le débit en bauds est égal au sixième du débit binaire.

Le tableau ci-dessous donne la liste des différents types d'émetteur récepteur HDSL.

Tableau comparatif des différents types d'émetteur récepteur HDSL

Nombre de paires	Interface d'application (client) kbit/s	Code	Débit binaire par paire (kbit/s)	Débit en baud par paire (kBaud/s)
3	1 544	2B1Q	784	392
	2 048	2B1Q	784	392
2	2 048	2B1Q	1 168	584
	2 048	64CAP	1 168	233,6
	1 544	2B1Q	784	392
1	2 048	2B1Q	2 320	1 160
	2 048	128CAP	2 320	386,667

La Figure 3.5 montre les densités spectrales correspondant au code 2B1Q et CAP64 pour une liaison HDSL à deux paires. Les codes CAP sont plus efficaces en termes de largeur de bande mais plus complexes et plus vulnérables à la distorsion et aux perturbations.

3.3 Procédures de démarrage

Pendant la phase d'activation, une communication duplex s'établit entre les unités LTU et NTU, et entre les unités LTU ou NTU et le régénérateur. L'activation nécessite une paire et une séquence de démarrage particulière. Différentes séquences de démarrage existent pour les récepteurs 2B1Q et CAP.

Figure 3.1 – Diagramme fonctionnel HDSL

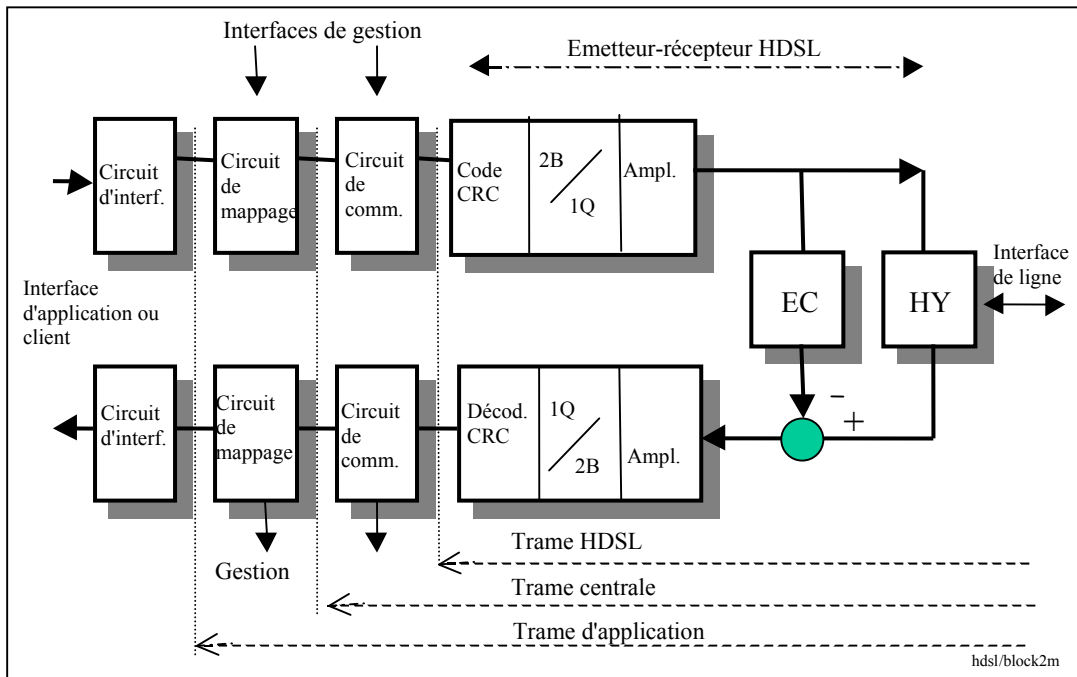


Figure 3.2 – Exemple de structure de trame HDSL

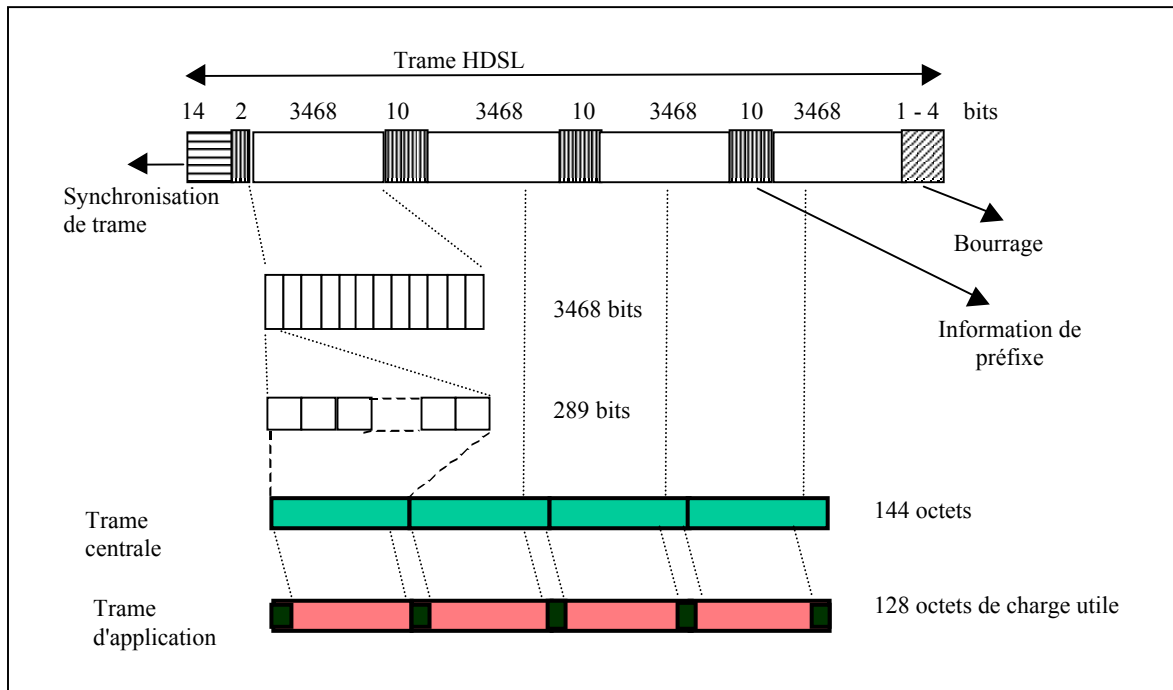


Figure 3.3 – Tableau de codage 2B/1Q

Binaire	Quaternaire	Débit en baud = 1/2 débit binaire
1 0	+3	
1 1	+1	
0 1	-1	
0 0	-3	

Figure 3.4 – Tableau de codage CAP 64

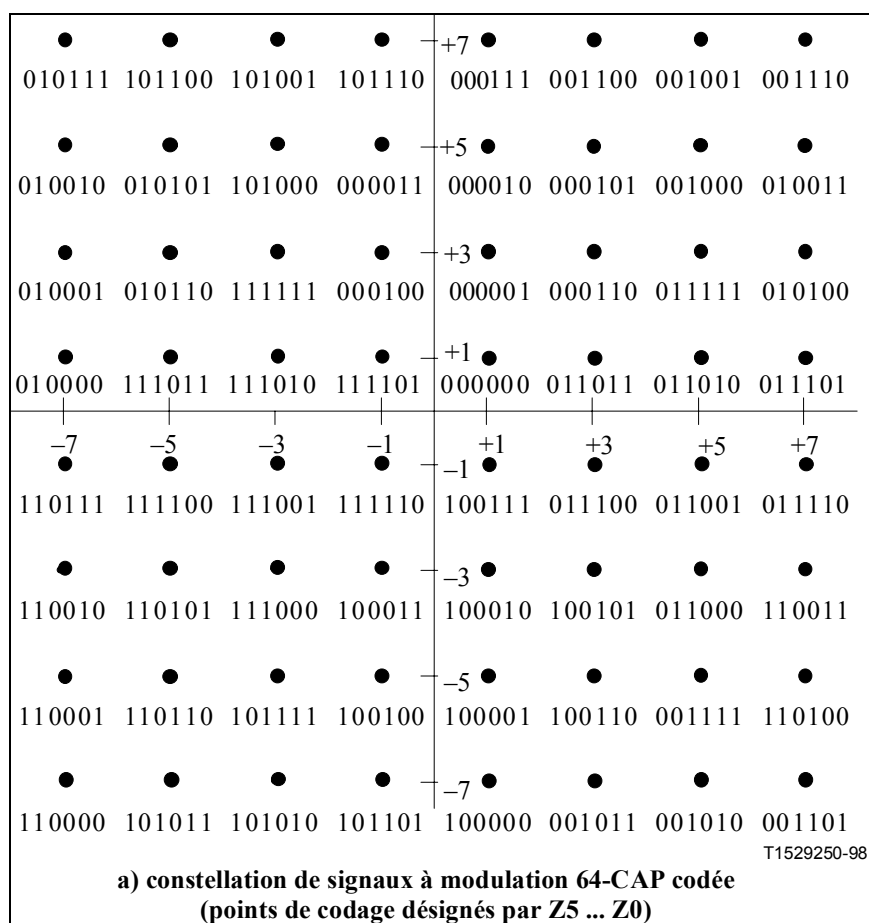
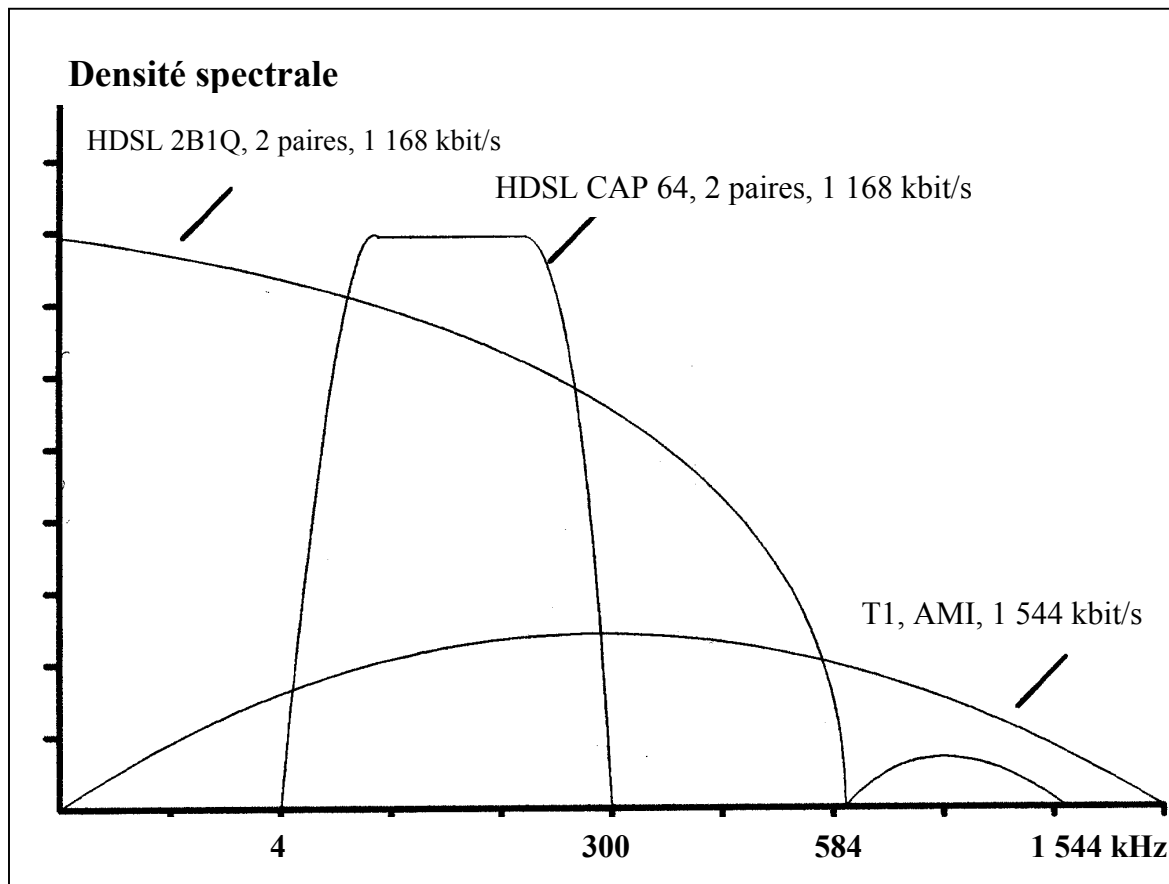


Figure 3.5 – Comparaison des densités spectrales entre les codes 2B1Q et CAP 64



Références

Recommandation UIT-T de la série G.99

Paolo Rosa, ITU-T
Estandarización, Interoperabilidad y Tendencias DSL
Barcelone, 26 novembre 1999

Thomas Starr e.a.
Understanding DSL Technology
Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ 07458

Thomas Starr, Ameritech/SCB
xDSL Standards
IEC T15B – 6 juin 2000 – 11-25

Walter Y. Chen
DSL Simulation Techniques and Standards
Macmillan Technical Publishing, Indianapolis, Indiana

Albin Johansson, Ericsson Telecom
ADSL-Lite – The broadband enabler for the mass market
Ericsson Review, No 4, 1998

Jim Quilici, Level One Communications

An HDSL2 Primer

<http://www.csdmag.com/main/1999/08/9908hds11.ht>

ANNEXE 3

Modèle de réseau DSL

1 Introduction

Les possibilités d'application des systèmes DSL dépendent de la nature de la boucle d'abonnés. Beaucoup d'efforts ont été déployés pour caractériser les boucles d'abonnés dans les réseaux d'accès. A partir des spécifications de boucles, il serait souhaitable de prévoir la qualité de fonctionnement des systèmes DSL. Des procédures de tests de différents systèmes DSL sur différentes configurations de boucles d'abonnés sont décrites par exemple dans la Recommandation UIT-T G.996.1, dans le rapport technique TR-029 du DSL Forum et dans le Rapport PN 4254-INT (projet 1) de la TIA (Telecommunications Industry Association). La présente annexe, qui contient un bref extrait du Rapport TIA précité, montre les dégradations qui influencent le fonctionnement des systèmes DSL dans les réseaux d'accès.

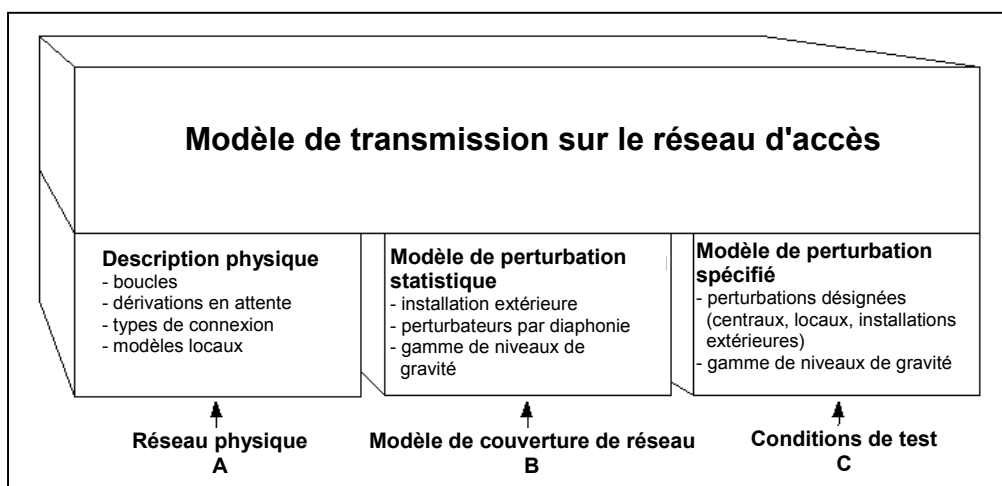
2 Modèle de réseau d'accès

L'objectif de cette norme est de définir un modèle de transmission de réseau d'accès réaliste pour pouvoir faire des comparaisons de qualité de fonctionnement de modems DSL en termes de couverture de modèle de réseau. L'objectif de ce modèle est d'obtenir une description d'un réseau réel tel qu'il pourrait exister en l'an 2002. Le modèle ne dépend pas d'une technologie particulière. Certains éléments importants du modèle (modèle de perturbateur de diaphonie par exemple) étant basés sur des projections, on estime que le modèle devra être révisé en tenant compte des mises en place réelles des services DSL. Le modèle proposé se compose de trois éléments:

- une description physique;
- un modèle de perturbation statistique;
- un modèle de perturbation spécifié.

La Figure 1 illustre le contenu du modèle.

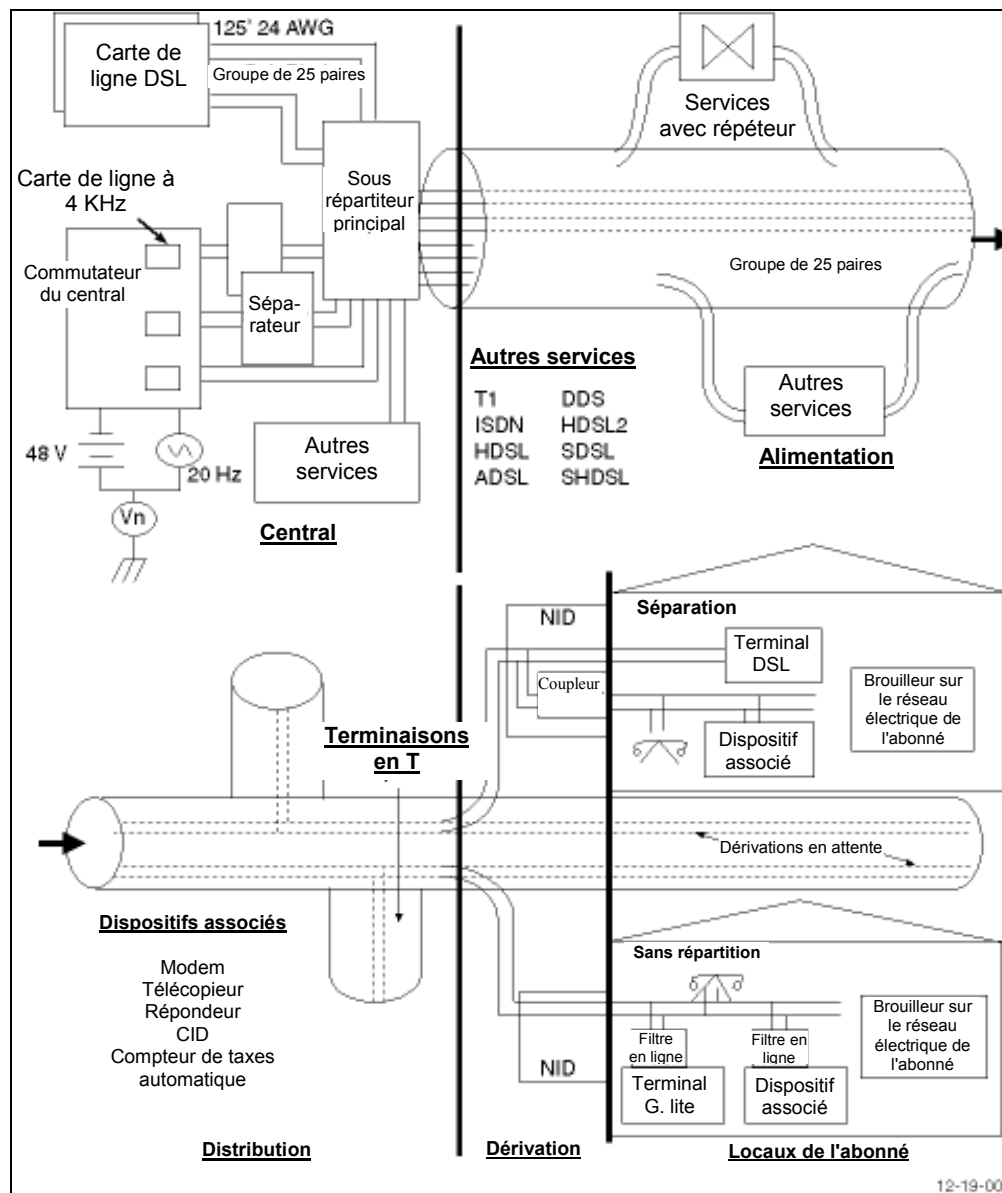
Figure 1 – Modèle de transmission sur le réseau d'accès



3 Description du réseau physique

Un diagramme synoptique de réseau d'accès est représenté à la Figure 2. Le modèle de réseau a été subdivisé en quatre sous-réseaux: central (CO), installation extérieure, câbles de dérivation ou d'accès aux locaux de l'abonné et câblage dans les locaux d'abonné.

Figure 2 – Diagramme fonctionnel de configuration de réseau DSL



4 Modèle de perturbation statistique

Un diagramme fonctionnel du réseau montrant les perturbations associées à chaque élément de sous-réseau est présenté à la Figure 3. Chacune de ces perturbations est analysée brièvement ci-dessous:

4.1 Diaphonie

La diaphonie est le couplage électromagnétique d'un signal provenant d'une paire (brouilleuse) sur une autre paire (brouillée) situées dans un même câble, ce qui provoque un brouillage. Une source commune de brouillage par diaphonie est le couplage provenant de circuits à haut débit fonctionnant dans des paires de câbles adjacentes. La diaphonie dont le spectre chevauche le spectre d'émission des autres circuits DSL peut avoir un effet limitatif important sur la qualité de fonctionnement des systèmes DSL. Parmi les sources de diaphonie, citons les émetteurs-récepteurs DSL dans le central ou à l'extrémité locaux d'abonnés de la boucle, les éléments intermédiaires tels les répéteurs amplificateurs et les multiplexeurs d'accès distants de lignes numériques d'abonnés (DSLAMS) placés dans les terminaux distants des boucles numériques.

4.1.1 Paradiaphonie (NEXT)

Il s'agit du couplage électromagnétique qui se produit lorsque le récepteur sur une paire perturbée est situé à la même extrémité (proche) du câble que l'émetteur d'une autre paire perturbatrice. Pour les systèmes disposant d'un annuleur d'écho tels les systèmes SHDSL, la paradiaphonie due à l'autodiaphonie provenant du système analogue dans le même câble est, en général, la diaphonie qui limite le plus la qualité de fonctionnement, indépendamment des autres types de systèmes DSL qui peuvent utiliser le même câble.

4.1.2 Télédiaphonie (FEXT)

Il s'agit du couplage électromagnétique qui se produit lorsque le récepteur sur une paire perturbée est placé à l'autre extrémité (distante) du câble par rapport à l'émetteur relié à une paire perturbatrice. Pour les systèmes à multiplexage par répartition de fréquence (MRF) tels les systèmes ADSL, la télédiaphonie due à l'autodiaphonie est la diaphonie qui limite le plus la qualité de fonctionnement lorsqu'il n'y a pas d'autre type de systèmes DSL sur le même câble.

4.2 Perturbations dues à la boucle

Les boucles ont un effet sur la qualité de fonctionnement des systèmes DSL non seulement en raison de l'affaiblissement dû à la longueur et au calibre du câble mais également à d'autres facteurs tels les dérivations en attente, la symétrie de boucle, l'humidité et la température. On donne ci-dessous des descriptions de certains types d'effets qu'a la boucle sur la qualité de fonctionnement des systèmes DSL.

4.2.1 Dérivations en attente

Une dérivation en attente est définie comme étant une partie quelconque de la boucle d'accès téléphonique qui n'est pas dans le trajet continu direct entre le poste téléphonique et le commutateur du central. Les dérivations en attente causent des chutes de niveau qui augmentent fortement l'affaiblissement dans la bande de fréquence zéro et crée des discontinuités d'impédance dans la boucle. La qualité de fonctionnement des systèmes SDSL sur des boucles de grande longueur est particulièrement sensible aux effets des dérivations en attente. La bande passante disponible pour la réception dans un système DSL sur une boucle de grande longueur est relativement étroite comparée à la bande passante à l'émission du circuit. Lorsque les dérivations en attente créent des chutes de niveau dans la bande passante du signal reçu, le débit peut être fortement diminué.

4.2.2 Distorsion d'amplitude

La distorsion d'amplitude est un écart d'amplitude en fonction de la fréquence d'un signal reçu sur un circuit téléphonique par rapport à ce qui serait normalement attendu des caractéristiques d'affaiblissement de boucle uniforme. La cause la plus courante de ce type de distorsion est la présence de dérivation en attente dans la boucle.

4.2.3 Humidité

L'humidité dans une gaine de câbles ou sur une épissure peut avoir un effet négatif sur les caractéristiques de la boucle téléphonique. L'humidité peut pénétrer dans le câble et résulter d'un certain nombre d'anomalies telles la présence de petits trous créés par la foudre, des rayures provoquées pendant l'enfouissement ou la pose du câble, une ouverture dans un câble aérien due à une balle ou un boîtier d'épissurage ou une borne de câble mal scellés. Les effets négatifs peuvent se traduire par un déséquilibre capacitif et résistif de la boucle et des modifications des niveaux de diaphonie. Ce déséquilibre peut créer une source de bruit de mode commun et un affaiblissement supplémentaire dans la boucle qui diminue la qualité de fonctionnement des systèmes DSL.

4.2.4 Température

Une augmentation ou une baisse de la température peut fortement modifier l'affaiblissement dans la boucle. Les modifications peuvent être progressives lorsqu'elles sont dues par exemple à des modifications saisonnières ou peuvent être brutales lorsqu'il s'agit par exemple d'un orage qui se produit un jour d'été très chaud ou de l'effet thermique qui se produit lorsque le soleil apparaît directement après l'orage. La modification peut être très importante. Ainsi, un câble aérien de calibre 26 AWG présente une résistance de 83 ohms/kft à 70 °F et de 93 ohms/kft à 120 °F, température commune lorsqu'il est directement exposé au soleil. L'augmentation de résistance engendre un affaiblissement plus grand du signal DSL, ce qui abaisse le débit vers le système DSL.

4.3 Dégradations stationnaires

Il peut y avoir de nombreux facteurs, outre les dégradations dans la boucle et la diaphonie, qui ont un effet sur la qualité de fonctionnement des systèmes DSL. Les paragraphes qui suivent contiennent quelques descriptions de ces facteurs.

4.3.1 Séparateurs/filtres répartis

Les séparateurs et les filtres répartis sont utilisés dans les technologies de transmission de données supravocales tel l'ADSL pour séparer le spectre vocal du signal DSL. Les séparateurs peuvent être utilisés aux deux extrémités et inclure un séparateur à l'extrémité central et un ensemble de filtres répartis à l'extrémité locaux. Les séparateurs et les filtres répartis ont un effet sur la qualité de fonctionnement des systèmes DSL en raison de leur réponse en fréquence sur la bande DSL, l'effet sur la distorsion d'intermodulation sur le plancher de bruit, le temps de propagation de groupe et l'effet de charge de nombreux filtres répartis. Des séparateurs sont inclus dans les tests dans lesquels les systèmes DSL utilisent la technologie de transmission de données supravocales.

4.3.2 Bruit de fond

Le bruit de fond est un signal perturbateur continu sur un canal de télécommunication qui n'est pas dû au service mis en place sur le canal. Il dégrade le rapport signal-à-bruit du signal reçu. Ce niveau tend à varier un peu d'une installation à l'autre, sauf lorsqu'il y a diaphonie. Des effets de la diaphonie sont déjà pris en compte dans le modèle de boucle. En conséquence, une valeur commune de -140 dBm/Hz de bruit blanc est supposée représenter le bruit de fond commun.

4.3.3 Perturbations induites par le courant alternatif

Les perturbations induites par le courant alternatif est un bruit de mode commun introduit dans la boucle dû au couplage des harmoniques des courants à 50 ou 60 Hz provenant des lignes du réseau électrique placées parallèlement aux câbles des télécommunications. Ce bruit peut dégrader le rapport signal-à-bruit du signal reçu. Son importance varie en fonction des installations.

4.3.4 Symétrie longitudinale

Une différence des valeurs capacitives ou résistives dans la boucle mesurée entre pointe et Terre et nuque et Terre affectera négativement la symétrie longitudinale de la boucle. Cette dissymétrie se traduit par un affaiblissement supplémentaire qui diminue le débit du système DSL.

4.3.5 Brouillage dû au moniteur d'un PC

Des impulsions électromagnétiques émanant du moniteur d'un PC peuvent donner lieu à un phénomène de couplage sur un modem DSL proche, abaissant sa qualité de fonctionnement.

4.3.6 Perturbations radioélectriques en modulation d'amplitude

Une perturbation radioélectrique en modulation d'amplitude est un bruit à bande étroite sur la boucle causée par le couplage électromagnétique provenant de sources de signaux radioélectriques en modulation d'amplitude proches. Lorsque le spectre de la perturbation à bande étroite, y compris les fréquences hors bande, se chevauchent avec le signal de réception du système DSL, le débit du système DSL peut être fortement diminué.

4.3.7 Diaphonie à l'extrémité locaux (PEXT)

La diaphonie PEXT apparaît lorsque deux services DSL sont placés sur la même quarte d'un branchement ou le même câblage dans les locaux. Le couplage entre les paires dans un câblage en quarte au domicile est plus important que dans les câbles téléphoniques, et constitue une importante source de diaphonie pour les systèmes DSL.

4.4 Perturbations dues aux transitoires

Les perturbations dues aux transitoires ne sont pas des événements continus et apparaissent en général dans le réseau d'accès. Nous donnons ci-après quelques perturbations dues aux transitoires qui influent sur la qualité de fonctionnement des modems.

4.4.1 Transitoires dus au signal de sonnerie émis par le central

Le signal de sonnerie d'appel émis par le central crée un signal intermittent en courant alternatif à haute tension sur la ligne susceptible de perturber le bon fonctionnement d'un modem DSL.

4.4.2 Transitoires dus au trajet de sonnerie

Ces transitoires sont des tensions transitoires qui apparaissent sur le canal de transmission lorsque le circuit téléphonique passe de l'état «raccroché» à l'état «décroché» pendant que le signal de sonnerie est appliqué. C'est une des sources de perturbations dues à des transitoires qui cause le plus de dommages en raison de la présence d'une tension élevée sur la ligne lorsque le circuit téléphonique passe de l'état «raccroché» à l'état «décroché». Ces transitoires peuvent avoir un effet gravissime sur la marge, obligeant à un reconditionnement ou engendrant la perte des données en cours de transmission.

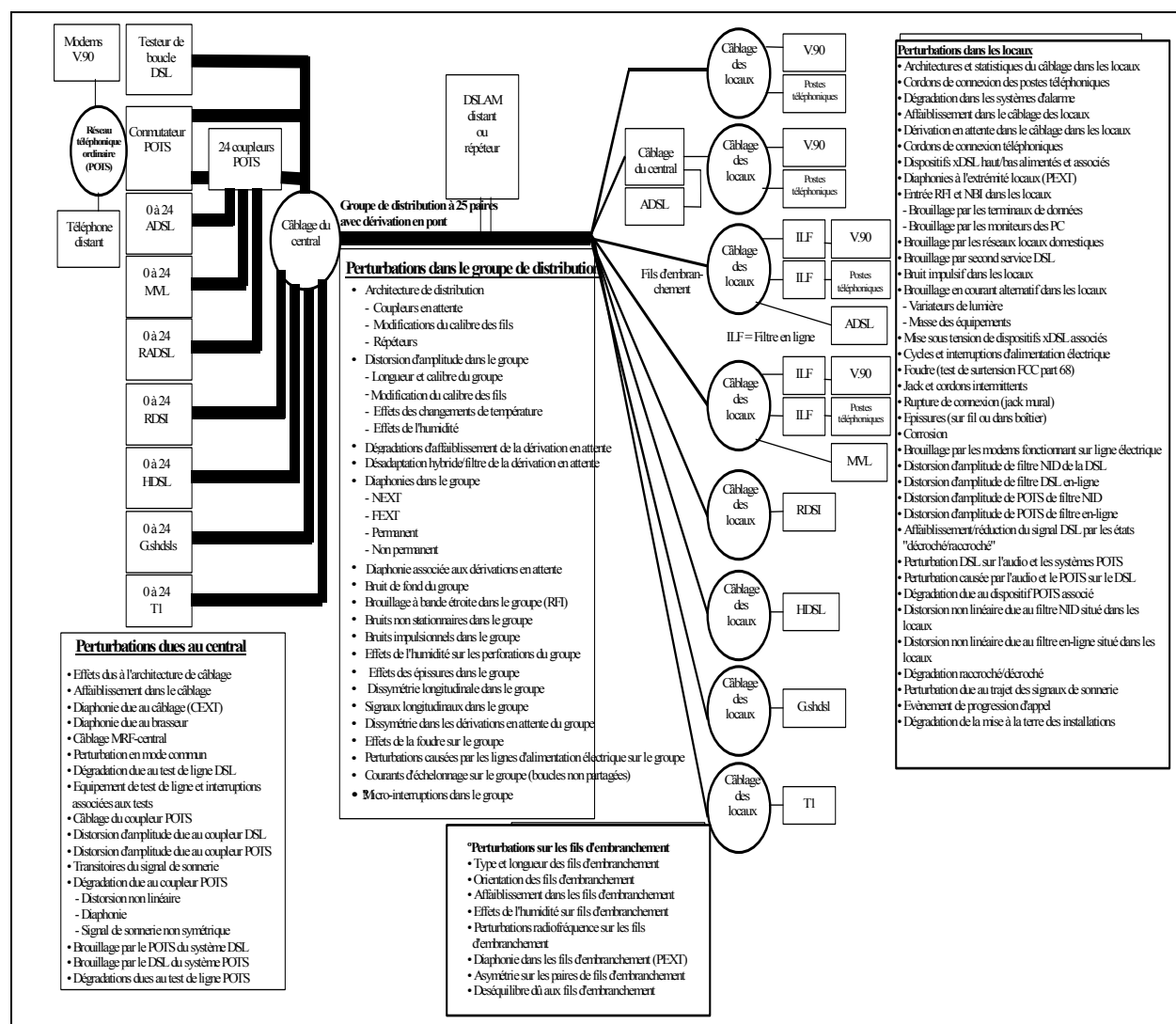
4.4.3 Transitoires dues au passage de l'état «raccroché» à l'état «décroché»

Il s'agit de tensions transitoires qui apparaissent sur un canal de transmission et qui sont dues à des modifications d'impédance lorsqu'un circuit téléphonique passe de l'état «raccroché» à «décroché» ou inversement. Ces transitoires peuvent avoir un effet gravissime sur la marge obligeant à un reconditionnement ou engendrant la perte des données en cours de transmission.

4.4.4 Bruit impulsif

Le bruit impulsif est une perturbation sur le canal de transmission causée par une tension transitoire supérieure au bruit de fond continu. L'amplitude, la durée et la fréquence d'apparition caractérisent généralement le bruit impulsif. Une technique de mesure courante du bruit impulsif consiste à compter le nombre d'évènements transitoires qui dépassent un seuil spécifié et pendant une période de temps spécifiée. Le bruit impulsif peut avoir des effets gravissimes sur la marge, induisant des erreurs sur les données reçues par le système DSL. Un bruit impulsif permanent peut également obliger à un reconditionnement. Les exemples de sources de bruit impulsif dans les locaux sont les variateurs de lumière et les moteurs universels.

Figure 3 – Modèle de perturbations statistique



5 Modèle de dégradation spécifié

Ce modèle combine les modèles relatifs aux locaux et aux centraux avec un catalogue de perturbations conduisant à des tableaux de combinaison de perturbations spécifiées qui sont actuellement à l'étude.

ANNEXE 4

Cette annexe décrit les essais réalisés et les installations DSL**1 Mali**

Le système HDSL a été introduit au Mali en 1997. A la suite d'une présentation générale du pays, on décrit dans ce document les caractéristiques de ce système et les difficultés rencontrées. Le texte ci-dessous est extrait du Doc. 2/220-F présenté par le Mali au cours de la réunion de la Commission d'études 2 qui s'est tenue à Caracas du 10 au 14 septembre 2001.

1.1 Informations générales sur le pays

D'une superficie de 1 241 231 km², la République du Mali est située entre les latitudes 10° et 25° nord et les longitudes 4° et 12° ouest; c'est un pays continental dont les frontières s'étendent sur 7200 km. La population du Mali en fin 2000 a été estimée à 10 206 244 habitants (population rurale: 7 650 601, population urbaine: 2 555 643). La densité est de 8,22 habitants au km². La population de la capitale Bamako est de 1 059 318 habitants.

Les télécommunications au Mali sont gérées par la Société des télécommunications du Mali (SOTELMA), société d'Etat créée le 9 octobre 1989, qui détenait (jusqu'en février 2001) le monopole national des télécommunications.

Dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière, elle est placée sous la tutelle du Ministre de la communication et sous l'autorité d'un Conseil d'administration. La SOTELMA a pour objet: l'exploitation du service public des télécommunications et le développement des services des télécommunications.

Le nombre total d'abonnés au 31 décembre 2001 est de 49 726, dont 39 222 lignes fixes et 10 530 mobiles (6 003 abonnés AMPS et 4 500 abonnés GSM). Sur 39 041 lignes principales (hors cellulaire), 70% des lignes sont concentrées à Bamako. Les 10 530 mobiles sont aussi tous installés à Bamako. La densité de lignes principales fixes à Bamako est de 2,75 (elle est de 0,40 pour l'ensemble du pays).

1.2 Présentation du système HDSL

Le réseau téléphonique du Mali se caractérise par un très faible niveau de développement (0,45 ligne pour 100 habitants) qui le place derrière d'autres pays à niveau de développement similaire. Le sous-développement du réseau national de télécommunications se manifeste par l'insuffisance de la capacité de raccordements des réseaux locaux qui sont saturés ou vétustes.

Malgré les diverses actions entreprises pour le développement du réseau, celui-ci demeure sous-équipé et n'arrive pas à faire face à la demande sans cesse croissante.

Le problème se pose avec acuité dans certaines zones de Bamako où des quartiers entiers ne disposent pas encore d'installations appropriées. De plus, l'indisponibilité du réseau de Bamako constitue un facteur de dissuasion pour une demande potentielle solvable assez importante.

C'est dans ce contexte que le système HDSL a été introduit dans le réseau de Bamako à partir de l'année 1997. Il y a à la fin de l'année 2000, 1 004 abonnés soit 3,6% des LP de Bamako. L'exploitation des systèmes HDSL installés est satisfaisante. Les problèmes signalés par le service de maintenance sont des pannes d'alimentation qui surviennent généralement pendant la période de pluies.

Un autre problème évoqué est celui relatif à la qualité des paires de cuivre utilisées. Etant donné que le réseau est vétuste dans sa grande partie au centre ville de Bamako, certaines paires utilisées ne sont pas saines.

C'est pour toutes ces raisons que la SOTELMA envisage la mise en œuvre d'un plan de modernisation et d'extension du réseau urbain de Bamako, avec la création de 30 000 lignes fixes.

1.3 Description du système de transmission HDSL

Les équipements utilisés pour les transmissions HDSL sont de type PG-Flex. PG-Flex est un système de transmission filaire universel à faible capacité pour abonné, pouvant desservir jusqu'à 32 canaux d'abonnés, en particulier les services POTS et RNIS. Ce système est fondé sur la technologie de transmission HDSL, la téléalimentation se faisant à partir du centre de commutation. En utilisant des paires de cuivres ordinaires de calibre 24 (0,5 mm), on peut relier au terminal de centre de commutation un terminal distant pouvant être situé à un maximum de 3,3 km. Des baies standard de 19 ou 23 pouces contiennent plusieurs systèmes différents; les cartes de circuits imprimées peuvent être échangées en cours de fonctionnement sans conséquence pour les autres systèmes placés dans la baie. Les unités de canaux POTS utilisent un codage MIC de loi A à 64 kbit/s pour pouvoir assurer des télécopies de Groupe 3 ou permettre l'utilisation de modem à haut débit sur tous les canaux.

Il s'agit d'une ligne à deux paires, à 1 110 kbit/s de format transmission 2B1Q à duplex intégral. Les lignes HDSL duales fournissent 32 canaux de 64 kbit/s avec signalisation, et un canal d'exploitation intégré pour le contrôle de gestion, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un répéteur, d'adapter une boucle ou de sélectionner une paire. L'égalisation adaptative, l'embrouillage ou le codage de ligne 2B1 à quatre niveaux permettent d'accroître la dynamique et de minimiser la diaphonie. En ce qui concerne la configuration du système, la distance maximale entre les terminaux COT et RT est de 3,3 km, lorsqu'on utilise des lignes HDSL de calibre 24 (0,5 mm). Le tableau ci-dessous indique la distance maximale entre le terminal COT et le terminal distant pour divers calibres de fils. Du fait de la nature de la technique de transmission HDSL, les lignes HDSL ne nécessitent aucune adaptation particulière et peuvent comprendre des prises en dérivation sans terminaison, mais ne doivent pas comporter de bobines de charge.

Tableau – Longueurs types de boucle d'abonné relatives au système PG-FLEX

Diamètre du fil	Longueur de la boucle	
	Système à canal 16/32	Résistance
26 AWG (0,4 mm)	2,5 km	686 Ω
24 AWG (0,5 mm)	3,3 km	569 Ω
22 AWG (0,6 mm)	4,2 km	457 Ω
16 AWG (0,9 mm)	5,9 km	322 Ω

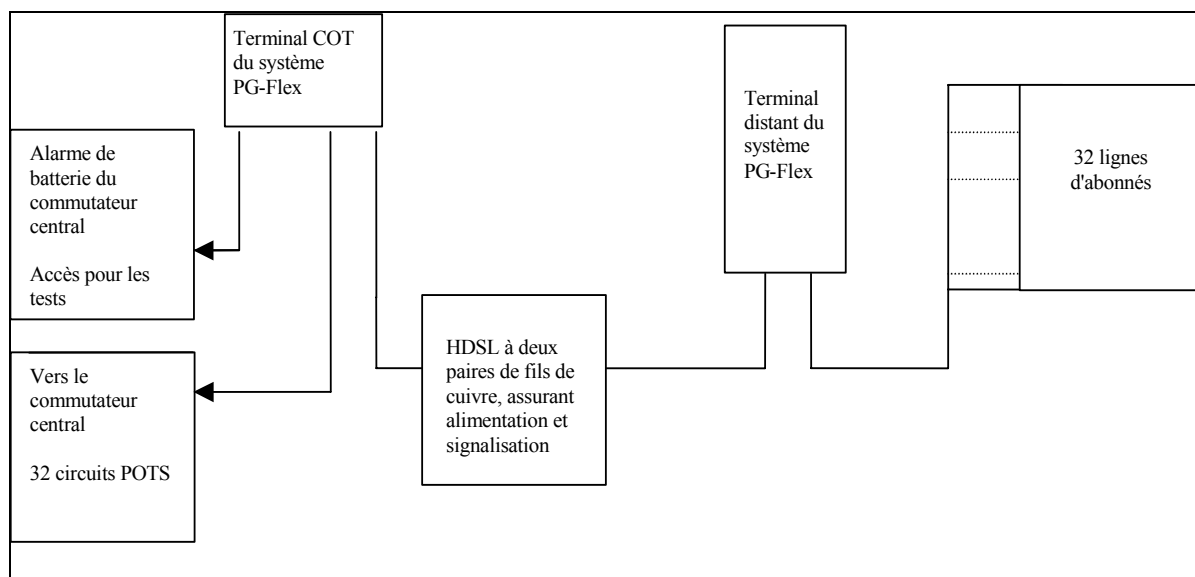
La Figure 1 ci-dessous représente une configuration type de système PG-Flex.

1.4 Conclusion

L'exploitation des systèmes HDSL installés au Mali, est satisfaisante. Les problèmes signalés par le service de maintenance sont en général des pannes de carte d'alimentation généralement pendant la période de pluies.

Un autre problème évoqué est celui relatif à la qualité des paires de cuivre utilisées. Etant donné que le réseau est vétuste dans sa grande partie au centre ville de Bamako, certaines paires utilisées ne sont pas saines.

Figure 1 – Configuration PG-Flex typique



Termes et abréviations

2B1Q	Code en ligne deux éléments binaires un symbole quaternaire (<i>two binary one quaternary line code</i>)
ADSL	Ligne d'abonné numérique asymétrique (<i>asymmetric digital subscriber line</i>)
AGC	Commande automatique de gain (<i>automatic gain control</i>)
AIS	Signal d'indicatif d'alarme (<i>alarm indication signal</i>)
ANSI	Institut national américain de normalisation (<i>american national standards institute</i>)
ATM	Mode de transfert asynchrone (<i>asynchronous transfer mode</i>)
ATU	Unité d'émission-réception ADSL (<i>ADSL transceiver unit</i>)
BER	Taux d'erreur sur les bits (<i>bit error rate</i>)
BRA	Accès au débit de base (<i>basic rate access</i>)
BS	Station de base (<i>base station</i>)
CAP	Modulation d'amplitude et de phase sans porteuse (<i>carrierless amplitude/phase modulation</i>)
CSP	Fournisseur de services concurrentiel (<i>competitive service provider</i>)
CATV	Télévision par câble (<i>cable television</i>)
CEXT	Diaphonie dans le central (<i>central office crosstalk</i>)
CLP	Priorité de perte de cellules (<i>cell loss priority</i>)
CPE	Équipement local d'abonné (<i>customer premises equipment</i>)
CO	Central (<i>central office</i>)
CPN	Réseau des locaux du client (<i>customer premises network</i>)
CRC	Contrôle de redondance cyclique (<i>cyclic redundancy check</i>)
DAVIC	Conseil de l'audiovisuel numérique (<i>digital audio visual council</i>)
DCE	Équipement de transmission de données (<i>data communication equipment</i>)
DDS	Service dataphone numérique (<i>digital dataphone service</i>)
DMT	Tonalités multiples discrètes (<i>discrete multitone</i>)
DSB	Radiodiffusion numérique par satellite (<i>digital satellite broadcast</i>)
DSP	Traitement des signaux numériques (<i>digital signal processing</i>)
DSL	Ligne d'abonné numérique (<i>digital subscriber line</i>)
DSLAM	Multiplexeur d'accès DSL (<i>DSL access multiplexer</i>)
E-1	Système de transmission à 2,048 Mbit/s (<i>2.048 Mbit/s transmission system</i>)
EOC	Canal d'exploitation incorporé (<i>embedded operation channel</i>)
ETSI	Institut européen de normalisation des télécommunications (<i>european telecommunication standards institute</i>)
FDM	Multiplexage fréquentiel (<i>frequency-division multiplexing</i>)
FEC	Correction d'erreur directe (<i>forward error correction</i>)
FFT	Transformée rapide de Fourier (<i>fast Fourier transform</i>)

FR	Relais de trame (<i>frame relay</i>)
FTTB	Fibre jusqu'au bâtiment (<i>fiber to the building</i>)
FTTC	Fibre jusqu'au point de concentration (<i>fiber to the curb</i>)
FTTH	Fibre jusqu'au domicile (<i>fiber to the home</i>)
HDSL	Ligne d'abonné numérique à grand débit (<i>high speed digital subscriber line</i>)
HDSL2	Ligne d'abonné numérique à grand débit (monopaire), Norme ANSI de la deuxième génération de ligne HDSL (<i>high bit-rate digital subscriber line (single pair), ANSI standard for second generation HDSL</i>)
HEC	Contrôle d'erreur d'en-tête (<i>header error control</i>)
HFC	Système hybride de fibre optique/câble coaxial (<i>hybrid fiber coax</i>)
IETF	Groupe d'étude sur l'ingénierie Internet (<i>Internet Engineering Task Force</i>)
IFFT	Transformée de Fourier rapide inverse (<i>inverse fast Fourier transform</i>)
ILF	Filtre en ligne (<i>in line filter</i>)
INI	Interface entre réseaux (<i>inter-network interface</i>)
IP	Protocole Internet (<i>internet protocol</i>)
ISP	Fournisseur de services Internet (<i>internet service provider</i>)
ITV	Télévision interactive (<i>interactive tv</i>)
LAN	Réseau local d'entreprise (<i>local area network</i>)
LFA	Perte de verrouillage de trame (<i>loss of frame alignment</i>)
LOS	Défaut de perte de signal (<i>loss of signal</i>)
LTU	Unité de terminaison de ligne (<i>line termination unit</i>)
MDF	Répartiteur principal (<i>main distribution frame</i>)
MIB	Base d'informations de gestion (<i>management information base</i>)
NID	Dispositif interface réseau (<i>network interface device</i>)
NMS	Système de gestion de réseau (<i>network management system</i>)
NNI	Interface de nœud de réseau (<i>network node interface</i>)
NT	Terminaison de réseau (<i>network termination</i>)
NTU	Unité terminale de réseau (<i>network termination unit</i>)
OAM	Exploitation, administration et maintenance (<i>operation administration and maintenance</i>)
ONU	Unité de réseau optique (<i>optical network unit</i>)
PEXT	Diaphonie extrémité locaux (<i>premises end crosstalk</i>)
PBX	Autocommutateur privé (<i>private branch exchange</i>)
PHY	Couche physique (<i>physical layer</i>)
PON	Réseau optique passif (<i>passive optical network</i>)
POTS	Service téléphonique ordinaire (<i>plain old telephone system</i>)
PPP	Protocole point à point (<i>point-to-point protocol</i>)
QAM	Modulation d'amplitude en quadrature (<i>quadratur amplitude modulation</i>)

REG	Régénérateur (<i>regenerator</i>)
RFI	Interface radiofréquence (<i>radio frequency interface</i>)
RITL	Élément radioélectrique dans la boucle (<i>radio in the loop</i>)
RNIS	Réseau numérique avec intégration des services
RNIS-BE	RNIS à bande étroite
RNIS-LB	RNIS à large bande
ROBO	Télebureau/succursale (<i>remote office/branch office</i>)
SDH	Hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SDSL	Ligne d'abonné numérique symétrique, sera remplacée par la SHDSL (<i>symmetrical digital subscriber line</i>)
SHDSL	Ligne d'abonné numérique à haut débit à une paire (<i>single-pair high speed digital subscriber line</i>)
SNR	Rapport signal/bruit (<i>signal-to-noise ratio</i>)
STB	Unité terminale d'abonné (<i>set top box</i>)
STM	Mode de transfert synchrone (<i>synchronous transfer mode</i>)
SOHO	Professions libérales et télétravailleurs (<i>small office/home office</i>)
SONET	Réseau optique synchrone (<i>synchronous optical network</i>)
T-1	Système de transmission 1,544 Mbit/s (<i>1.544 Mbit/s transmission system</i>)
TC	Convergence de transmission (<i>transmission convergence</i>)
TDM	Multiplexage temporel (<i>time division multiplexing</i>)
TMF	Forum gestion des télécommunications (<i>telecommunication management forum</i>)
TMN	Réseau de gestion des télécommunications (<i>telecommunication management network</i>)
U	Interface de boucle (<i>loop interface</i>)
UIT	Union internationale des télécommunications
UNI	Interface de réseau d'utilisateur (<i>user network interface</i>)
URL	Identificateur uniforme de ressources (<i>universal resource locator</i>)
USB	Bus universel en série (<i>universal serial bus</i>)
VAN	Réseau à valeur ajoutée (<i>value added network</i>)
VDSL	Ligne d'abonné numérique à très grand débit (<i>very high rate digital subscriber line</i>)
VOD	Vidéo à la demande (<i>video on demand</i>)
VTU	Émetteur-récepteur VDSL (<i>VDSL transceiver</i>)
WLL	Boucle locale sans fil (<i>wireless local loop</i>)
WWW	World Wide web (<i>world wide web</i>)