

## RESEARCH OUTPUTS / RÉSULTATS DE RECHERCHE

### Quelques repères techniques pour les autoroutes de l'information

Hogne-Nachtergaele, Véronique; Van Bastelaer, Philippe; d'Udekem-Gevers, Marie

*Published in:*  
Journal de Réflexion sur l'Informatique

*Publication date:*  
1996

*Document Version*  
le PDF de l'éditeur

#### [Link to publication](#)

*Citation for pulished version (HARVARD):*  
Hogne-Nachtergaele, V, Van Bastelaer, P & d'Udekem-Gevers, M 1996, 'Quelques repères techniques pour les autoroutes de l'information: le scénario RNIS Large Bande', *Journal de Réflexion sur l'Informatique*, vol. 33, pp. 8-37.

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Quelques repères techniques pour les autoroutes de l'information : le scénario du RNIS Large Bande

## 1. Introduction

Que sont les autoroutes de l'information (encore appelées "inforoutes") ? La définition en est *floue* et ne fait pas l'unanimité.

Il s'agit d'une métaphore qui permet différentes interprétations.

Dans son discours du 24 janvier 1995, le premier Ministre belge J. L. Dehaene considère, par exemple, que : «L'idée d'un réseau de grandes autoroutes de l'information structuré par les autorités est d'ores et déjà dépassée dans les faits. Ces autoroutes existent en effet déjà sur le plan mondial et sont très largement utilisées. Internet<sup>1</sup> est pratiquement devenu un exemple d'école...» Si tout le monde est d'accord pour dire que l'extension des autoroutes de l'information doit s'entendre au niveau mondial, le concept lui-même d'autoroutes et, par la même, la date de leur mise en oeuvre est diversement comprise.

Contrairement au propos de Dehaene, le Livre blanc de la Commission européenne (1994, p. 26), estime que les autoroutes de l'information sont une vision de l'avenir. Elles y sont définies comme étant «des réseaux à *large bande*<sup>2</sup> où circuleront *rapidement* une *grande variété* d'information ; ... Cette infrastructure est nécessaire au développement de services *multimédia* ; elle utiliserait les techniques de transmission de données les plus avancées (fibres optiques) ; elle tirerait le meilleur parti de la *numérisation* de l'information et de son transfert à grande vitesse (haute définition, *interactivité*, multiplication des fonctions).» Cette définition est voisine de celle proposée par la «House of Commons Trade and Industry Select Committee» (1994) et adoptée de façon générale par les participants au Forum PICT<sup>3</sup> de juin 1994 à Londres (voir Dutton et al., 1994, p. 2). C'est cette acception des autoroutes de l'information qui est également retenue dans la présente analyse.

Le Livre blanc évoque aussi (p. 26) le développement de services sur ces inforoutes, en particulier : l'accès à des banques de données, le courrier électronique et la vidéo interactive. A l'inverse de la véritable vidéo interactive, ces deux premiers services sont évidemment déjà disponibles sur des réseaux à bande étroite (comme Internet).

Etant à large bande et permettant l'interactivité, ces futures autoroutes pourront, en fait, offrir toute une série de services nouveaux tels que la télévision haute définition, le travail en groupe en temps réel sur des documents, le visiophone avec une image de bonne qualité...

Il faut noter qu'un des objectifs des autoroutes est de ne pas se contenter d'offrir des services aux utilisateurs professionnels mais de les étendre aux utilisateurs résidentiels (voir Livre blanc p. 23).

A l'heure actuelle, il est très difficile de faire le point au sujet des projets d'évolution vers les inforoutes. En effet, cette évolution est extrêmement complexe parce que, comme on a coutume de le dire<sup>4</sup>, elle fait converger l'informatique, les télécommunications<sup>5</sup> et la télévision, secteurs qui étaient jadis bien distincts. D'autre part, différents scénarios sont envisageables et la solution retenue variera non seulement selon le délai considéré (court, moyen ou long terme) mais aussi selon les pays, voire même selon les communautés au sein d'un même pays. Enfin, le manque d'informations disponibles est notoire. A cela s'ajoute encore le fait que les imprécisions et les contradictions sont légions !

Face à ce constat, la présente étude se focalise sur le projet d'évolution<sup>6</sup> à long terme des réseaux commutés (cf. ci-dessous) : le RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Service) *Large Bande*<sup>7</sup> (ou broadband ISDN - [Integrated Service Digital Network]). Ce dernier nous paraît synonyme du réseau préconisé par l'Union Européenne et appelé "*réseau de communication intégré à large bande (IBC)*" dans les documents européens officiels (Commission européenne, 1994, p. 116 ; Commission des Communautés européennes, 1994, p. 9).

Le point de vue adopté ici est celui de l'informaticien.

Le but poursuivi est d'essayer de fournir une sorte de modèle technique à ces autoroutes de l'information du futur de type RNIS Large Bande et de préciser, pour les non-techniciens, bon nombre de termes imprécis, voire même utilisés de façon ambiguë dans l'abondante littérature relative à la société de l'information. Une démarche de clarification de la terminologie a donc été effectuée ici et, dès lors, certains

choix, bien sûr critiquables, ont du être faits.

La découpe de notre modèle respecte la hiérarchie du modèle OSI<sup>8</sup> puisqu'elle concerne successivement :

- les applications (ou «services»<sup>9</sup>)
- le protocole de communication le plus adapté (ATM) et
- l'infrastructure physique.

Cette description du modèle en couches successives, du sommet à la base, sera précédée d'un ensemble de définitions de concepts, de fonctions inhérentes aux autoroutes de l'information et de scénarios possibles. Ces définitions sont nécessaires à la compréhension<sup>10</sup> et permettent de fixer un cadre de description pour le RNIS Large Bande.<sup>11</sup>

## 2. Définitions préliminaires

### 2.1. Concepts de base en télécommunication

#### 2.1.1. Définitions

Adoptons les définitions suivantes proposées par

Stallings (1991, pp. 3 et 41) pour le domaine des télécommunications :

«L'information est la signification que l'être humain assigne à des données au moyen de conventions.»

Les données<sup>12</sup> sont des «entités qui sont porteuses de signification.»

Les signaux sont des «encodages électriques ou électromagnétiques de données».

La transmission est «la communication de données par la propagation et le traitement de signaux.»

Dans toute transmission il y a un émetteur, qui envoie les données, un réseau de télécommunication qui en assure le transfert et au minimum un récepteur, qui les réceptionne.

L'émetteur (voir figure 1), par définition, émet un signal électrique ou électromagnétique sur un réseau de télécommunication. Ceci implique si nécessaire de :

- transformer les données à transmettre en signal électrique  $e(t)$  variant dans le temps<sup>13</sup> et
- modifier le signal électrique pour qu'il puisse être transmis à distance<sup>14</sup> sur un support donné.

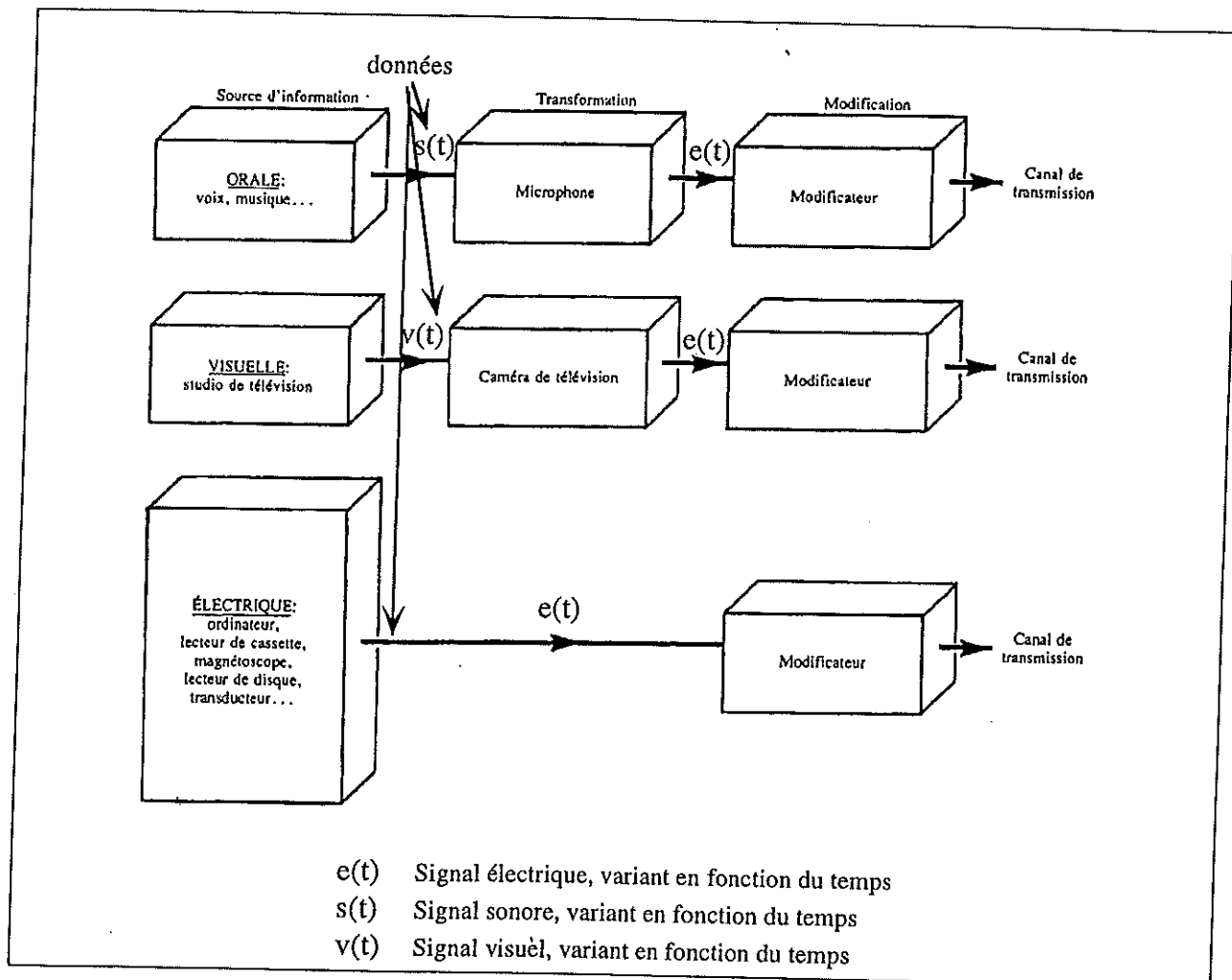


Figure 1 : Emetteur d'une transmission (figure adaptée de Nérrou 1983, p. 2)

Le récepteur remplit les fonctions inverses de l'émetteur : il reconstitue les données émises.

Le réseau de télécommunication a pour fonction de transmettre le signal entre l'émetteur et le récepteur. Il est constitué d'un ensemble de canaux de transmission (éventuellement reliés par des équipements intermédiaires) auxquels sont reliés des équipements intermédiaires ou des terminaux qui communiquent et partagent des ressources communes. En première approximation, un canal de transmission est un lien physique reliant deux entités qui désirent communiquer. Nous précisons par la suite cette notion de canal de transmission.

La forme la plus simple de communication de données est réalisée entre deux appareils (terminaux) qui sont directement reliés par un unique canal de transmission. Mais en général, les choses sont plus compliquées que cela et la communication se fait à travers un réseau, qui par définition est partagé par une multitude d'appareils.

Dans ce cas, l'émetteur et le récepteur sont chacun relié au réseau par un canal de transmission que l'on appelle canal d'accès au réseau, autrement dit le raccordement des utilisateurs.

On parlera de communication de bout en bout pour désigner la totalité du trajet entre un émetteur et un récepteur (impliquant donc le canal d'accès de l'émetteur, la traversée du réseau et le canal d'accès du récepteur).

A l'heure actuelle, deux types fondamentalement

différents de réseaux de télécommunications doivent être distingués : les réseaux commutés ou de commutation et les réseaux non-commutés.

- D'une part, des réseaux dits de commutation permettent de relier les différents terminaux en offrant plusieurs possibilités de trajets pour l'échange des données, un trajet étant constitué d'une suite de plusieurs canaux de transmission (voir figure 2). Dans ce cas, le réseau est constitué d'un ensemble de canaux de transmission reliés par des noeuds dits de commutation. Ces noeuds ont pour fonction principale de déterminer quelle séquence de canaux de transmission constituera le trajet (en gras sur la figure 2) que devront utiliser les données qui doivent être échangées entre deux terminaux (E et R sur la figure 2). Ils sont donc appelés noeuds de commutation, la commutation étant le choix d'un trajet donné parmi d'autres également possibles. Généralement, la technique utilisée pour réaliser la commutation est la technique du routage des données, qui consiste pour chaque noeud à déterminer, en principe sur base de tables d'informations, quelle sera la route à suivre en fonction de l'adresse de destination. De tels réseaux peuvent être pourvus de répéteurs ou d'amplificateurs<sup>15</sup> qui ont pour but de permettre la transmission du signal lorsque de longues distances séparent l'émetteur du (ou des) récepteur(s) potentiel(s). Notons dès à présent que les réseaux qui vont retenir notre attention dans la présente analyse sont commutés.

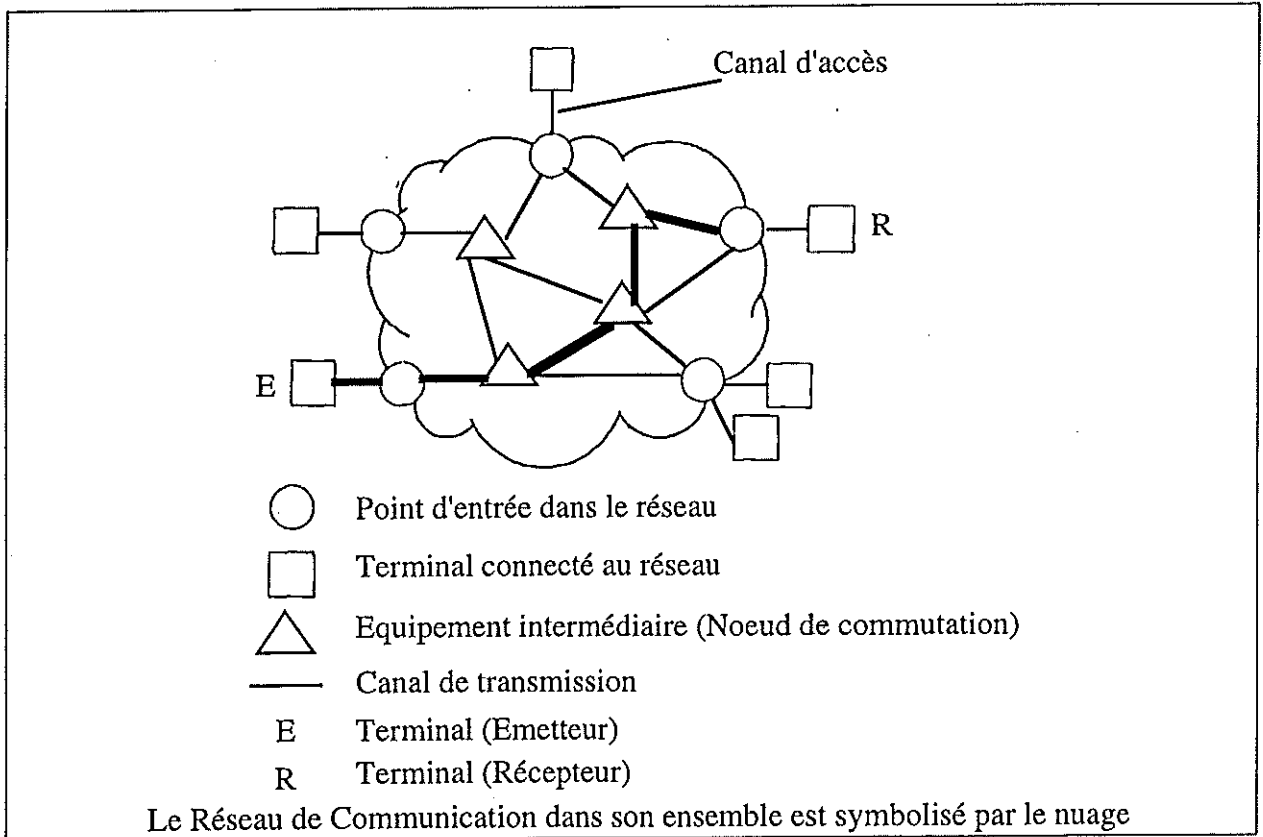


Figure 2 : Schéma général d'un réseau de télécommunication commuté

- D'autre part, certains réseaux, tels les réseaux de télédiffusion (par satellite ou câble coaxial) ou la plupart des réseaux locaux, sont non-commutés (cf. figure 3). Ils fonctionnent par une diffusion de l'information vers tous les terminaux du réseau. Dans ce cas, aucun choix ne doit évidemment être fait quant au trajet que devront suivre les données. De tels

réseaux sont éventuellement pourvus de répéteurs ou d'amplificateurs.

Il existe aussi différentes *topologies* (c'est-à-dire structures) de réseaux. Citons, par exemple, le réseau étoilé, le réseau maillé et le réseau arborescent (cf. figure 4).

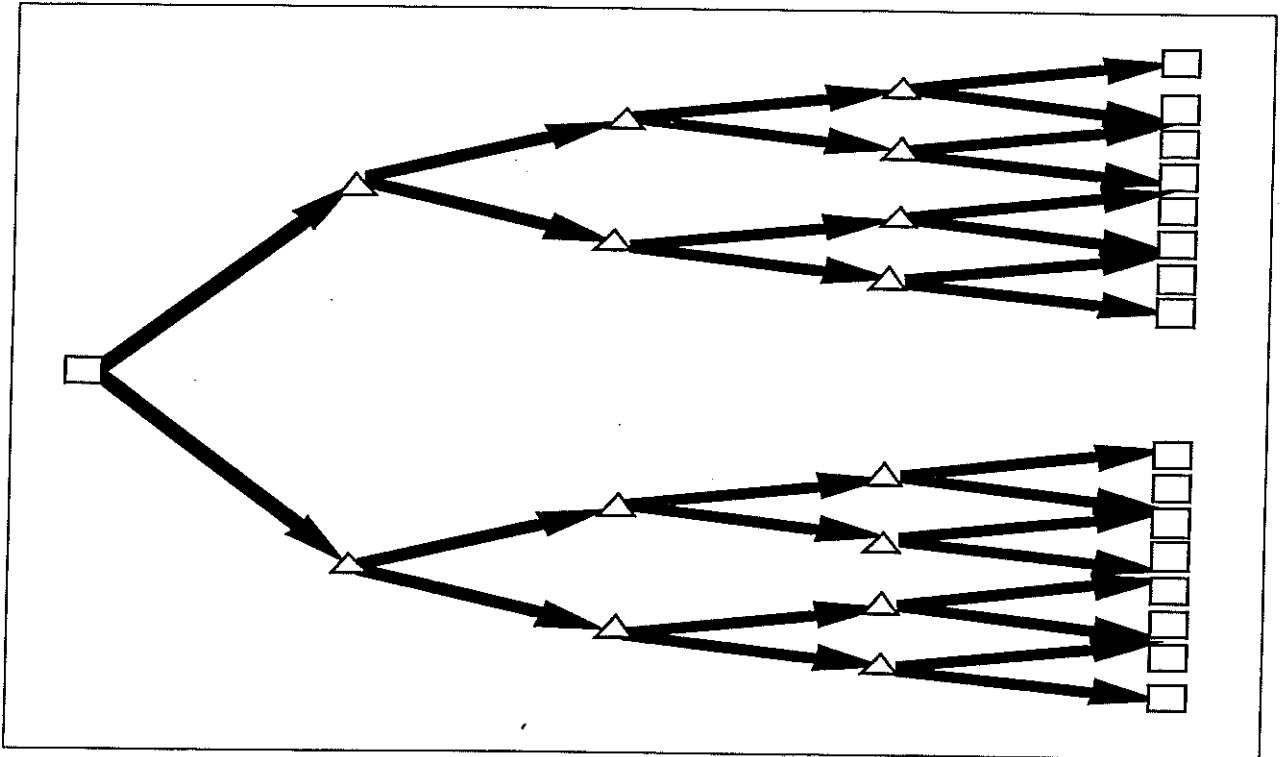


Figure 3 : Exemple de réseau de télécommunication non-commuté

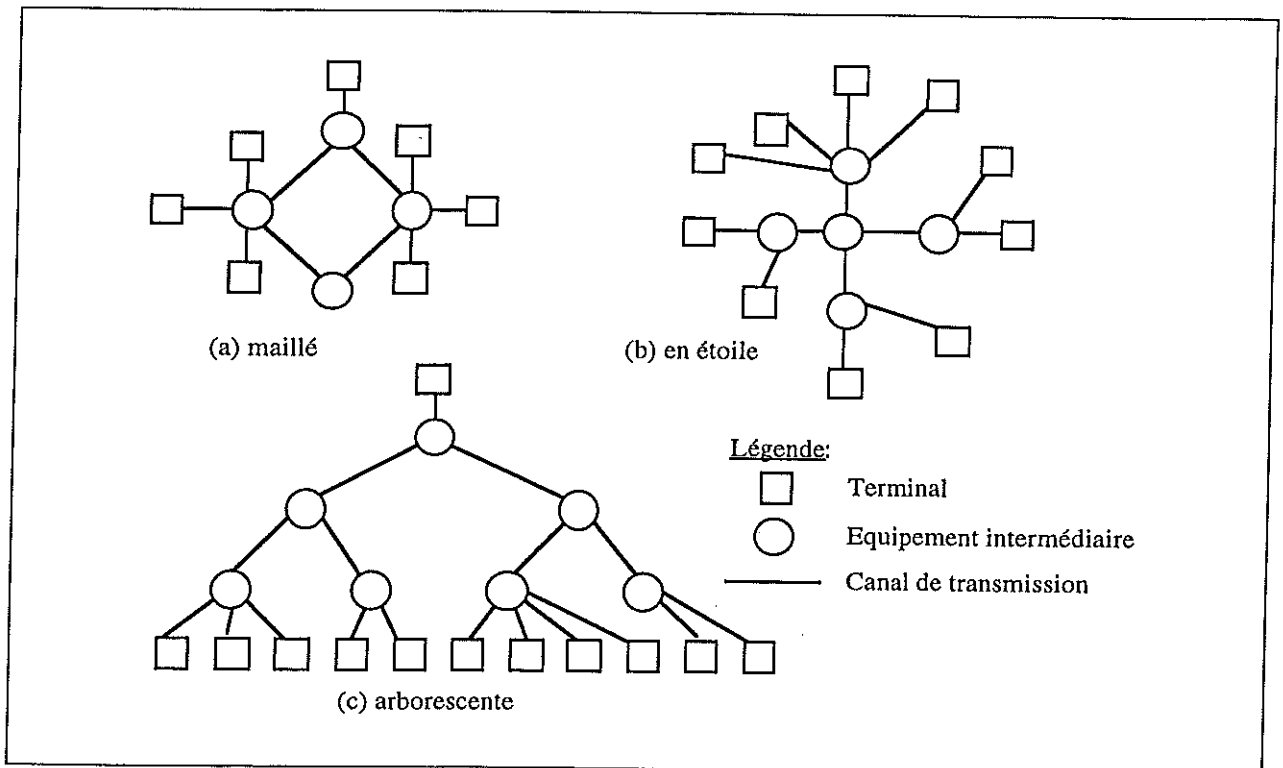


Figure 4 : Différentes topologies de réseaux

Après avoir distingué les deux catégories de réseaux et évoqué la notion de topologie, raffinons maintenant la définition du canal de transmission que nous avons ébauchée ci-dessus. Il s'agit plus précisément d'un lien physique entre deux terminaux, ou entre un terminal et un noeud, ou encore entre deux noeuds adjacents d'un réseau. Il est constitué physiquement d'un certain *support de communication*. Ce support de communication peut être de différentes natures :

hertziens. Mais le raccordement des abonnés (niveau local) est généralement réalisé par des paires torsadées. Les services assurés par le RTC sont : la téléphonie, la télécopie et la transmission de données binaires à bas débit. Notre pays possède un réseau téléphonique bien implanté (4.500.000 lignes<sup>19</sup>).

2. Réseaux de *télédistribution*. Ce sont des réseaux non-commutés de topologie arborescente utilisant intensément les câbles coaxiaux. En particu-

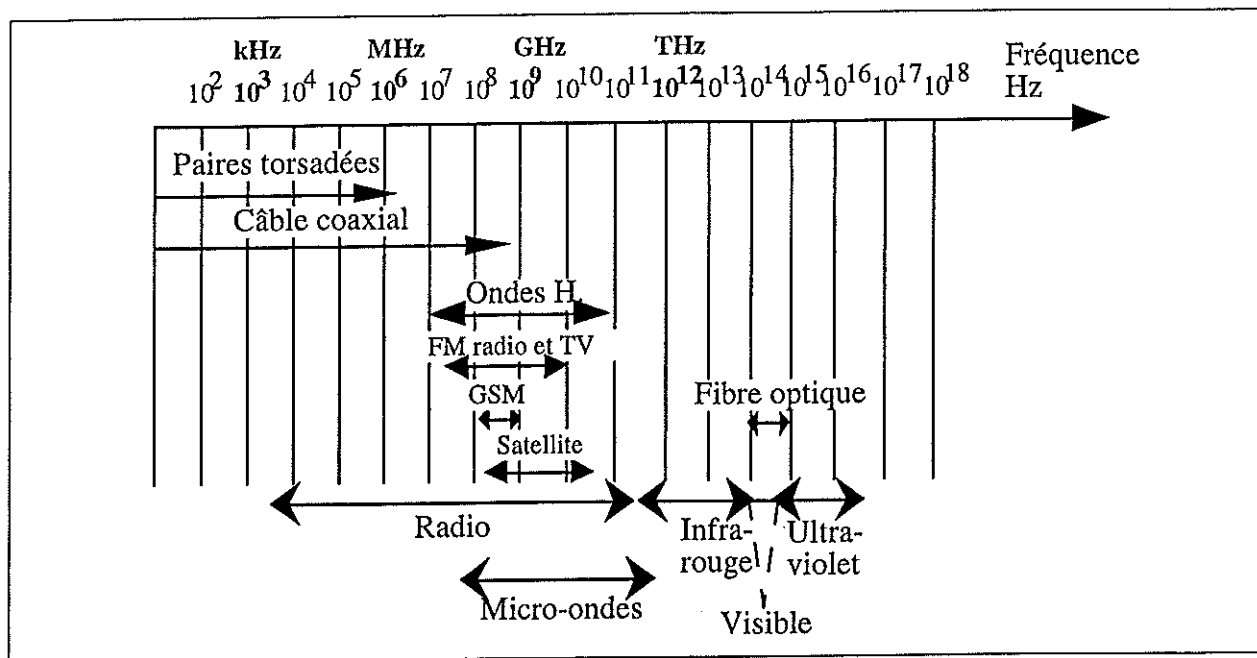


Figure 5 : Différents supports de transmission et fréquences du spectre<sup>17</sup> électromagnétique

1. câbles électriques : paires torsadées ou câbles coaxiaux;

2. ondes hertziennes<sup>16</sup> que ce soient celles utilisées par la radio ou la télévision, celles du GSM (Groupe Spéciale Mobile) ou encore celles des satellites;

3. fibres optiques.

Le support du canal de transmission dicte les fréquences des signaux qu'il peut transmettre. Cette observation fondamentale est illustrée par la figure 5.

### 2.1.2. Exemples de réseaux de télécommunication actuels en Belgique

Les réseaux de télécommunication actuellement disponibles pour le public belge sont les suivants :

1. Réseaux *publics fixes* de Belgacom. Parmi ces réseaux, citons les lignes louées<sup>18</sup> à grand débit (analogiques ou digitales), le réseau de commutation par paquets DCS (Data Communication Service), le RNIS (Bande Etroite) appelé Aline et le réseau téléphonique commuté (RTC). Ce dernier est un réseau qui comporte quatre niveaux principaux : international, interzonal (à structure maillée), zonal (à structure étoilée) et local. Il recourt notamment à la fibre optique, aux câbles coaxiaux et aux faisceaux

liés, l'accès des abonnés se fait sur câble coaxial. La Belgique présente la particularité d'avoir le taux de pénétration du câble coaxial pour la télédistribution le plus élevé au monde (Roberts, 1995) (97 % des foyers raccordés au câble).

3. Réseaux de *télédiffusion par satellite*. Ils sont non-commutés et impliquent des antennes de réception individuelles pour capter les ondes hertziennes des satellites.

4. Réseaux *terrestres de radio et télédiffusion* (non-commutés).

5. Réseau *GSM* (commuté).

6. Réseau *Internet* qui est un ensemble hétérogène composé à la fois de lignes louées et de sous-réseaux commutés.

7. Réseaux à valeur ajoutée. Ces réseaux étant trop polymorphes, nous n'en reparlerons plus.

### 2.1.3. Définitions complémentaires

Un certain nombre de définitions complémentaires nous seront utiles ultérieurement : la relation, le mode de fonctionnement et le temps de transmission.

#### Notion de relation

Nous utilisons ici le terme *relation* avec un sens

générique. Par relation, nous entendons donc aussi bien la notion de canal de transmission ou encore la communication de bout en bout entre émetteur et récepteur au travers d'un réseau.

Il existe différents types de relations : point à point, multipoint et diffusée (cf. figure 6).

- On parle de *relation point à point* lorsque elle ne met un émetteur en relation qu'avec un seul récepteur.

- La relation *multipoint* encore appelée *multiple* ou *multicast* ou *point à multipoint* permet de transmettre

quelle que soit la topologie du réseau.

### Mode de fonctionnement d'un réseau

Tout réseau de télécommunication supporte l'établissement de communications entre terminaux qui y sont reliés. Ces communications sont établies selon deux modes de fonctionnement distincts. Il s'agit des modes connecté et non connecté :

- Le *Mode non connecté* («Connection-Less Network Service» = CLNS) se dit d'un mode de fonctionnement d'un réseau de télécommunication dans

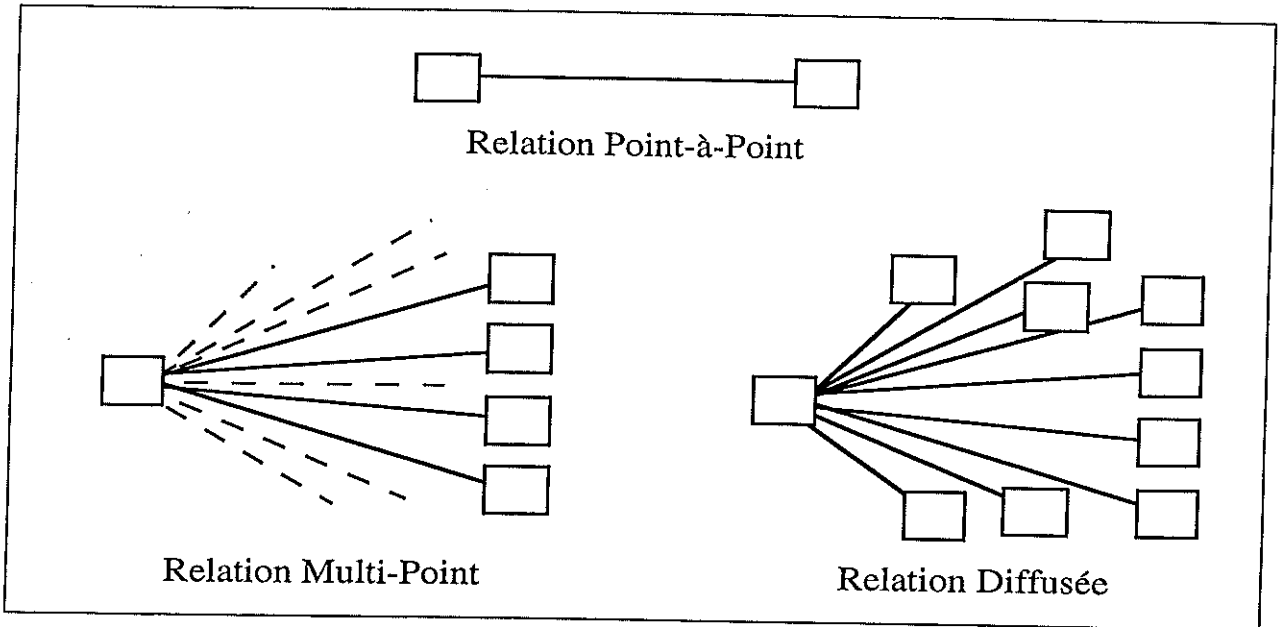


Figure 6 : Différents types de relation

une même information d'un émetteur vers quelques correspondants sélectionnés<sup>20</sup> parmi un ensemble de récepteurs potentiels.

- Et la relation *diffusée* ou *broadcast* permet de diffuser une même information d'un émetteur vers tous les récepteurs potentiels.

Ainsi, à titre d'exemple, le réseau téléphonique actuel est mal adapté à la relation multiple ou à la relation diffusée mais il assure une relation point à point. En revanche, le réseau de télédistribution supporte une relation de type diffusé. En effet, la station de télévision émet l'information vers tous les postes de télévision raccordés au réseau. De plus, sur ce réseau de télédistribution, la chaîne de télévision Canal + génère une communication de type multipoint au travers du réseau, à destination du nombre restreint d'abonnés qui disposent du décodeur. Chaque station réceptrice reçoit l'information qui est diffusée au travers du réseau, mais seuls les abonnés disposant du décodeur «Canal +» sont en mesure de comprendre l'information. Il s'agit alors d'une relation de type multipoint.

Notons cependant qu'il est généralement possible d'établir des relations point-à-point, multipoint ou diffusée entre des terminaux connectés au réseau,

lequel le transfert de chaque donnée se fait indépendamment de celles qui précèdent ou qui suivent ; chaque donnée doit donc contenir l'identification de l'émetteur et des récepteurs.

- Le *Mode connecté* («Connection-Oriented Network Service» = CONS) se dit d'un mode de fonctionnement d'un réseau de télécommunication dans lequel une relation est négociée avant le transfert entre les points finaux, maintenue pendant celui-ci et terminée après lui. Dans ces conditions, chaque donnée ne doit pas contenir l'identification des points finaux.

### Délai de propagation

Lorsqu'un signal est transmis au travers du réseau à partir de la source, un certain temps, que nous appellerons *délai de propagation*, s'écoule avant qu'il ne parvienne entièrement au destinataire. Ce délai de propagation est donc le temps nécessaire à l'acheminement du signal au travers du réseau jusqu'au destinataire. Il dépend des temps de transmission sur l'ensemble des canaux parcourus, des temps de propagation sur ces canaux et des temps de présence dans chacun des noeuds visités.

• Le *temps de transmission* d'un signal sur un canal est le temps nécessaire à l'émission du signal sur ce canal. Ce temps est le rapport de la longueur du signal à la capacité du canal (cf. paragraphe 2.2.2.1).

• Le *temps de propagation* sur un canal de transmission est le temps qui sépare le début de l'émission du signal du début de sa réception à l'autre bout du canal de transmission. Il est fonction de la longueur du canal et de la vitesse de propagation des signaux électriques. Cette vitesse de propagation est pratiquement indépendante du type de support. Elle est de l'ordre de grandeur de la vitesse de la lumière, soit 300 000 Km par seconde.

• Le *temps de présence* du signal au sein d'un noeud est constitué du temps de traitement du signal par le noeud ainsi que du temps d'attente éventuel avant émission sur le canal de transmission.

Par exemple, dans un réseau où la transmission se fait par émission de paquets (résultant de la division du signal à émettre en morceaux de taille restreinte), le délai de propagation de chaque paquet est obtenu en faisant la somme des temps de présence dans chaque noeud, des temps de transmission et des temps de propagation dans chaque canal.

## 2.2. Aperçu général des fonctions indispensables aux autoroutes de l'information

Les futures autoroutes de l'information présentent des particularités qui les singularisent parmi les réseaux de télécommunication. Ces particularités ont déjà été citées<sup>21</sup> dans la définition proposée par le Livre blanc. Plus précisément, trois fonctions<sup>22</sup> conjuguées se révèlent indispensables à la mise en oeuvre de toutes les possibilités techniques escomptées des autoroutes de l'information:

- la numérisation et le multimédia
- les hauts débits (et la large bande)
- l'interactivité.

### 2.2.1. Numérisation et multimédia

La littérature sur les autoroutes de l'information évoque fréquemment l'importance du «tout numérique». La continuité numérique d'un bout à l'autre de la communication est, en effet, fondamentale et permet le multimédia avec comme corollaire l'intégration des services. Tout ceci mérite quelques explications.

Précisons tout d'abord les concepts d'*analogique* et de *numérique* (ou *digital*). Ils correspondent grossièrement à ceux de «continu» et de «discret». Plus précisément, ces concepts doivent être définis en fonction de leur contexte : données, signaux ou transmission (cf. paragraphe 2.1.1.)

#### 2.2.1.1. Données numériques ou analogiques

Ainsi des *données* comme la voix et la vidéo (ou images animées) sont dites «*analogiques*» car elles

prennent des valeurs continues dans un intervalle. De même, la couleur au sein d'une image photographique est également une donnée analogique. Les *données numériques* prennent des valeurs discrètes. Un exemple familier de données numériques est le texte. D'une façon plus générale, toute donnée informatique est également numérique. Un signal télégraphique morse ne peut prendre que deux valeurs précises (court ou long).

Tableau 1 : Exemples typiques de données analogiques et de données numériques

	Données analogiques	Données numériques
Statiques	Photographie	Texte Données informatiques
Dynamiques	Voix Vidéo	Signal morse

Il faut noter que la voix, la vidéo et le signal morse sont des données qui varient en fonction du temps, elles peuvent donc être qualifiées de «dynamiques» tandis que le texte, les données informatiques et l'image photographique sont «statiques» (cf. 2.2.2.3.).

Certaines variétés de données du tableau 1 sont, en quelque sorte, les types de base : la voix caractérise les données du secteur de la téléphonie, la vidéo, celles du secteur télévisuel et les données numériques, celles du secteur informatique. Il existe évidemment d'autres types qui peuvent être considérés comme dérivés. Par exemple, un graphique ou une image fixe<sup>23</sup> peuvent être perçus comme une version statique de la vidéo.

#### 2.2.1.2. Signaux numériques ou analogiques

Venons en maintenant au contexte des signaux. Un *signal analogique* est une onde électromagnétique qui varie de façon continue en fonction du temps (cf. figure 7). Un *signal numérique* est aussi une onde électromagnétique qui elle, présente une série de créneaux ; par exemple, un niveau de voltage constant positif peut représenter la valeur binaire 1 et un niveau de voltage constant négatif peut représenter la valeur binaire 0 (cf. figure 7). Généralement, un signal numérique est codé selon un code à deux valeurs (pour représenter respectivement la valeur 0 et la valeur 1) et sera appelé plus précisément un *signal binaire*.

Des données numériques peuvent donc être codées par des signaux binaires, avec un niveau de voltage propre à chacune des deux valeurs binaires.

Des données analogiques peuvent être représentées par un signal analogique. Mais elles peuvent également, après codage, être représentées par des signaux numériques (et en particulier binaires). Ceci est illustré par la figure 8.

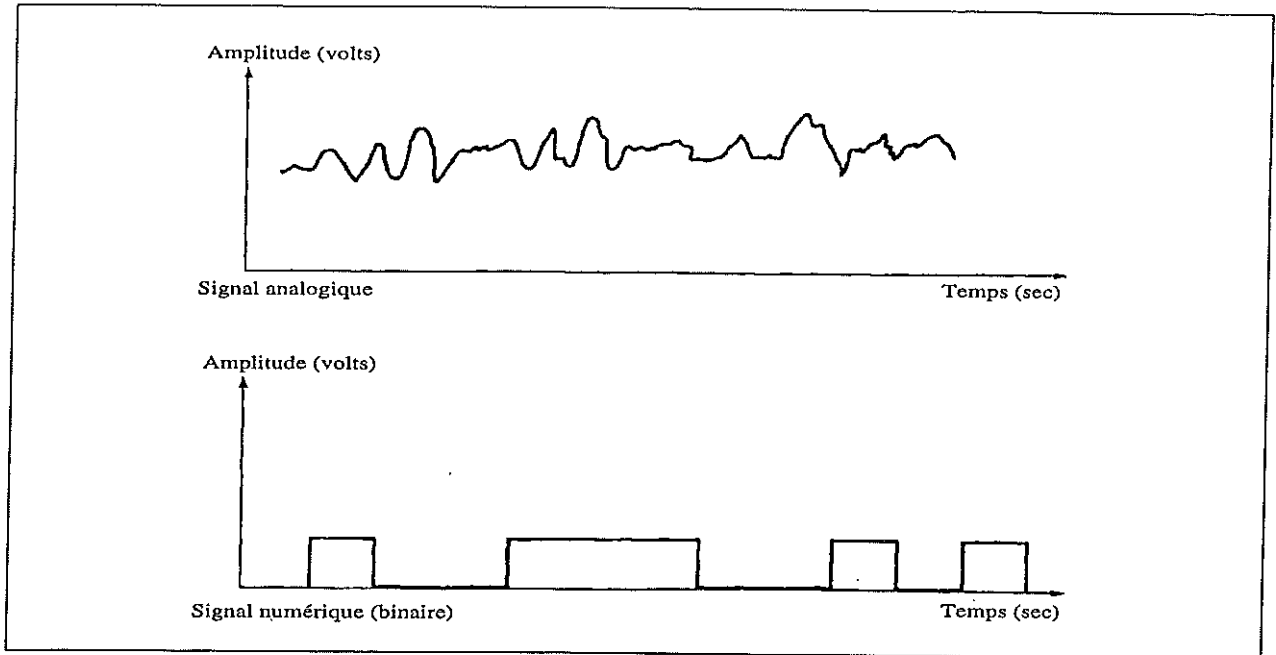


Figure 7 : Exemples de signal analogique et de signal numérique (binaire)  
 (Adaptée de Stallings, 1991, p. 33)

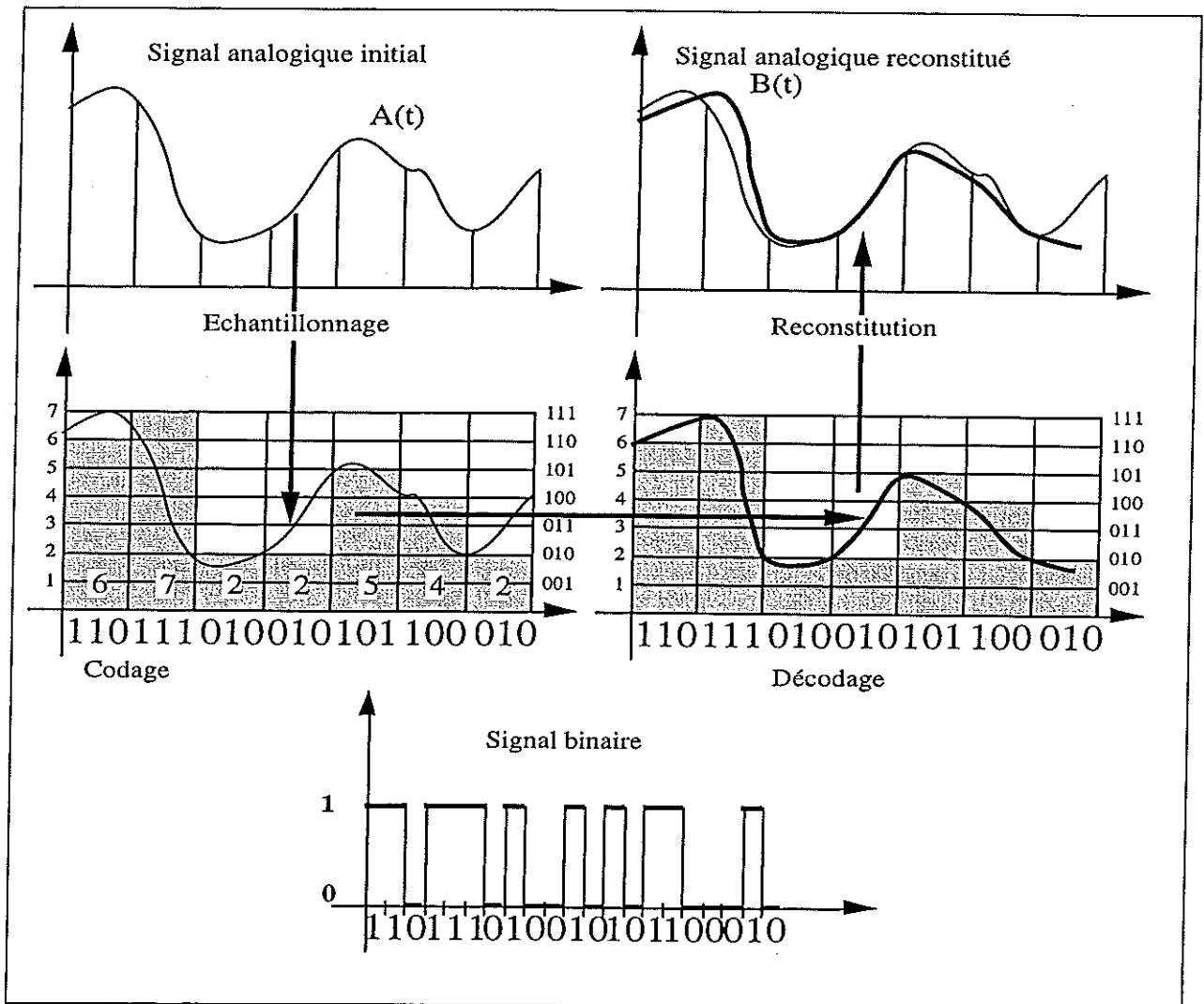


Figure 8 : Représentation de données analogiques par un signal binaire

Par exemple, la voix (si on se limite à la qualité du téléphone et donc à une largeur de bande de 4000 Hz) est codée en *échantillonnant* 8000 fois par seconde, en limitant les échantillons à des valeurs entières comprises entre 0 et 255 et en représentant chaque échantillon par une suite de 8 bits ce qui correspond à une production de 64 Kb/s (cf. tableau 3).

Dans le cas de la vidéo, une technique classique consiste à décomposer l'image en une série de points délimitée par une grille de 720 lignes et 576 colonnes, chaque point étant caractérisé par une couleur qui peut prendre 1.000.000 de valeurs différentes et est donc codée par une série de 20 bits ; chaque image donne ainsi lieu à un ensemble de  $720 \times 576 \times 20 \text{ bits} = 8.294.400 \text{ bits}$ . Une séquence vidéo de 25 images par seconde produit donc  $25 \times 8,29 \text{ Mb}$  toutes les secondes soit un signal à 207,3 Mb/s.

La numérisation de données analogiques est quasi toujours basée sur le même mécanisme de découpage en fragments et de représentation de ces fragments par un code binaire; un mécanisme inverse de décodage et de reconstitution est utilisé pour reconstituer l'information initiale. Il peut résulter de l'échantillonnage et du codage une certaine perte d'information; celle-ci peut être contrôlée par le nombre de bits utilisé pour représenter une information donnée. La règle générale que l'on peut comprendre intuitivement est que plus l'information à représenter est riche de détails, de nuances, de couleurs, de mouvements, d'harmoniques, plus elle nécessitera de bits (cf. tableaux 3 et 4).

### 2.2.1.3. Transmission numérique ou analogique

Considérons enfin la transmission. Un important paramètre de tout système de transmission est la force du signal à transmettre. Lorsqu'un signal se propage le long d'un canal de communication, il y aura une perte ou *atténuation* de la force de ce signal. Pour compenser cela, on peut placer des *amplificateurs* en différents points du canal pour augmenter la force du signal (*transmission analogique*) ou des *répéteurs* qui génèrent à nouveau le signal (*transmission numérique*). Les amplificateurs présentent l'ennui majeur, dans le cas des données numériques, d'amplifier non seulement les données elles-mêmes mais aussi le bruit inhérent à la transmission et donc d'introduire des erreurs. Les répéteurs n'ont pas cet inconvénient.

### 2.2.1.4. Avantages de la numérisation

Au total, la continuité numérique d'un bout à l'autre de la communication signifie donc que toutes les données, qu'elles soient analogiques ou numériques, sont encodées sous forme de signaux numériques et que ces derniers font l'objet de transmission numérique via le recours éventuel à des répéteurs.

Cette migration vers les techniques utilisant des signaux numériques et la transmission numérique

s'explique par la conjugaison de nombreuses raisons (cf. Stallings 1991, p. 51 et TITAN 1995, p.4).

- Tout d'abord, on a observé une remarquable *chute de prix et de la taille* des infrastructures numériques. On ne peut en dire autant pour les équipements analogiques.

- Ensuite le numérique permet d'offrir au consommateur une *qualité* inégalable. (Le gain de qualité offert par le numérique comparé à l'analogique se laisse déjà entrevoir au public par la supériorité manifeste du compact disque sur le disque noir.)

- Il confère aussi une grande *souplesse* au système. En effet, il convient pour tout support de communication. Il offre un "stockage aisé sur bande magnétique ou support magnéto-optique... [et]... un traitement aisé sur P.C. ou serveur." (TITAN 1995, p. 4). Il apporte beaucoup de flexibilité au niveau du format des images, de la sélection des langues et des sous-titres pour la vidéo.

- De plus, il rend possible une amélioration drastique de l'*efficacité*. En effet, d'une part, les nouvelles techniques de compression des images (voir paragraphe 3.1) ne sont réalisables que grâce au numérique. D'autre part, comme la construction de canaux à large bande<sup>24</sup> (que ce soit via la fibre optique, le câble coaxial ou les ondes transmises par satellites) est devenue courante, il est nécessaire de recourir à un haut degré de multiplexage<sup>25</sup> de façon à utiliser efficacement les capacités disponibles. Or ceci se réalise plus facilement et à meilleur marché avec des techniques numériques.

- En outre, l'*intégrité* des données est mieux assurée étant donné la supériorité des répéteurs sur les amplificateurs.

- Enfin, les techniques de chiffrement ou de brouillage qui permettent d'assurer la *sécurité* peuvent s'appliquer facilement à des données numériques ou numérisées.

- Et, *last but not least*, l'*intégration* de la voix, de la vidéo et des données numériques au sein du *multimédia* est permise grâce à la numérisation.

### 2.2.1.5. Multimédia

Le terme «multimédia» est à la mode actuellement et employé très fréquemment.

Historiquement, comme l'explique Fidler (1994, pp.30-31), le multimédia a d'abord été considéré comme le résultat de la convergence de (mass)-média<sup>26</sup>. Le mot média se définit comme "tout support de diffusion massive de l'information (presse, radio, télévision, cinéma, publicité, etc." Selon ce même auteur, "le concept de *convergence de média* se trouvait déjà dans la tête de certains visionnaires de la fin des années 60 mais ce n'est qu'en 1979 qu'il se traduisit graphiquement sous la forme de trois cercles se recouvrant partiellement et étiquetés 'Industrie de la Diffusion et des Images animées', 'Industrie de la Presse et de la Publication' et 'Industrie de l'Ordinateur'. Ce diagramme fut dessiné par

Nicholas Negroponte pour symboliser sa proposition de construction du 'Media Laboratory'<sup>27</sup> au 'Massachusetts Institute of Technology' de Cambridge. Negroponte et d'autres du MIT prévoyaient que la conjonction future de ces trois industries allait former un nouveau modèle communicationnel. Ils pensaient que chacune de ces industries allaient continuer à évoluer mais que les domaines les plus riches en opportunités se trouvaient à leur intersection. " (Fidler 1994, pp.30-31)

Depuis lors, le vocable "multimédia" a changé de sens et ne connaît pas de définition unanimement admise. Nous considérons ici le multimédia<sup>28</sup> comme un ensemble de services<sup>29</sup> qui utilise le seul support numérique, pour le traitement et la transmission des différents types de données (voix, vidéo, texte) et qui conserve les liens logiques entre ces différents types<sup>30</sup>.

S'il ne fait pas nécessairement appel aux télécommunications (le CD-i<sup>31</sup> est bien un équipement multimédia<sup>32</sup>), le multimédia n'offre ses pléines potentialités qu'en recourant aux réseaux.

Et précisément, grâce à la numérisation, toute inforoute sera donc, par essence même, multimédia. A long terme, on va voir apparaître des terminaux combinant en les améliorant la totalité des fonctions du téléphone, du télécopier, de la chaîne haute fidélité, de l'ordinateur et du téléviseur haute définition - magnétoscope. Et ces réseaux multimédia que constitueront les futures autoroutes de l'information pourront assurer une grande variété de services (cf. la première colonne de l'annexe) : ils pourront donc tous, quel que soit le scénario dont ils sont l'aboutissement, être qualifiés, au niveau conceptuel, de réseaux « à intégration de services ».

### 2.2.2. Hauts débits et large bande

On affirme couramment que les autoroutes de l'avenir devront être à « large bande » et véhiculer des signaux à « hauts débits ». Le lien entre ces deux concepts mérite quelques explications.

Commençons par des définitions.

#### 2.2.2.1. Définitions

Deux notions importantes déterminent l'adéquation d'un canal de transmission à transmettre un signal donné : ce sont, d'une part, la largeur de bande du canal et, d'autre part, la largeur utile du spectre du signal. Ces deux notions ne peuvent se comprendre sans quelques concepts préliminaires que voici.

Tout canal de transmission peut être caractérisé par une courbe dite *courbe d'atténuation* (cf. figure 9) qui indique la manière dont le canal transmet des signaux analogiques simples appelés signaux sinusoïdaux. Ceux-ci sont caractérisés notamment par leur fréquence exprimée en Hertz (Hz). Plus précisément, la courbe d'atténuation exprime

l'atténuation (exprimée en décibels [dB] par km) causée par le canal à un signal sinusoïdal en fonction de la fréquence de celui-ci. La courbe d'atténuation d'un canal, et en particulier la forme (en J ou en U) de cette courbe, est fonction du support même du canal.

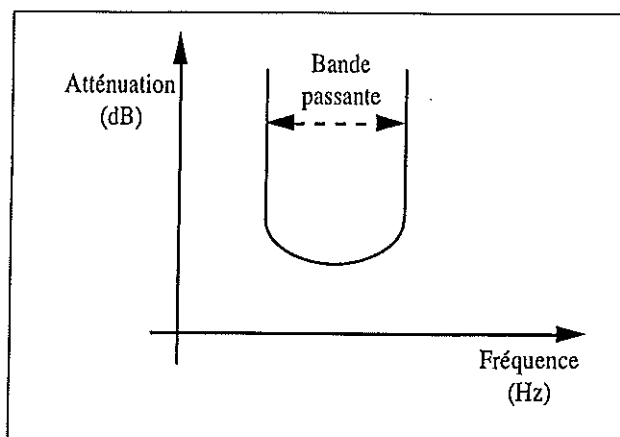


Figure 9 : Exemple de courbe d'atténuation (en forme d'U) d'un canal de transmission et bande passante correspondante

On appelle *bande passante* (cf. tableau 2 et figure 9), la gamme des fréquences pour lesquelles l'atténuation est faible et, donc, la gamme des signaux sinusoïdaux que le canal est capable de transporter sans atténuation notable. Notons que certains canaux comme la fibre optique peuvent disposer de plusieurs bandes passantes. La largeur de la bande passante ou, plus simplement, *la largeur de bande*, exprimée en Hertz, est l'écart entre la plus haute et la plus basse fréquence de la bande passante. Il faut remarquer que le réseau téléphonique, bien qu'utilisateur d'une combinaison de paires torsadées, de câbles coaxiaux et de fibres optiques (cf. paragraphe 2.1.2.) a une bande passante restreinte artificiellement (à des fins de multiplexage) : les limites de cette bande sont ramenées respectivement à 300 et à 3300 Hz et donc la largeur de bande correspondante est de 3.000 Hz (ou 3 KHz).

D'autre part, de manière un peu simplifiée, on peut dire, comme l'a démontré Fourier en 1812, que tout signal même numérique peut être décomposé en une combinaison de signaux sinusoïdaux de fréquences différentes. Ceci est illustré par la figure 10.

Dans le cas particulier d'un signal périodique c'est à dire d'un signal qui se répète indéfiniment, cette combinaison comprend un signal de fréquence dite « fondamentale » et des signaux de fréquences multiples de la fondamentale qu'on appelle fréquences « harmoniques ». Le *spectre* (cf. figure 11) du signal est un diagramme qui indique l'amplitude relative de chaque signal sinusoïdal composant le signal (aussi appelée composante) en fonction de sa fréquence.

Tout signal peut être caractérisé par son spectre.

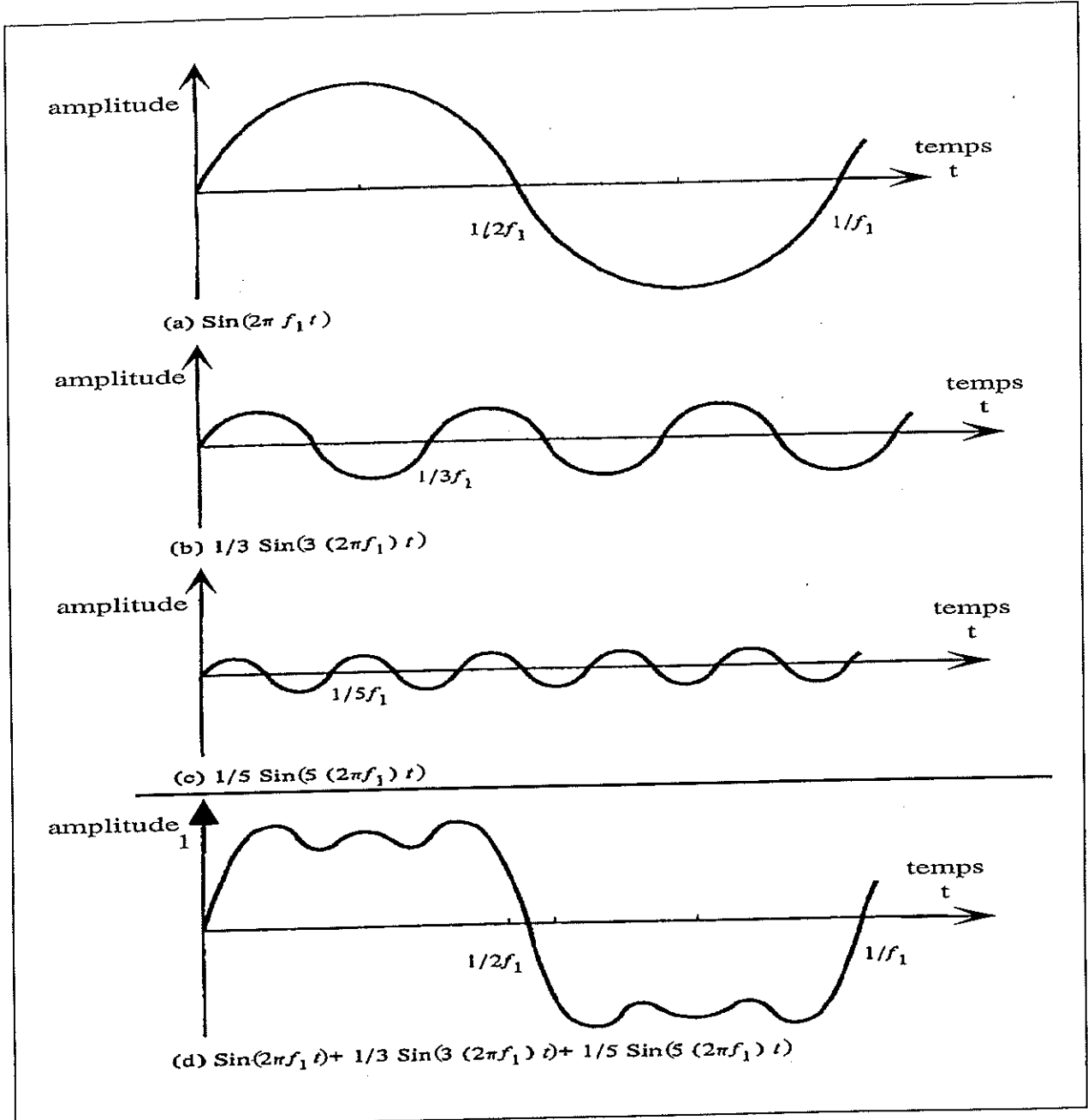


Figure 10 : Signal (d) avec 3 composantes de fréquence (a, b, c) (figure adaptée de Stallings, 1991, p.36)

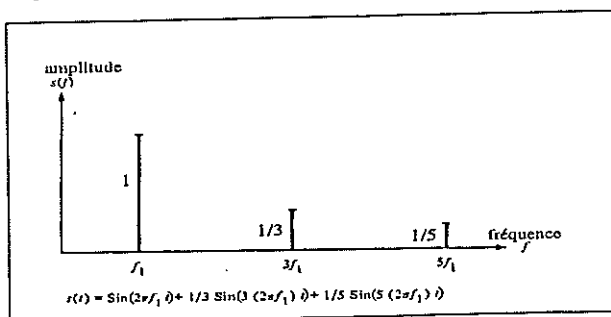


Figure 11 : Spectre du signal (d) de la figure 10 (figure adaptée de Stallings, 1991, p. 37)

La *largeur du spectre* est l'écart entre la plus grande et la plus petite fréquence de ce spectre.

Dans l'exemple illustré par la figure 11, la largeur du spectre est de  $(5f_1 - f_1)$  soit  $4f_1$ . Une caractéristique des signaux numériques est que la largeur de leur spectre est infinie! Heureusement, plus la fréquence d'une composante augmente, plus son amplitude est petite.

Si l'on veut transmettre sans aucune distorsion un signal sur un canal de transmission donné, il est clair que son spectre doit être entièrement compris au sein de la bande passante du canal. Ceci pose donc un grave problème pour les signaux numériques vu leur spectre infiniment large. On peut prouver cependant que, vu la décroissance des amplitudes pour les hautes fréquences, la distorsion reste tolérable et le signal peut être reconstruit après sa transmission si

le canal transmet sans atténuation notable une partie suffisante du spectre. La largeur de cette partie est appelée ci-dessous *largeur utile du spectre d'un signal*.

D'autre part, le *débit d'un signal binaire* (cf. tableau 2) est le nombre de bits qu'il contient par unité de temps. Il est généralement admis que **les bas débits** (cf. tableau 3) se mesurent en milliers de bits par seconde (Kb/s) tandis que **les hauts débits** (cf. tableau 4) se chiffrent en millions (Mb/s).

La *capacité d'un canal de transmission* (cf. tableau 2) peut se définir comme étant le nombre maximum de bits qu'il peut transmettre par unité de temps.

Tableau 2 : Précisions de vocabulaire concernant le signal et le canal

Signal binaire	Canal de transmission
Spectre	bande passante
largeur du spectre de fréquence (en Hertz) largeur utile du spectre	largeur de bande (passante) (en Hertz)
débit (en bits par seconde)	capacité (en bits par seconde)

Tableau 3 : Bas débits et exemples correspondants en Belgique (adapté de Théry 1994, p. 39)

Débits en Kb/s	Exemples correspondants
1 3	GSM (radiotéléphone mobile)
6 4	Communication téléphonique classique sans compression Un canal Aline (RNIS bande étroite)
1 2 8	Visiophone numérique de bas de gamme (avec image de qualité médiocre)

Tableau 4 : Hauts débits et exemples correspondants en Belgique (adapté de Théry 1994, p. 39)

Débits en Kb/s	Exemples correspondants
1,4	Disque compact
1,5	Visiophone avec image de qualité Consultation multimédia ou jeux vidéo
± 4, 5	Image de T.V. de qualité habituelle (avec compression <sup>33</sup> MPEG2)
± 2 5	Image de T.V. haute définition (avec compression MPEG2)
1 5 5	Canal en fibre optique entre centraux
2 0 0	Image de T.V. de qualité habituelle sans compression numérique <sup>34</sup>
6 2 2	Canal en fibre optique entre centraux
2 4 8 8	Canal en fibre optique entre centraux
8 0 0 0 0	Capacité maximale actuelle d'un commutateur ATM <sup>35</sup>

**2.2.2.2. Observations fondamentales**

Après ces définitions et considérations, soulignons quelques observations fondamentales. Tout d'abord, il y a une relation biunivoque entre le débit et la largeur de spectre d'un signal : plus grand est le débit d'un signal, plus grande est la largeur de son spectre et réciproquement. Or, comme on l'a déjà précisé, la largeur utile du spectre d'un signal ne peut évidemment être supérieure à la largeur de la bande passante du canal qui le transmet. Dès lors, **plus grand est le débit d'un signal, plus grande doit être la largeur de bande du canal qui le transmet**. Ce fait peut se comprendre si l'on réalise que la distorsion d'un signal lors de sa transmission sur un canal diminue quand la largeur de bande de ce canal augmente. Ceci est illustré à la figure suivante (voir fig.12). La partie supérieure de cette figure montre un signal binaire de 2000 b/s avant transmission. Le reste de la figure donne ce même signal après transmission selon différentes largeurs de bande. On peut constater que la qualité du signal reçu s'améliore avec l'augmentation de la largeur de la bande. Avec une largeur de bande de 4000 Hz, la qualité est très bonne. *Dans le cas d'un signal binaire, si le débit du signal est de W b/s, alors le signal pourra être reçu correctement après transmission par un canal dont la largeur de bande est de W/2 Hz.* Cette loi essentielle avait déjà été énoncée, en 1924, par Nyquist.

La deuxième observation fondamentale est la suivante : pour un canal de transmission avec une courbe d'atténuation en forme d'U, *plus la fréquence centrale de la bande passante est élevée, plus grande est la largeur de bande*. Cette observation sera reprise au paragraphe 5.2.3, à propos de la fibre optique.

Une dernière observation, qui nous sera utile ultérieurement, est la suivante : en règle générale, la capacité d'un canal de communication diminue si la distance augmente (et réciproquement).

### 2.2.2.3. Explication de la nécessité de grandes capacités

Pourquoi de grandes capacités seront-elles exigées dans la communication de bout en bout sur les autoroutes de l'information ? Deux variétés de services bien distinctes les requièrent.

- Le premier cas est celui des services désirant transmettre, avec un faible délai de propagation (cf. 2.1.3), des signaux *statiques* de grand volume. Or la manière la plus efficace pour diminuer les délais de propagation est de diminuer les temps de transmission sur les canaux et donc d'augmenter leurs capacités. Prenons, par exemple, le cas où l'on désire transmettre, sur un canal, un fichier de 1 Moctets (soit 8 Mb) en moins de 5 secondes et que l'on suppose négligeable le temps de propagation, alors le temps de transmission devra être inférieure à 5 secondes et la capacité de ce canal devra excéder 1,6 Mb/s (soit 8 Mb / 5 s).

- Le deuxième cas est celui des services dans lesquelles des signaux *dynamiques* d'un certain volume<sup>36</sup> doivent être transmis et traités par le récepteur en temps réel, c'est à dire au fur et à mesure de leur réception, sans mémorisation temporaire<sup>37</sup>. Dans ce cas, la somme des temps de transmission est à prendre en considération mais les autres temps intervenant dans le délai de propagation important moins. Donc, le rythme de production des signaux détermine directement la capacité de chaque canal de transmission tout au long du chemin. Par exemple, si une séquence vidéo doit être transmise et reçue au rythme de sa production, la capacité de chaque canal doit être supérieure au débit du signal qui, en l'absence de compression<sup>38</sup>, est lui-même légèrement supérieur au débit utile de l'ordre de 2 Mb/s vu la présence inévitable d'informations de contrôle.

En revanche, cer-

tains services même multimédia ne requièrent pas des débits importants ; c'est, par exemple, le cas des services qui mémorisent temporairement les données numériques comme le courrier électronique même si les messages contiennent des images vidéo comprimées.

### 2.2.3. Interactivité

L'interactivité peut se définir comme une capacité de dialogue entre deux entités. Elle nécessite évidemment toujours une communication *bidirectionnelle*<sup>39</sup> effective. Mais cette dernière peut être établie soit entre un utilisateur quelconque et le fournisseur de service soit entre deux utilisateurs quelconques. L'interactivité entre un utilisateur et un fournisseur de services peut se contenter de relation multipoint<sup>40</sup> ou diffusée, avec une voie de retour. Mais l'interactivité entre utilisateurs quelconques est plus contraignante car elle exige qu'une *relation point à point* puisse être établie entre deux utilisateurs.

D'autre part, l'interactivité peut être *symétrique*<sup>41</sup> (c'est-à-dire que les débits dans les deux sens sont du même ordre de grandeur) ou *asymétrique* (dans le cas contraire). Certains services (par exemple, l'échange de fichiers, le travail en groupe sur des documents et la visiophonie) exigeront de hauts débits dans les deux sens tandis que d'autres (par exemple, la vidéo à la demande) ne demanderont de hauts débits que dans le sens fournisseur - utilisateur.

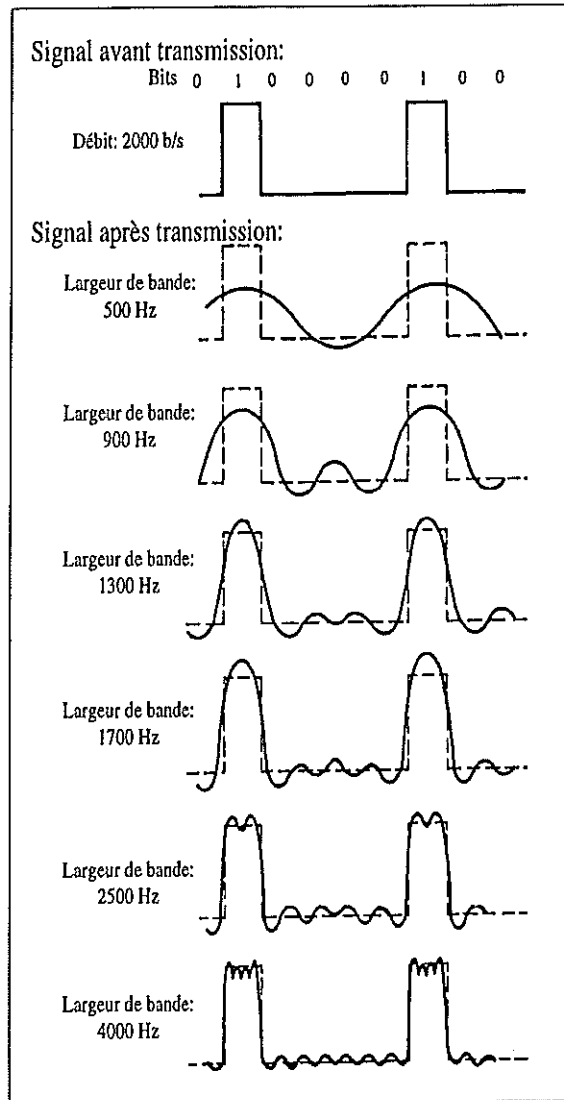


Figure 12 : Effet de la largeur de bande (passante) d'un canal sur la qualité d'un signal binaire reçu (Fig. adaptée de Stallings, 1991, p. 39)

### 2.3. Evocation de la diversité des scénarios pouvant conduire aux inforoutes

Les trois fonctions fondamentales qui doivent être supportées par les autoroutes de l'information (numérisation, haut débit et interactivité) ont été soulignées et expliquées au paragraphe 2.2. La numérisation est possible, même si elle n'est pas (encore) complète, sur les réseaux publics commutés, de télédistribution et de

télédiffusion. En revanche, l'offre simultanée et à grande échelle de hauts débits et de l'interactivité (en particulier entre utilisateurs) comme le voudraient les véritables autoroutes de l'information (cf. tableau 5) est beaucoup plus problématique. En effet, de nos jours, si les réseaux publics commutés (RTC, DCS, RNIS) utilisent en leur sein des canaux de grandes capacités (grâce notamment à l'utilisation de la fibre optique), ils offrent généralement une capacité limitée à leurs utilisateurs : la paire torsadée qui relie, en règle générale, un abonné au central est de faible capacité<sup>42</sup>(dans le meilleur des cas, celui de l'accès primaire du RNIS limitée à 30 fois 64 Kb/s). Le réseau de télédistribution avec câble coaxial a une topologie arborescente et, à grande échelle<sup>43</sup>, est actuellement restreint à une transmission dans un seul sens. Quant aux réseaux de télédiffusion par satellite et aux réseaux terrestres de radio et télédiffusion, ils n'offrent pas de voie de retour. Enfin, le réseau mobile GSM et le réseau Internet permettent tous les deux l'interactivité mais ils n'offrent pas de grandes capacités (respectivement quelques dizaines de Kb/s et quelques centaines de Kb/s)<sup>44</sup>.

Tableau 5 : Comparaison des caractéristiques de différents réseaux actuels avec celles des futures autoroutes de l'information

	Hauts débits	Interactivité
Réseau public fixe commuté	non <sup>45</sup>	oui
Réseau de télédistribution avec câble coaxial	oui	non
Réseau de télédistribution avec satellite	oui	non
Réseau terrestre de radio et télédiffusion	oui	non
Réseau mobile GSM	non	oui
Réseau Internet	non	oui
Futures autoroutes de l'information	oui	oui

Cette inadéquation des réseaux actuels à satisfaire les exigences requises par les autoroutes de l'information est lourde de conséquences. Il faudra modifier l'existant et ceci sera extrêmement onéreux.

Pour mettre en oeuvre les futures autoroutes de l'information, diverses solutions sont théoriquement envisageables. Les scénarios le plus souvent mentionnés (voir aussi Fluckiger, 1995, p. 246-248) sont repris ci-dessous.

- Une première solution est à long terme et consiste à faire évoluer *les réseaux commutés* de façon à permettre de hauts débits de bout en bout et à obtenir un RNIS Large Bande. C'est cette solution que nous allons analyser en détail dans la présente

étude.

- Un deuxième scénario est de faire évoluer les réseaux de *télédistribution avec câble coaxial* pour leur conférer la possibilité d'offrir l'interactivité et permettre en particulier la téléphonie<sup>46</sup>. Ceci implique notamment l'adjonction d'une voie de retour (avec des amplificateurs) sur le câble lui-même et aussi l'installation d'équipements de commutation électronique (Kredietbank, 1995, p. 6).

- Une troisième solution est de connecter le *réseau public commuté et les réseaux câblés de télédistribution* pour profiter de leur complémentarité (interactivité téléphonique et large bande câblée au niveau du raccordement des utilisateurs) et d'améliorer la synergie entre ces réseaux. Cette solution est peut-être la plus attrayante d'un point de vue technique (voir à ce sujet TITAN, 1995) et elle permet de mettre sur pied des stades intermédiaires, à court et moyen termes, vers les véritables autoroutes du futur. Mais elle peut se heurter à des problèmes juridiques (l'audiovisuel et les télécommunications étant juridiquement distincts à l'heure actuelle) et aussi à des problèmes institutionnels. D'autre part, comme le souligne Lobet-Maris (1995), certains s'inquiètent de voir ce scénario déboucher sur la création d'un nouveau monopole.

- D'autres scénarios font intervenir la transmission par *satellite*. Parmi ceux-ci, certains prévoient une voie de retour séparée (par exemple, par réseau téléphonique). Mais il faut noter que, dans la réalisation des inforoutes, un satellite donné n'offrira toujours qu'une solution partielle (c'est-à-dire n'intégrant pas tous les services). En effet, un satellite géostationnaire (type ASTRA), étant donné l'importance de la surface terrestre qu'il couvre, est adapté à la diffusion mais pas à la téléphonie. Par contre, les satellites en orbite basse (tels que les 66 satellites Iridium<sup>47</sup> qui devraient être opérationnels en 1998) conviennent à tout type de transmission interpersonnelle mais pas à la diffusion.

Toutes ces solutions sont techniquement possibles mais elles ne sont pas toutes réalistes. En outre, elles peuvent se combiner de façons diverses. Concrètement, les solutions retenues seront fonction des bases installées et elles varieront donc selon les pays. D'autre part les investissements financiers sont tels que l'offre à domicile de l'éventail complet des différents services numériques *intégrés*, comme le suppose une véritable inforoute, n'est certainement pas pour demain ! En revanche, différents services digitaux nouveaux seront offerts à grande échelle de façon individuelle, dans un avenir pas trop lointain.

Après avoir dressé un cadre introductif et évoqué les différentes solutions possibles pour obtenir les inforoutes, nous pouvons maintenant aborder le thème central de notre étude : le scénario du RNIS Large Bande. Comme annoncé précédemment, nous respecterons ici la description en couches successives :

applications/services, protocole ATM et infrastructure physique.

### 3. Couche supérieure : Services

La couche supérieure du modèle OSI concerne ce qui est appelé les «applications» dans le vocabulaire OSI. Ces dernières sont des ensembles de fonctions offertes aux utilisateurs finals. Elles peuvent être assimilées aux «services» tels qu'ils apparaissent dans la classification de l'ITU-T (Union Internationale des Télécommunications - Secteur de la normalisation des Télécommunications) donnée en annexe et, approximativement aussi, tels qu'ils sont définis dans le Livre blanc. Nous utiliserons ici aussi le vocable «services».

Nous serons amenés à distinguer deux variétés de services selon qu'ils sont directement ou indirectement destinés aux utilisateurs finals.

#### 3.1. Compression

Un service essentiel doit être fourni pour permettre la réalisation d'autres services et ne profite donc qu'indirectement aux utilisateurs : il s'agit de la compression. Grâce au service de compression (qui implique des procédés complexes), il est possible de réduire le nombre de bits nécessaires au codage tout en préservant une fidélité suffisante de l'information. Les techniques de compression sont connues depuis longtemps pour les transmissions de télécopie et de fichiers informatiques. Appliquées aujourd'hui au son et à l'image, elles ont permis des gains importants tels que le passage de 207,3 Mb/s à 4,5 Mb/s pour les images de télévision de qualité habituelle (cf. tableau 4) et de 64 Kb/s à 10 Kb/s pour la voix. Les algorithmes très complexes impliqués dans la compression n'ont été «normalisés» que très récemment car les composants électroniques nécessaires à leur fonctionnement étaient irréalisables auparavant.» (Théry 1994, p. 37)

Un exemple de ces algorithmes est défini par la norme mondiale MPEG2<sup>48</sup> (Mobile Picture Expert Group) qui utilise des techniques de réduction de la redondance temporelle entre images successives d'une séquence vidéo. En effet, dans une telle séquence, il existe un certain nombre d'informations identiques entre images successives; une des idées de la norme MPEG2 consiste à tenter de ne coder que les variations entre images.

#### 3.2. Exemples des services actuels préfigurant ceux des futures autoroutes

##### 3.2.1. Services intégrés offerts par le RNIS (bande étroite)

Les Réseaux Numériques à Intégration de Service (RNIS) installés ou en cours d'installation dans le monde, comme le réseau belge *Aline*, sont une

évidente préfiguration des autoroutes de l'information même s'ils ne répondent actuellement qu'à des normes dites à «bande étroite».

En effet, ils offrent déjà aux utilisateurs résidentiels et professionnels des possibilités d'accès interactif à des services de caractère multimédia limité en utilisant systématiquement la numérisation. La capacité de bout en bout qu'ils offrent est cependant, en principe, limitée à 64 Kb/s par canal, ce qui restreint fortement les possibilités dans le domaine du transfert de l'image et surtout des séquences vidéo. De plus, le RNIS à bande étroite n'est absolument pas conçu pour assurer des services de distribution vers plusieurs destinataires simultanés.

##### 3.2.2. World Wide Web sur Internet

Un autre exemple de service disponible aujourd'hui et préfigurant ceux des autoroutes de l'information est le World Wide Web (WWW = toile d'araignée mondiale) plus généralement appelé le Web et offert sur le réseau Internet. Il s'agit d'un service de consultation de différentes bases de données à travers le monde. C'est sans doute lui qui a le plus contribué à l'explosion de l'utilisation d'Internet. Ce réseau est, en effet, marqué par un caractère multimédia très net mais restreint, ainsi que par son ouverture au grand public liée à sa grande simplicité d'usage et à son faible coût. Le principe de base du Web est qu'un utilisateur employant une machine *client* de type PC se connecte via le réseau Internet à une machine *serveur* et lui demande de manière très simple le transfert d'une *page* qui est alors présentée sur la machine client. Cette page peut être multimédia et, donc, comprendre textes, sons, graphiques, images statiques et séquences vidéo simples. Elle peut aussi être de type *hypertexte* ce qui signifie que certaines parties de la page, mises en évidence par exemple par une couleur ou une forme particulière, peuvent permettre à l'utilisateur par une simple manipulation de la souris de son PC d'accéder à travers le réseau à d'autres pages. Ceci lui permet, au gré de son intérêt, de passer de page en page et, ainsi, de se promener dans un monde de données multimédia, autrement dit de «surfer». Il lui est même possible d'interagir dans certaines limites avec des serveurs pour leur demander des informations spécifiques ou leur envoyer certaines données.

Les possibilités multimédia sont évidemment limitées par les services offerts par les serveurs, par les caractéristiques spécifiques de la machine client et par la capacité des réseaux utilisés pour accéder au serveur. On notera en particulier que les protocoles actuels du réseau Internet le rendent relativement mal adapté au transfert d'informations du type son ou vidéo de bonne qualité surtout en temps réel. Ces limitations de qualité et d'interactivité et son inadéquation totale au fonctionnement en relation diffusée n'empêchent pas le Web de donner une première idée des services que pourraient rendre les

futures autoroutes. Il est déjà largement utilisé dans les mondes scientifique, éducatif, administratif, culturel et commercial. Aux USA, les réseaux offrant les services Web au grand public portent d'ailleurs le nom de *ramp networks* évoquant les rampes d'accès aux autoroutes.

### 3.3. Classification des services aux utilisateurs selon l'ITU-T

Il est difficile, voire même impossible, d'imaginer les services qu'offriront les futures autoroutes de l'information.

Cependant, dans le cadre de ses travaux sur la normalisation du RNIS Large Bande<sup>49</sup> l'Union Internationale des Télécommunications [Secteur de la normalisation des Télécommunications] a proposé, dans son document ITU-T/I-211, une classification des services qui pourraient être offerts sur le RNIS Large Bande. Un tableau issu du document I-211 et reprenant l'ensemble des services est donné en annexe. On notera que cette classification est très générale et peut facilement s'étendre aux réseaux de largeur de bande quelconque. On remarquera également l'apparition de toute une nouvelle gamme de services : ceux nécessitant en même temps de hauts débits (cf. paragraphe 2.2.2) et l'interactivité (cf. paragraphe 2.2.3 et dernière colonne du tableau donné en annexe).

La classification des services selon l'ITU-T présente une dichotomie entre les services interactifs et les services de distribution (cf. figure 13).

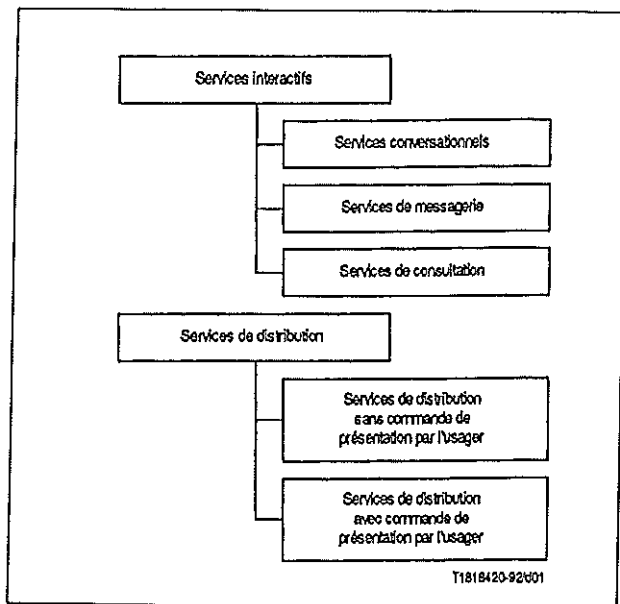


Figure 13 : Schéma de la classification des services basée sur les travaux de l'ITU-T

Les services *interactifs*<sup>50</sup> sont répartis en trois groupes : conversationnels, de messagerie et de consultation.

• Les services *conversationnels* nécessitent une communication *en temps réel* entre deux utilisateurs finals dont l'un peut éventuellement être le fournisseur du service. Des exemples sont :

- l'échange de signaux sonores tels que le téléphone et des programmes radiophoniques,

- l'échange de données informatiques entre ordinateurs dans le cadre de réseaux à grande distance (Réseaux WAN<sup>51</sup>), de réseaux métropolitains (Réseaux MAN<sup>52</sup>) et de réseaux locaux (Réseaux LAN<sup>53</sup>),

- l'échange de documents tel que le téléfax et les services de communication d'images,

- l'échange simultané d'images animées et de sons dans le cadre de la visiophonie, de la vidéoconférence, de la vidéosurveillance et des services de transmission d'informations audio/vidéo.

• Les services de *messagerie* relient deux correspondants via des unités de stockage et ne fonctionnent donc pas en temps réel; ceci implique que le message est reçu par son destinataire quand celui-ci le décide et donc pas nécessairement dès son émission. Ceci peut se faire éventuellement par passage temporaire dans une banque de messages gérée par un serveur.

• Dans les services de *consultation*, une information est recherchée à la demande d'un utilisateur dans une banque de données et renvoyée vers le demandeur. On notera que celui-ci peut être humain mais peut aussi être un ordinateur. Ceci couvre les services de Vidéotext et les services de consultation de textes, de données, d'images fixes ou de séquences vidéo. Les capacités de transmission nécessaires sont fondamentalement asymétriques. On peut considérer le Web et la vidéo à la demande comme des cas particuliers de services de consultation.

Les services de *distribution* sont ceux qui ont pour but de transmettre automatiquement de l'information depuis un point central vers un certain nombre de destinataires sans intervention directe de ceux-ci.

• Si l'information distribuée est produite sous la forme d'un flux continu, on parle de service de distribution *sans commande de présentation par l'utilisateur*. On classe sous ce titre les services de radiodistribution, de télédistribution et les services de distribution de documents et de données informatiques.

• Si l'information est fournie sous la forme d'une séquence d'entités d'information émises de manière cyclique, cela permet à l'utilisateur de décider du moment et de l'ordre de la présentation. On parle alors de distribution *avec commande de présentation par l'utilisateur*. On classe, par exemple, sous cet intitulé, les services de Télétexte, de vidéographie pour l'enseignement à distance, la télépublicité et la consultation de nouvelles. Ici, les capacités néces-

saires dépendent évidemment des émetteurs de l'information.

### 3.4. Détail des fonctionnalités indispensables

Sur base de la classification détaillée des services devant être offerts par le B-ISDN, réalisée par l'ITU, essayons de préciser et de raffiner les fonctionnalités déjà évoquées ci-dessus (cf. paragraphe 2.2), en nous plaçant du point de vue de l'utilisateur final des services que devront offrir les autoroutes de l'information. D'une façon générale, on remarquera l'importance majeure de la flexibilité à assurer.

#### 3.4.1. Intégration

La numérisation doit permettre l'intégration des différents types de données et dès lors aussi l'intégration des différents services. Les futures autoroutes commutées seront donc nécessairement, *d'un point de vue conceptuel*, «des Réseaux Numériques à Intégration de Services» même si, concrètement, elles pourraient ne pas respecter obligatoirement les standards RNIS.

#### 3.4.2. Disponibilité de *capacité élevée et flexibilité*

Les capacités des canaux de transmission doivent pouvoir atteindre les valeurs exigées par les services multimédia actuels (plusieurs Mb/s) et, si possible, pouvoir à terme s'adapter aux nouveaux besoins (plusieurs Gb/s). Ceci implique, entre autres, une capacité du canal d'accès importante et ce d'autant plus que le réseau sera susceptible de permettre à un utilisateur l'exécution simultanée de plusieurs services.

D'autre part, il est important que l'utilisateur puisse, en fonction du service demandé, spécifier si le débit binaire d'émission sera constant (CBR = Constant Bit Rate) ou s'il variera au cours de la transmission (VBR = Variable Bit Rate).

Enfin, l'utilisateur doit pouvoir au moment où il demande un service spécifier le débit et donc la capacité voulue de bout en bout en valeur maximale et, si possible, dans le cas du débit variable, en valeur moyenne. Le réseau doit ensuite garantir ces capacités. Ces capacités pourront être distinctes pour les deux sens de transmission. Seuls certains services (tels que la vidéoconférence de haute qualité) exigeront de hauts débits dans les deux sens.

#### 3.4.3. Faible valeur et constance du *décal de propagation*

Les autoroutes de l'information devront offrir, pour une communication de bout en bout, un décal de propagation suffisamment bref pour être compatible avec les besoins. Ceci impose donc de grandes

capacités et de faibles temps de présence dans les noeuds (cf. 2.1.3). De plus, elles devront garantir la synchronisation des différents médias. Enfin, certains services exigent que le rythme de réception soit identique au rythme d'émission; ils sont dits *isochrones*. Les services isochrones requièrent donc une synchronisation exacte de la source et de la réception. Cela signifie qu'à la réception, le service est capable de reproduire le flot de données reçues, au même débit que celui d'émission, même si un certain laps de temps s'est écoulé entre l'émission et la réception des données. Cela nécessite donc une garantie de constance du délai de propagation.

#### 3.4.4. Flexibilité de la *relation* (condition de l'interactivité)

En fonction des services, il devra être possible de demander que la relation soit point à point, multiple ou diffusée. Une relation point à point est indispensable à l'interactivité entre utilisateurs.

#### 3.4.5. Flexibilité du *mode de fonctionnement*

De nombreux services tels que la diffusion de programmes de télévision supposent le mode connecté. Certains services tels que l'interconnexion de réseaux locaux sont réalisés de préférence en mode non connecté.

#### 3.4.6. Flexibilité au niveau du *sens de la transmission* (condition de l'interactivité)

La transmission doit pouvoir s'effectuer dans un seul sens (c'est-à-dire être «unidirectionnelle» selon le vocabulaire de l'ITU<sup>54</sup>) ou dans les deux sens (être «bidirectionnelle»). Une transmission bidirectionnelle est indispensable à toute interactivité.

#### 3.4.7. Protection contre les *erreurs de transmission*

Certains services comme, par exemple, les transferts de fichiers informatiques sont très sensibles aux erreurs de transmission. Celles-ci peuvent causer, par exemple, la perte ou la modification d'une information. D'autres services, comme la communication téléphonique, y sont moins sensibles. Il est donc important que l'utilisateur des autoroutes de l'information puisse, en demandant un service, spécifier le risque d'erreur qu'il est prêt à courir au cours de l'exécution de celui-ci.

Toutes les fonctionnalités qui viennent d'être énumérées doivent être supportées par le protocole de transfert du futur réseau RNSI Large Bande. Comme nous allons le voir, elles sont pratiquement toutes offertes par le protocole ATM.

## 4. Couche moyenne : Protocole de communication ATM

Selon les recommandations du rapport

Bangemann (1994, p. 21), "L'Europe doit mettre au point une infrastructure de communication à large bande ATM formant l'épine dorsale de la société de l'information"

Avant de décrire le protocole de communication ATM (Asynchronous Transfer Mode) communément admis comme standard, qui apparaît donc comme essentiel à la mise en place des autoroutes de l'information européennes, il est important de préciser dans quelles circonstances il a été élaboré. Il s'agit d'un protocole de transfert défini dans le cadre de la standardisation du RNIS Large Bande. Nous précisons tout d'abord l'idée maîtresse qui a guidé cette standardisation, avant de décrire succinctement le Modèle de Référence qui en a découlé. Nous présenterons ensuite le protocole de transfert ATM.

#### 4.1. Vers une standardisation du RNIS Large Bande

Dès le début des années 80, le concept de B-ISDN (Broadband-Integrated Services Digital Network) ou RNIS Large Bande est apparu. L'idée était de mettre au point un réseau unique permettant de fournir, à tous les usagers, tous les types de services actuels et prévisibles, quel que soit le type de données qu'ils manipulent. Dans le même temps, le choix du protocole de transfert pour le réseau B-ISDN s'est porté sur le protocole ATM. Des implémentations récentes ont vu le jour. Elles peuvent être vues comme une première étape vers les autoroutes de l'information. Le concept de B-ISDN a été présenté par l'organisme international de standardisation ITU-T qui en a fourni une première définition.

La standardisation et les spécifications existant à ce jour dans le domaine du B-ISDN (et d'ATM) sont le fruit d'un long processus. Certains standards et spécifications sont encore, actuellement, en cours de développement. Ils sont développés par divers organismes de normalisation dont :

- ITU-T (International Telecommunications Union - sector of Telecommunications standardization)
- NIST (National Institute of Standards and Technology), anciennement ANSI
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute)

Notons que les organismes NIST et ETSI sont membres de l'ITU-T. Celui-ci a pour but de produire des Standards à usage «international», tandis que l'ETSI et le NIST tentent d'adapter ces recommandations en générant des spécifications plus détaillées, à usage plutôt «national».

Dès 1988, les premières Recommandations de l'ITU-T sur le B-ISDN et ATM ont été publiées. Les bases d'ATM sont ainsi parues dans le «Blue Book», dans la série de spécifications I (I.113 et I.121). Il s'agit en fait, d'une première version de ces spécifi-

cations qui seront revues en 1990, publiées en 1991 et finalisées en 1992.

En Octobre 1991, l'ATM Forum a été créé. Il s'agit d'un forum industriel créé au départ par quatre compagnies (Northern Telecom, Sprint, SUN Microsystems et DEC) et étendu dès 1992 plus largement au monde industriel.

Son objectif est de fournir d'une part des spécifications pour l'implémentation d'ATM (Technical Committee), d'autre part, de mettre sur pied des «tutorials», des présentations, des publications, ... et tout autre matériel d'information concernant ATM (Market Awareness & Education Committee), et finalement de maintenir un groupe d'utilisateurs (End User Roundtable User Group) leur permettant de préciser des besoins de «haut niveau» qui sont alors transmis aux deux autres comités.

Durant l'année 1991, l'ITU-T a publié de nouvelles Recommandations dans la série I (I.XXX). Celles-ci établissent les principes de base du B-ISDN et de l'ATM. Les spécifications de chaque couche sont définies, ainsi que le service qu'elles offrent.

Depuis 1992, de nouvelles publications de Recommandations sont régulièrement émises par l'ITU-T. Elles concernent les aspects liés à la gestion du trafic, à la signalisation et à l'interconnexion avec le fournisseur de service Frame Relay notamment.

Un Modèle de Référence a été établi par l'ITU-T pour le B-ISDN, basé sur l'usage du protocole ATM comme protocole de transfert. L'idée maîtresse en est que tout type de donnée est véhiculé au travers du réseau B-ISDN au sein d'unités de données ATM, appelées *cellules*. Ce Modèle est standardisé par une série de recommandations, dont la plus importante est la Recommandation I.321. Celle-ci définit trois couches (au sens du Modèle de Référence OSI) au sein du Modèle B-ISDN (voir figure 14). Ces couches sont : la Couche Physique, la Couche ATM et la Couche Adaptation.

L'architecture d'un réseau ATM (voir figure 14) peut être décrite comme suit. Le réseau ATM proprement dit est constitué d'un ensemble d'équipements intermédiaires appelés commutateurs. Ces derniers supportent les Couches Physique et ATM du Modèle de Référence, présentées ci-dessus. Sur ce réseau, sont connectées un certain nombre de machines terminales. Ces dernières supportent, quant à elles, les Couches Physique, ATM et AAL du Modèle, ainsi que l'ensemble des applications qui utilisent les services du réseau ATM. Il est également envisageable qu'un protocole de Transport soit implémenté sur les machines terminales, au dessus de la Couche AAL, afin de compléter les services offerts par cette dernière aux applications, comme c'est le cas dans les architectures qui supportent les protocoles TCP et IP sur des réseaux ATM.

Décrivons maintenant brièvement chacune des trois couches du Modèle proposé par l'ITU-T.

#### 4.1.1. La Couche Physique (définie par la Recommandation I.432)

Composée de deux sous-couches (Physical Medium & Transmission Convergence), la couche Physique effectue toutes les fonctions nécessaires à la transformation du flux des cellules ATM en un flux de bits pouvant être transmis et reçu par l'intermédiaire d'un support physique constitué généralement de fibres optiques.

La principale technique de transmission utilisée au niveau du support physique dans le cadre des réseaux ATM à grande distance est SDH (Synchronous Digital Hierarchy). D'autres techniques de transmission peuvent également être utilisées. La technique SDH se base sur le principe d'une émission permanente de cellules au rythme maximal permis par le canal d'accès au réseau. Cette émission de cellules est dite «synchrone». Les cellules sont utilisées par la couche supérieure, la Couche ATM, au rythme des besoins par l'insertion éventuelle de cellules vides.

#### 4.1.2. La Couche ATM (définie par la Recommandation I.361.)

La Couche ATM supporte le protocole de transfert du B-ISDN. La conception de ce protocole a été guidée par la recherche d'un moyen de transport de données efficace, capable de supporter tous les types de données, extrêmement rapide afin de pouvoir supporter des services en "temps réel" et ne surchargeant pas le réseau par l'échange d'un grand nombre d'informations de contrôle.

L'objectif est de fournir, sur un support physique constitué généralement de fibres optiques, des communications à *grande vitesse*, au moyen d'un protocole de transfert indépendant du protocole utilisé au niveau de la Couche Physique. Des canaux d'accès au réseau supportant des vitesses de transmission de l'ordre de 155 Mb/s et 622 Mb/s sont

prévus.

La couche ATM est caractérisée par un transfert *en mode connecté*, d'unités de données de taille fixe (53 octets), appelées cellules. Ces cellules possèdent donc un champ d'information relativement réduit (48 octets) et une en-tête de 5 octets supportant un nombre réduit de fonctionnalités. Ces cellules permettent l'échange de données de tout type (voix, son, image, données informatiques).

Le transfert des cellules ATM est effectué au sein du réseau selon un mode asynchrone, sur le principe du multiplexage dynamique. En effet, plusieurs communications pouvant être établies simultanément sur le canal d'accès, un multiplexage dynamique doit être supporté. D'autre part, lorsqu'une application utilisatrice soumet un flot d'information à la Couche ATM, ce flot est transmis par l'entité ATM émettrice au moyen d'une suite de cellules. Le délai entre la soumission de deux cellules consécutives porteuses d'information peut être variable. Au sein de la Couche ATM, l'émission des cellules utiles est donc asynchrone. Il en est ainsi sur les deux canaux d'accès ainsi qu'au sein du réseau.

Enfin, dans un souci de grande souplesse d'adaptation aux exigences plus ou moins complexes des applications utilisatrices du réseau, le protocole ATM autorise une *attribution dynamique, à la demande, de la largeur de bande* (voir 3.4.2) lors de l'ouverture de la connexion, avec des paliers de progression étroits, sur base d'un débit moyen et d'un débit de pointe requis par l'utilisateur. Cela signifie que lors de l'ouverture de la connexion, une largeur de bande spécifique (en b/s) est attribuée par la couche ATM à l'application utilisatrice. Dans la suite, lors du transfert, le réseau contrôle l'utilisation effective de la largeur de bande. Cette largeur de bande est déterminée sur base de caractéristiques précises par l'application utilisatrice telles que le débit moyen supposé durant toute la durée de la con-

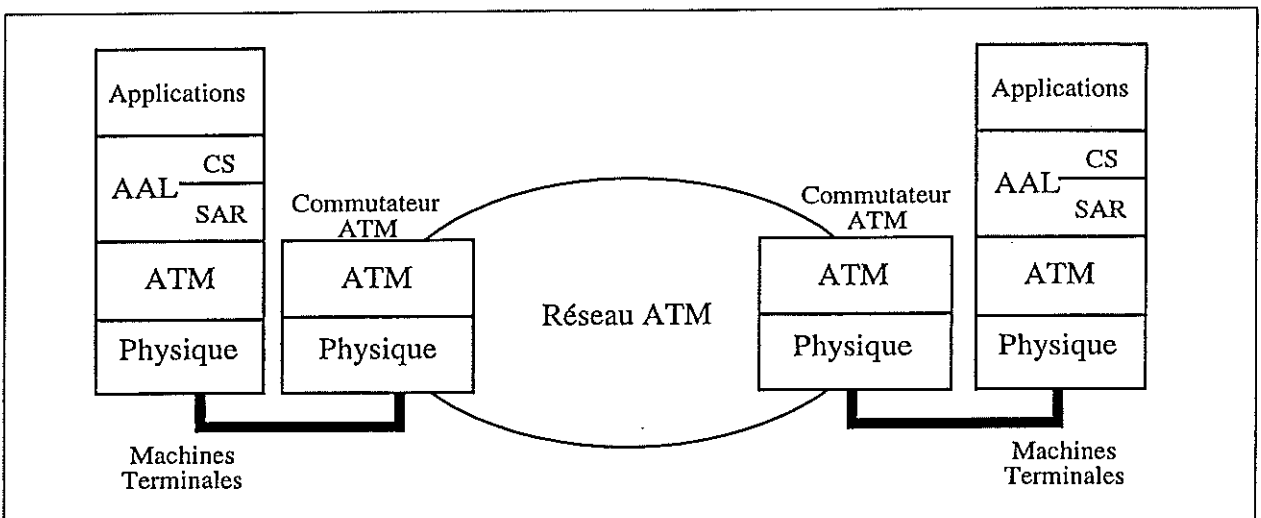


Figure 14 : Architecture du réseau ATM

nexion, le débit maximum qui pourrait être atteint et la durée pendant laquelle ce débit maximum pourrait être soutenu. Notons que cette largeur de bande est évidemment limitée par la capacité du canal d'accès de l'utilisateur au réseau ATM. Ainsi donc, ce canal d'accès doit être établi en tenant compte des exigences des applications utilisatrices, afin de ne pas les contraindre par une capacité trop faible.

Vu les fonctionnalités réduites de l'en-tête des cellules ATM et afin de limiter au maximum l'échange d'informations de contrôle, le protocole ATM n'effectue *aucun contrôle d'erreur* sur les données (voir 3.4.7). Toutes les fonctionnalités liées à la gestion des erreurs (détection et correction) et au contrôle de flux de bout en bout sont ainsi reportées aux extrémités du réseau et doivent être prises en charge par les couches supérieures. De cette manière, la commutation au sein du réseau se verra simplifiée, les temps de présence dans les commutateurs seront minimisés, et des débits plus élevés et des délais de propagation plus courts pourront être atteints.

#### 4.1.3. La Couche d'Adaptation (AAL : ATM Adaptation Layer) (définie par la Recommandation I.362)

La Couche d'Adaptation (AAL) a pour but, comme son nom l'indique, d'adapter le service offert par la Couche ATM afin de répondre aux besoins des couches supérieures. Elle supporte donc plusieurs protocoles distincts, chacun prenant en compte les fonctionnalités nécessaires à un certain type d'application. Les principaux services offerts par la Couche AAL sont :

- le traitement des erreurs de transmission,
- le traitement des effets de quantification dus à la longueur du champ d'information d'une cellule,
- le traitement des cellules perdues ou dupliquées (insérées à tort),
- le contrôle de flux,
- la synchronisation,
- la possibilité de transfert en mode connecté ou non connecté, indépendamment du fait que le service offert par la Couche ATM est, quant à lui, toujours en mode connecté.

Afin de réduire le nombre de protocoles de la Couche AAL, les types de services requis par les couches supérieures ont été classifiés en fonction des besoins qu'ils requièrent, sur base des paramètres suivants :

- la synchronisation (requis ou non) entre la source et la destination, c'est-à-dire, la nécessité d'une relation temporelle entre la source et la destination, afin de permettre des débits identiques (qu'ils soient constants ou variables) à l'émission et à la réception. Par exemple, le transfert de la voix nécessite une telle synchronisation, tandis que l'échange de données informatiques entre deux ordinateurs n'en nécessite pas.

- le débit binaire (constant ou variable)<sup>55</sup>,
- le mode de connexion (connecté ou non connecté). Certains services tels que l'échange d'images vidéo nécessitent un transfert en mode connecté, tandis que les réseaux locaux supportent généralement des protocoles de base en mode non connecté.

Quatre classes de service ont ainsi été établies par la Recommandation I.362 (voir fig. 15)<sup>56</sup>.

- La Classe A (supportant la synchronisation, le débit binaire constant et le mode connecté) offre les fonctionnalités nécessaires aux services tels que l'émulation de circuit et la vidéo à débit binaire constant. Le protocole **AAL type 1** («Constant Bit Rate Traffic» CBR) permet tout type de transfert qui nécessite un débit binaire constant, après l'ouverture de la connexion. Il supporte des fonctions de synchronisation entre la source et la réception, sur base d'échanges d'informations temporelles.

- La Classe B (offrant la synchronisation, le débit binaire variable et le mode connecté) supporte les services audio et vidéo à débit binaire variable, en implémentant le protocole **AAL type 2**. Celui-ci est utilisé pour tout type de transfert qui nécessite un débit binaire variable, après l'ouverture de la connexion. Il supporte des fonctions de synchronisation entre la source et la réception, sur base d'échanges d'informations.

- La Classe C (ne supportant pas la synchronisation mais le débit binaire variable et le mode connecté) est destinée principalement aux transferts de données informatiques en mode connecté. Elle implémente le protocole **AAL type 3/4** («Variable Bit Rate Traffic» : VBR), qui est recommandé pour les transferts de données qui sont sensibles à la perte de données, mais pas nécessairement au délai de transmission et à ses variations possibles (ne nécessitant donc pas de synchronisation). Des fonctions de détection et correction (traitement) d'erreurs sont donc mises en oeuvre. Ces transferts sont effectués selon un débit binaire variable, sans synchronisation entre la source et la réception. La Classe C utilise également le protocole **AAL type 5** («Lightweight Variable Bit Rate Traffic»). Ce dernier est similaire au protocole AAL type 3/4, mais cependant mieux adapté aux services nécessitant des transferts en mode non connecté. Il fournit un service qui génère moins d'informations de contrôle au sein de l'en-tête des unités de données de la Couche AAL (appelées AAL-PDU: AAL-Protocol Data Unit) et offre une meilleure protection pour le transfert d'unités de données relativement longues. Ces deux protocoles sont conseillés au sein de la Classe C, mais peuvent être utilisés au sein d'autres classes car ils sont adaptés aussi bien aux services nécessitant des transferts en mode connecté qu'en mode non connecté.

- La Classe D (ne supportant pas la synchronisation mais bien le débit binaire variable et

le mode non connecté), quant à elle, est principalement orientée vers des services de transfert de données en mode non connecté. Elle utilise également l'un des protocoles **AAL type 3/4** ou **AAL type 5**.

La Couche AAL est divisée en deux sous-couches : la SAR et la CS.

- La sous-couche SAR (Segmentation And Reassembly) regroupe les fonctions nécessaires à la segmentation des PDU des couches supérieures en morceaux de taille adaptée à une cellule ATM et au réassemblage de ceux-ci à la réception.

- La sous-couche CS (Convergence Sublayer) est dépendante du service. Elle regroupe toutes les fonctions nécessaires à l'adaptation proprement dite du service ATM aux besoins des services requis par les couches supérieures.

## 4.2. Description détaillée du protocole ATM

L'objectif de la Couche ATM est le transfert des informations soumises par les applications utilisatrices au sein d'unités de données de petites taille (53 octets), appelées *cellules*, sur des connexions préalablement établies, selon un mode de transfert asynchrone en respectant le principe du multiplexage dynamique.

La première fonctionnalité supportée par la couche ATM est donc la supervision des connexions, à savoir l'établissement, le maintien et la libération ordonnée des connexions. L'ouverture d'une connexion entre deux utilisateurs ATM nécessite la négociation d'un certain nombre de caractéristiques. Tout d'abord, une qualité de service (QOS: Quality Of Service) doit être négociée. Celle-ci est sélectionnée parmi une classe de QOS pré-établies. Cette QOS ne pourra être modifiée durant la durée de vie de la connexion.

La Couche d'Adaptation doit également préciser

le taux moyen du transfert prévu, la valeur des pointes éventuelles qui pourraient être atteintes durant le transfert et la durée maximale de ces pointes. On parle de «contrat de trafic». Si ce contrat de trafic est jugé supportable par le réseau, l'établissement de la connexion est réalisé et le respect du contrat est garanti par le réseau. Une certaine largeur de bande est alors attribuée par le réseau à la connexion, en fonction des paramètres du contrat de trafic. Dans le cas contraire, la connexion est refusée. Notons que ce contrat de trafic peut être renégocié, à la demande des utilisateurs, durant toute la durée de vie de la connexion, contrairement à la QOS établie une fois pour toutes.

La notion de connexion ATM repose sur les concepts de "Chemin Virtuel" ou VP (VP: Virtual Path) et de "canal virtuel" ou VC (VC: Virtual Channel). Le concept de chemin virtuel (VP) définit un canal entre deux noeuds voisins du réseau ou entre un utilisateur et le noeud d'entrée dans le réseau. Sur chaque chemin virtuel, plusieurs canaux virtuels (VC) peuvent être établis. Ils définissent un second niveau de relation au sein d'un même chemin virtuel. Une connexion est constituée par la mise bout-à-bout d'une suite de canaux virtuels (VC) établis chacun sur un chemin virtuel (VP).

Rappelons que les fonctionnalités liées à la supervision des connexions (établissement, maintien et libération des connexions) sont toujours en cours de normalisation. Cependant, un certain nombre de principes liés à l'établissement et à la fermeture d'une connexion sont déjà établis. Nous ne parlerons pas ici des protocoles de signalisations UNI et PNNI.

Les fonctionnalités suivantes permettent l'échange des cellules ATM au sein du réseau ATM, sur une connexion. Il s'agit donc des fonctions liées au traitement des cellules et plus particulièrement de la construction des cellules ATM, de leur émission et de la réception. Les informations à transmettre sur la connexion ATM sont fournies par l'entité AAL à

	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Synchronisation entre l'origine et la destination	Requise		Non requise	
Débit binaire	Constant		Variable	
Mode de connexion	Connecté			Non connecté
Type de protocole	AAL type 1	AAL type 2	AAL type 3/4 AAL type 5	AAL type 5 AAL type 3/4
Exemple d'utilisation	Vidéo à débit binaire constant, Emulation de circuit	Audio & vidéo à débit binaire variable	Transfert de données Trafic X25 et Frame Relay	Transfert de données Interconnexion et SMDS

Figure 15 : Classification des Services et Protocoles pour l'AAL

l'entité ATM sous la forme de paquets de 48 octets au maximum, ce qui correspond à la taille du champ d'information d'une cellule ATM. Une cellule ATM est alors générée par l'entité ATM émettrice et transmise, au sein du réseau, sur la connexion préalablement établie.

Cette cellule ATM est créée par l'entité ATM en concaténant aux 48 octets à transmettre une en-tête reprenant des informations de contrôle précisant le type des données à transmettre, des informations reçues de l'entité AAL au moment de la demande de transfert et des informations relatives à la connexion que devra emprunter la cellule.

Aucun contrôle d'erreur n'est effectué, durant le transfert, sur le champ d'information de la cellule ATM. Seul un contrôle d'erreur minimal sur l'en-tête est réalisé par la Couche Physique, avec tentative de correction éventuelle. Si une erreur est détectée sur l'en-tête, la cellule est tout simplement écartée, sans qu'aucune indication d'erreur ne soit fournie ni à l'émetteur, ni au récepteur.

Une entité ATM ne reçoit donc, sur une connexion donnée, qu'un flot de cellules valides. En effet, seules les cellules dont l'en-tête ne comporte pas d'erreurs ou pour lesquelles l'erreur a pu être corrigée lui sont soumises par l'entité Physique.

La Couche ATM supporte également les fonctions de multiplexage, de relais des cellules et de contrôle de congestion au sein du réseau.

Au sein du réseau ATM, des cellules ATM appartenant à des VC et VP distincts sont émises les unes après les autres sur un même canal de transmission, (entre deux noeuds ATM) et multiplexées selon une technique de multiplexage dynamique.

A la réception d'une cellule ATM, tout commutateur ATM doit assurer une fonction de routage de la cellule. Le commutateur doit donc effectuer le relais des cellules ATM d'une connexion logique entrante (un VC) vers une connexion logique sortante (un autre VC). Ce relais des cellules ATM est réalisé sur base, par exemple, de tables de correspondance des connexions logiques entrantes et sortantes. Cette table est mise à jour lors de la phase d'établissement de chaque connexion qui transite par le noeud concerné. Il s'agit d'un routage statique des cellules.

Finalement, un mécanisme de contrôle de congestion est appliqué par chaque noeud du réseau sur chacun des canaux de transmission avec les noeuds adjacents. Ainsi donc, dès qu'un noeud est surchargé, il régule le flux des données à transmettre en appliquant un mécanisme très simple. Les cellules en surnombre sont tout simplement écartées. Cependant, lorsqu'un noeud se trouve dans l'obligation de devoir écarter des cellules, il commence par supprimer celles qui sont marquées comme étant «prioritairement à détruire». Un champ de l'en-tête de la cellule permet de déterminer les cellules marquées prioritairement pour l'écartement. Cette mar-

que peut être apposée par l'entité AAL émettrice de la cellule afin de préserver d'autres cellules de plus grande importance, ou encore par le noeud d'entrée du réseau lorsque celui-ci détecte, par exemple, un non-respect du contrat de trafic.

Comme nous l'avons vu, lors de l'établissement de chaque connexion, ses caractéristiques en terme de débit moyen, de débit de pointe et de durée des pointes de trafic ont été clairement déterminées.

Lorsque le trafic au sein du réseau n'est pas trop important, une violation de ces caractéristiques sur une connexion particulière peut n'avoir aucun effet. L'entité ATM du réseau qui détecte une telle violation pourra décider d'écarter les cellules en trop grand nombre sur la connexion ou éventuellement de les laisser poursuivre leur route en les marquant comme ayant une faible priorité ; dans ce cas, elles seront prioritairement détruites en cas de problème plus important sur le réseau. Aucune indication de destruction n'est envoyée à l'émetteur ni au récepteur.

**En résumé, les fonctionnalités supportées par la Couche ATM sont :**

- la supervision des connexions, à savoir l'établissement, le maintien et la libération des connexions,
- le traitement proprement dit des cellules ATM, à savoir la construction, l'émission et la réception des cellules,
- le multiplexage et le relais des cellules au sein du réseau, ainsi que le contrôle de congestion.

Au vu des fonctionnalités relativement limitées de la Couche ATM, la Couche d'Adaptation apparaît donc comme essentielle afin de compléter les fonctions de base qui sont finalement offertes aux services des futures autoroutes de l'information.

## 5. Couche inférieure : Infrastructure physique et fibre optique

Après avoir analysé les services promis par les futures autoroutes de l'information de type RNIS Large Bande et le protocole ATM qui est capable de servir de base à la mise en oeuvre de ces services, venons en maintenant aux infrastructures physiques qui vont devoir supporter protocole de communication et services sus-jacents. La première constatation à faire est la suivante : aujourd'hui, même si de telles infrastructures offrant simultanément de hauts débits et l'interactivité ont déjà pu être réalisées à titre expérimental à partir des réseaux publics commutés actuels, elles n'existent pas encore à grande échelle.

### 5.1. Problème actuel au niveau de l'infrastructure physique des réseaux publics commutés et solutions possibles

Les réseaux publics commutés offrent l'interactivité et supportent la numérisation (cf. le réseau RNIS bande étroite appelé Aline en Belgique)

mais leur débit est actuellement limité par un goulet d'étranglement au niveau du raccordement des utilisateurs. En effet, ce raccordement est généralement réalisé par une paire torsadée et est, à l'heure actuelle, d'une capacité limitée à 30 fois 64 Kb/s (cf. paragraphe 2.3).

Pour faire évoluer les réseaux publics commutés actuels vers les inforoutes, il faut donc augmenter les débits au niveau du raccordement des utilisateurs.

Comme l'explique Théry (1994, p. 95), cela peut se réaliser de deux façons.

La première solution consiste à augmenter les débits de la paire torsadée de ce même réseau public commuté en ajoutant aux deux extrémités de celle-ci un système électronique complexe appelé ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop). Ce dernier permet en particulier d'établir un canal vidéo interactif entre l'abonné et un serveur. Le système est qualifié d'asymétrique parce que la voie de retour est de plus faible capacité que la voie descendante (respectivement de l'ordre de 640 Kb/s et 6 Mb/s). Ajoutons qu'une variante de l'ADSL est l'HDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Loop) qui offre une voie de retour et une voie descendante de même capacité (de l'ordre de 2 Mb/s). Ces technologies sont d'ores et déjà disponibles et pourraient permettre d'installer des services d'inforoute sur l'infrastructure de câbles existante.

La seconde possibilité est le remplacement (total ou partiel) de la paire torsadée du réseau public commuté par de la fibre optique.

C'est à cette dernière que sera consacrée la suite de notre étude : après un détour par la description des particularités de la fibre optique en général, la solution du raccordement de l'abonné en fibre optique sera développée.

## 5.2. Fibre optique

### 5.2.1. Description physico-chimique de la fibre optique

Une fibre *optique* est un canal de transmission, à la fois très fin (2 à 125  $\mu\text{m}$ ) et flexible, du rayon *optique*. Elle peut être constituée de différents verres ou plastiques. Toute fibre optique est constituée de deux sections concentriques : le coeur et la gaine. Le *coeur* (cf. figure 16) est la section la plus profonde. Il est entourée de sa propre *gaine* (cf. figure 16) qui est un revêtement dont les propriétés optiques diffèrent de celles du coeur. En particulier, l'indice de réfraction de la gaine doit être moins élevé que celui du coeur.

### 5.2.2 Principes de transmission

«La lumière se propageant dans un milieu de haut indice de réfraction [ $n_1$ ] ne peut pénétrer dans un milieu d'indice plus faible [ $n_2$ ] si cette lumière arrive avec un angle suffisamment faible<sup>57</sup> [cf. figure 16].

Ce principe connu sous le nom de réflexion totale interne, est à la base du fonctionnement d'une fibre optique, puisqu'il permet de piéger la lumière dans le milieu du plus haut indice.» (Nérou, 1983, p. 13)

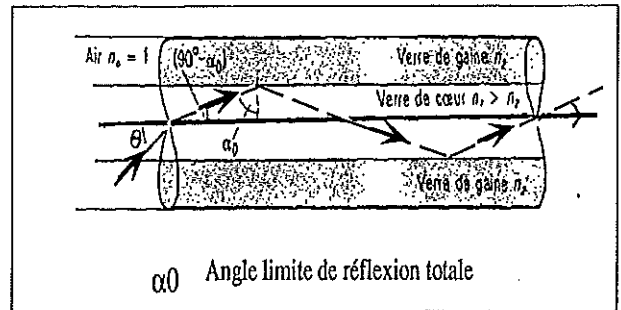


Figure 16 : Trajet de la lumière dans une fibre optique  
(adaptée de Mahlke et Gössing, 1989, p. 23)

La *source de lumière* utilisée dans un système de fibres optiques est un semi-conducteur qui émet un rayon lumineux quand il est soumis à une tension<sup>58</sup>. Pour obtenir des vitesses de transmission très élevées sur la fibre optique, il est nécessaire que ce semi-conducteur-source soit un laser. Un détecteur appelé *photodiode* est utilisé à l'extrémité réceptrice pour reconvertir la lumière en énergie électrique.

### 5.2.3. Propriétés physiques de la fibre optique

La caractéristique fondamentale de la fibre optique est sa très *grande largeur de bande*<sup>59</sup>. Elle s'explique<sup>60</sup> par les fréquences élevées du rayonnement électromagnétique spécifiquement transmis par la fibre :  $10^{14}$  à  $10^{15}$  Hz (cf. figure 5). Sa largeur de bande confère à la fibre optique une capacité très importante<sup>61</sup> : de l'ordre du Gigabit (soit un milliard de bits) par seconde sur des dizaines de kilomètres.

Cette propriété essentielle de la fibre optique a de nombreuses implications :

- elle permet de remplacer «plusieurs canaux de transmission classiques, ce qui est un atout économique important» ; (Nérou p. 16)
- elle fait de la fibre optique le moyen de transmission idéal du multimédia ;
- elle permet de services nouveaux : vidéo à la demande, etc.,
- elle est le support privilégié pour le protocole ATM.

Comme l'expliquent Nérou (1983, pp. 15-16) et Stallings (1991, p. 67), d'autres avantages sont procurés par la fibre optique : la faible atténuation et donc la distance importante entre répéteurs<sup>62</sup> (ce qui abaisse les coûts et augmente la fiabilité), l'isolation électromagnétique, la légèreté et la compacité. A cela s'ajoute encore une sécurité accrue par rapport à celle offerte par le câble coaxial et la paire torsadée : en effet, il n'est pratiquement pas possible d'écouter clandestinement ce qui passe sur la fibre optique

sans se faire repérer.

#### 5.2.4. Evolution de la technologie et des coûts

«La technologie de la fibre optique s'est stabilisée dès 1985 avec la fibre monomode<sup>63</sup>. Une production de masse de la fibre et des composants associés, ainsi que le progrès de l'intégration de l'optoélectronique<sup>64</sup>, permettent une décroissance rapide des coûts de fabrication en parallèle avec l'amélioration des performances.» (Théry 1994, p. 97)

#### 5.2.5. Conclusion

Tous ses avantages, en particulier sa largeur de bande, couplés à une décroissance actuelle de son coût, font de la fibre optique un canal de transmission privilégié pour les futurs réseaux mondiaux d'auto-routes de l'information et ceci quelle que soit la longueur du tronçon. La fibre optique est déjà bien répandue en général dans les réseaux des pays développés. Elle est notamment devenue le support obligé de tout canal à grand débit sur de grandes distances car c'est la seule technologie capable d'assurer ce service à faible coût. (cf. Goray, 1995) Et de plus, la fibre optique pourrait permettre de faire sauter le goulot d'étranglement au niveau du raccordement des abonnés.

### 5.3. Architectures des réseaux en fibre optique pour les canaux d'accès

Comme l'explique Théry (1994, p. 97-99), diffé-

rentes architectures incorporant de la fibre optique au niveau du raccordement de l'abonné (cf. figure 17) sont possibles : pure ou mixte.

#### 5.3.1. Architecture «pure»

L'architecture pure, celle pour laquelle la fibre optique va jusque chez l'abonné est désignée par l'acronyme *FTTH* (Fiber To The Home). Elle permet une «simplification de l'exploitation, tout en offrant les possibilités maximales en matière de nouveaux services.» Mais elle est dispendieuse car requiert le placement chez chaque abonné d'un équipement électronique ne pouvant être partagé. Ceci serait donc justifié pour les utilisateurs professionnels mais ne serait éventuellement envisageable qu'à très long terme pour les utilisateurs résidentiels.

#### 5.3.2. Architectures mixtes

Les «architectures mixtes utilisent sur les dernières dizaines ou centaines de mètres du raccordement une paire torsadée, un câble coaxial ou les deux. Alors qu'il est très difficile de transmettre des très hauts débits sur une paire torsadée sur quelques kilomètres, une telle transmission est relativement facile sur une centaine de mètres.<sup>65</sup>» (Théry 1994, p. 98)

En fonction du nombre de logements se partageant une même fibre optique, on peut distinguer trois variétés d'architectures mixtes : *FTTB*, *FTTC* et le système hybride fibre-coaxial.

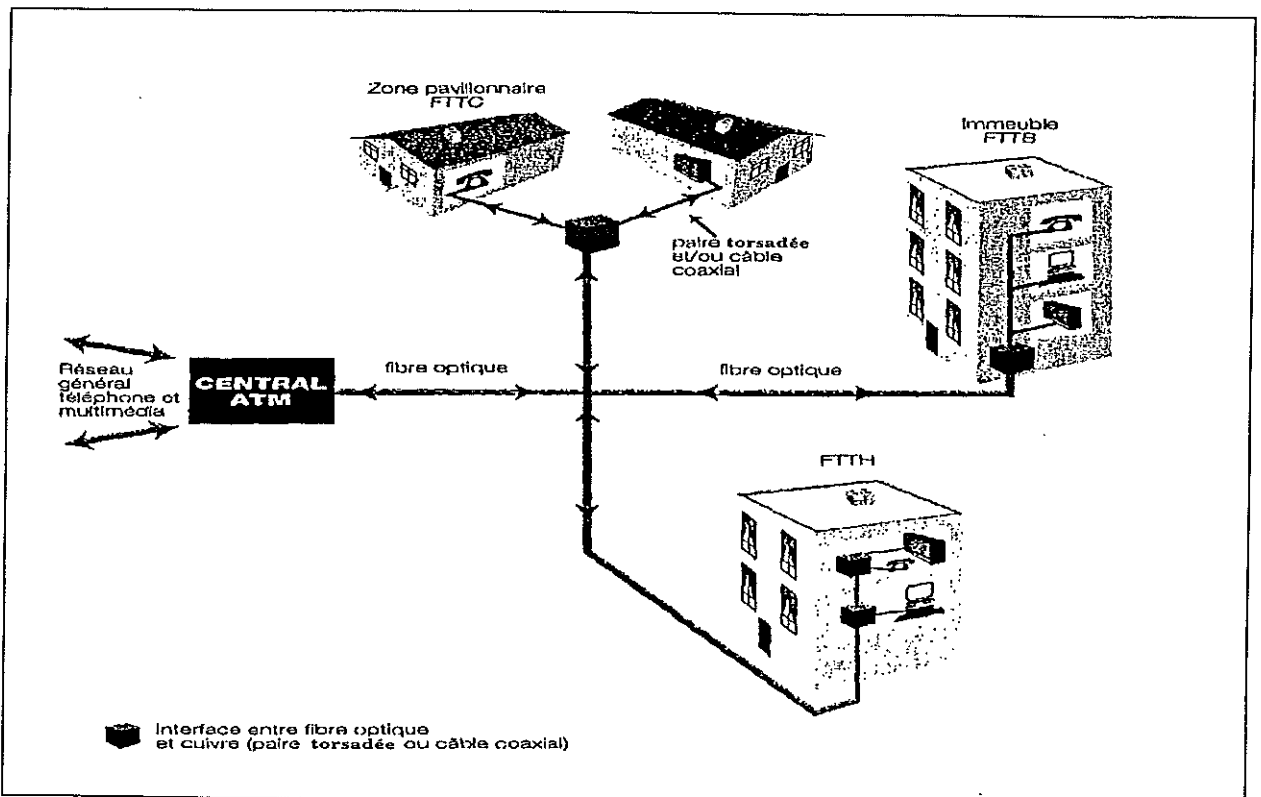


Figure 17 : Architectures de réseaux en fibre optique (extraite de Théry, 1994, p. 99)

- Dans l'architecture *FTTB* (Fiber To The Building), la fibre optique va jusqu'au pied de l'immeuble et l'équipement électronique est partagé par une ou quelques dizaines de logements.

- Si la fibre optique s'arrête à une armoire ou une borne extérieure de façon à desservir une petite dizaine d'immeubles (et donc jusqu'à une petite centaine de logements), on parlera d'architecture *FTTC* (Fiber To The Curb).

- Le *Système Hybride Fibre-Coaxial* (HFC) a été développé «pour les zones pavillonnaires américaines. La fibre va jusqu'à une armoire desservant 100 à 500 logements; le branchement final est en câble coaxial pour pouvoir offrir la distribution classique de chaîne de télévision par câble...» (Théry 1994, p. 98)

## 6. Conclusion

Les autoroutes de l'information de type RNIS Large Bande, telles qu'elles se profilent à l'horizon à partir de l'évolution des réseaux commutés actuels, ont été ici l'objet d'une description technique. Nous avons souligné et expliqué leurs trois caractéristiques essentielles :

- la continuité numérique de bout en bout et le multimédia
- la grande capacité et
- la possibilité d'interactivité non seulement entre un utilisateur et un fournisseur de service mais aussi entre utilisateurs.

Nous avons ensuite entrepris une analyse de ces inforoutes considérées par couches fonctionnelles successives. Ce faisant, nous avons mentionné que

ces futures autoroutes offriront des services encore inédits aux utilisateurs (particuliers ou firmes). Nous avons également pointé des technologies qui ont connu des améliorations nouvelles ou un développement récent et qui justifient la possibilité nouvelle de projeter ces autoroutes du futur :

- la compression qui permet d'augmenter considérablement les performances,
- le protocole ATM rendant possibles la gestion de hauts débits et une grande flexibilité et
- la fibre optique qui est le support de choix du multimédia.

Face à l'avenir qui se dessine, c'est dès à présent que des questions fondamentales relatives aux interactions entre les autoroutes de l'information et la société humaine doivent être posées.

Les inforoutes ne risquent-elles pas d'accroître encore les inégalités, que ce soit entre les villes et les campagnes, entre différents quartiers urbains et surtout entre les pays développés et les pays en développement.

Parviendra-t-on à réaliser une sorte de «service universel» garantissant, à un prix abordable, l'accès de tous aux inforoutes et à certaines informations qu'elles permettent de véhiculer ?

D'UDEKEM-GEVERS M., CHARGÉE DE RECHERCHE (CITA),  
HOGNE-NACHTERGAELE V, ASSISTANTE &  
VAN BASTELAER PH., PROFESSEUR,  
AVEC LA COLLABORATION DE LOBET-MARIS, CL.,  
CHARGÉE DE COURS  
FUNDP- INSTITUT D'INFORMATIQUE

## Bibliographie

- Bangemann M. et al. 1994, *L'Europe et la Société de l'information planétaire*, Recommandations au Conseil de l'Europe, Rapporteur : M. Bangemann, le 26 mai 1994, Bruxelles.
- Cochrane P., Heatley D.J.T., Smyth P.P. & Pearson I.D. 1993, *Optical Telecommunications - Future Prospects, System Reprints 1993*, Systems Research, BT Laboratories.
- Commission européenne 1994, *Groissance, compétitivité, emploi - Les défis et les pistes pour entrer dans le XXI<sup>e</sup> siècle - Livre blanc*, Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes, 1994.
- Commission des Communautés européennes 1994, *Vers la société de l'information en Europe - un plan d'action - Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen et au Comité Economique et Social et au Comité des régions*, Com(94) 347 final, Bruxelles, le 19.07.1994.
- Dehaene J.L. 1995, *Les pouvoirs publics et la société d'information*, Discours pour le IBM Belgium/Luxembourg National Kickoff, Bruxelles, 24 janvier 1995.
- de Prycker, M. 1993, *Asynchronous Transfer Mode: Solution for Broadband ISDN*, Second Edition, Ellis Horwood Series in Computer Communications and Networking, Chichester.
- Dutton W., Blumler J., Garnham N., Mansell R., Cornford J. & Peltu M. 1994, *The Information Superhighway: Britain's Response*, PICT, Policy Research Paper N° 29.
- Fidler R. 1994, *Newspaper in the Electronic Age*, in Williams F. & Pavlik J.V. eds., *The People's Right to Know: Media, Democracy, and the Information Highway*, Lawrence Erlbaum Associates, publ., pp. 25-45.
- Flückiger F. 1995, *Understanding Networked Multimedia - Applications and Technology*, Prentice Hall, London.
- Krediebank 1995, *Du câble à l'autoroute de l'information*, *KB Bulletin Hebdomadaire*, 8 septembre 1995, pp. 1-6.
- Goodman S.E., Press L.I., Ruth S.R., Rutkowski A.M. 1994, *The Global Diffusion of the Internet: Patterns and Problems*, *Communications of the ACM*, August 1994, Vol. 37, N° 8, pp. 27-31.
- Goray E. 1995, *Les technologies du multimédia*, Journée Multimédia du 25 janvier 1995, FUNDP.

- Handel R. & Huber M. N. 1992, *Integrated Broadband Networks: An Introduction to ATM-Based Networks*, Addison-Wesley, B. Great Britain.
- House of Commons Trade and Industry Select Committee 1994, *Optical Fibre Networks*, London - Her Majesty's Stationary Office, July 1994.
- Lobet-Maris, Cl. en collaboration avec V. Henrotte 1995, Séminaire sur les aspects techniques du développement des autoroutes de l'information en Belgique - 20 novembre 1995 - Synthèses des débats, *Dossier de presse*, Deuxième séminaire sur les autoroutes de l'information, FUNDP, 14 décembre 1995.
- Macchi C., Gullbert J.F. et al 1987, *Téléinformatique - Transport et traitement de l'information dans les réseaux et systèmes téléinformatiques et télématiques*, Dunod Informatique, Paris.
- Mahke G. & Gössing P. 1989, *Câbles à fibres optiques : principes de base, technique des câbles, planification d'installations*, Siemens, Berlin et Munich, et TEKNEA S.A., Marseille, Toulouse, Barcelone.
- Nérou J.P. 1983, *Les fibres optiques - Introduction aux télécommunications par fibre optique*, Les éditions Le Griffon d'argile inc., Sainte-Foy (Canada).
- Roberts R. 1995, TITAN - Terminal Interactif de Télévision à Accès Numérique, Exposé présenté lors du Colloque sur *Multimédia : L'entreprise sur les autoroutes*, organisé par l'Union Wallonne des Entreprises, Genval, 7 novembre 1995.
- Stallings W. 1991, *Data and Computer Communications - Third Edition*, Maxwell MacMillan International Editions, Singapore.
- Stallings W. 1992, «*ISDN et Broadband ISDN*», Second Edition, MacMillan, USA.
- Théry G. 1994, *Les autoroutes de l'information* (rapport au Premier ministre), La documentation Française, Collection des rapports officiels, Paris, Octobre 1994.
- TITAN 1995, *TITAN - L'avenir par le numérique*, ed. R. Roberts/TITAN ASBL 44 bd Léopold II 1080 Bruxelles.
- McDysan D. E. and Spohn D. L. 1995, «*ATM: Theory and Application*», MacGraw Hill, U.S.A.

1. Il s'agit d'une collection de réseaux interconnectés qui offre des services multimedia. Il présente actuellement une croissance explosive : selon Goodman, Press, Ruth et Rutkowski (1994), le nombre d'ordinateurs interconnectés par ce réseau a augmenté de 69 % entre janvier 1993 et janvier 1994. Internet relie actuellement près de 25 millions de personnes réparties dans environ 150 pays.
2. La mise en italique de certains termes de cette définition est due aux auteurs du présent article.
3. Programme on Information & Communication Technologies.
4. Cf. Par exemple TITAN 1995, p. 3.
5. Ce terme est ici pris au sens étroit (comme c'est le cas dans le langage courant) et n'inclut pas la télédistribution. Dans la suite de notre analyse, il sera toujours considéré au sens large et comprendra la télédistribution.
6. Considérée par certains comme une véritable «révolution».
7. A ne pas confondre avec le RNIS bande étroite encore appelé simplement RNIS.
8. Open Systems Interconnection. Le modèle de référence OSI «définit l'architecture en couches normalisées, adoptée conjointement par l'ISO [International Standardisation Organisation] et l'ITU-T (International Telecommunications Union - sector of Telecommunications standardization), anciennement appelé CCITT [Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique] pour les réseaux...» (Macchi et Gullbert, 1987, p. 312).
9. Des précisions de vocabulaire sont données au début du paragraphe 3.
10. Ceci est d'autant plus vrai que la sémantique de certains termes (comme, par exemple, «donnée», «service», «application») varie selon les auteurs.
11. Un cadre de description plus orienté vers l'évolution de la télédistribution peut être trouvé dans Goray (1995).
12. Notre définition, adoptée de Stallings (1991), est différente de celle utilisée par l'ITU-T (Union Internationale des Télécommunications - Secteur de la normalisation des Télécommunications) (cf. annexe) pour laquelle toute donnée est numérique. De plus, l'ITU-T appelle «information» ce qui est ici défini comme «donnée».
13. Comme le montre la figure 1, lorsque la source d'information est électrique, elle émet directement, par définition, un signal électrique. Dans ce cas là, aucune transformation n'est nécessaire.
14. Un exemple de modification pouvant être nécessaire est la *modulation*. Cette dernière se définit comme étant «la variation dans le temps d'une ou plusieurs caractéristiques quantifiées d'une onde électromagnétique, d'un courant alternatif ou d'un courant continu en fonction d'un signal à transmettre.» (Macchi et al., 1987, p. 896) La modulation est requise pour transmettre un signal électrique sur le réseau téléphonique commuté ou sur la fibre optique. Elle est également utilisée sur le câble coaxial par les télédistributeurs.
15. Ces notions de répéteur et d'amplificateur seront reprises au § 2.2.1.3.
16. Cette dénomination est attribuée aux ondes électromagnétiques utilisées comme canal de transmission, (cf. Nérou, 1983, p. 7).
17. c'est-à-dire le domaine des fréquences.
18. Une ligne louée est réservée à l'usage exclusif de ceux qui la louent.
19. Selon TITAN 1995, p. 6.
20. Définition adaptée de Théry, 1994, p. 40.

- 21 Cf. en particulier les termes mis en italique dans cette définition.
- 22 Nous reprenons ici en les développant et en les complétant trois fonctions citées par Théry (1994, p. 38-39 et 87).
- 23 Cf. la deuxième colonne du tableau donné en annexe. Pour rappel, ce qui s'intitule « données » dans ce tableau correspond à des « données numériques » dans notre vocabulaire. Le type « document » figure aussi dans le tableau d'annexe. Nous n'avons pas pu trouver de définition précise de ce type.
- 24 Cf. paragraphe suivant.
- 25 Le multiplexage est « une opération (réversible) consistant à assembler des signaux issus de plusieurs sources distinctes en un seul signal composite destiné à être transmis sur une voie de transmission commune. » Macchi et al. 1987, p. 397.
- 26 Selon le Petit Robert.
- 27 Ce laboratoire, plus connu sous le vocable de 'Media Lab' fut construit en 1985.
- 28 Cette définition est adaptée de celle de Théry (1994, p. 14) et de celle de Goray (1995).
- 29 Voir paragraphe 3.
- 30 Cette précision est nécessaire car, comme l'explique Goray (1995) par un contre-exemple, la télévision avec le télétexte ne constitue pas un multimédia. En effet, il n'existe pas de lien entre les données fournies par la T.V. et les données du télétexte.
- 31 Compact Disque interactif.
- 32 Le terme « multimédia », utilisé comme adjectif, signifie : relatif au multimédia ou qui offre le multimédia.
- 33 Cf. Paragraphe 3.1.
- 34 Ce débit n'est jamais utilisé pour des transmissions ! (Théry, 1994, p. 39)
- 35 Cf. Paragraphe 4.
- 36 Le signal téléphonique, même s'il correspond à des données dynamiques à traiter en temps réel, ne nécessite pas de gros débit.
- 37 C'est le cas des services de visiophone avec image de qualité, de consultation multimédia et de la télévision (cf. tableau 4).
- 38 Cf. paragraphe 3.1.
- 39 Cf. dernière colonne de l'annexe.
- 40 Cf. paragraphe 2.1.1. et dernière colonne de l'annexe.
- 41 Cf. dernière colonne de l'annexe.
- 42 Nous ne prenons pas en compte ici le cas de la ligne louée.
- 43 A petite échelle et moyennant un câblage très soigné, il est possible d'assurer une voie de retour sur le réseau de télédistribution lui-même. Pour pouvoir étendre cette possibilité à l'ensemble des utilisateurs, il faudrait d'importantes modifications qui demanderaient des investissements non négligeables (Cf. TITAN 1995, p. 18).
- 44 Bien qu'Internet supporte, il est vrai, la large bande sur certains tronçons.
- 45 Nous ne prenons pas en compte ici le cas de la ligne louée.
- 46 Même si un tel réseau peut offrir lui-même la téléphonie, il faudra qu'il soit connecté au réseau téléphonique actuel de façon à pouvoir offrir l'accès à tout abonné au téléphone.
- 47 Adresse Internet : [iridium\\_inc@iridium.com](mailto:iridium_inc@iridium.com).
- 48 Un complément d'information sur les normes MPEG peut être trouvé au chapitre 4 de TITAN 1995.
- 49 Cf. paragraphe 4.
- 50 Voir la définition au paragraphe 2.2.3.
- 51 Wide Area Network.
- 52 Metropolitan Area Network.
- 53 Local Area Network.
- 54 Cf. dernière colonne du tableau de l'annexe.
- 55 Rappelons que le débit binaire au niveau de la Couche Physique est toujours constant, tandis que le débit binaire au sein de la Couche ATM peut être variable.
- 56 Au sein de chacune d'elles, un protocole est conseillé et non pas imposé. Ces protocoles sont décrits dans la Recommandation I.363. Ils sont relativement complexes et ne seront pas décrits ici.
- 57 Tous les rayons lumineux qui forment un angle inférieur à  $(90^\circ - \alpha_0)$  avec l'axe de la fibre optique sont guidés par le verre du cœur.
- 58 Ceci a comme conséquence que le signal électrique à transmettre subit une modification [cf. paragraphe 2.1.1.], qui se traduit par un déplacement du spectre.
- 59 Pour être plus exact, il faudrait dire ses grandes largeurs de bandes. En effet, au sein du spectre de rayons électromagnétiques, certaines fréquences sont préférentiellement transmises par la fibre optique et à chacune de celles-ci correspond une bande passante d'une certaine largeur.
- 60 Cf. paragraphe 2.2.2.
- 61 Cf. paragraphe 2.2.2.
- 62 Ceci a comme conséquence qu'il n'y a pas de répéteur dans la liaison d'accès.
- 63 « La fibre monomode, grâce à un cœur très fin, n'autorise qu'un seul chemin (mode de transmission) à la lumière. Evitant ainsi toute dispersion, elle est plus performante que la fibre multimode... » (Théry 1994, p. 97)
- 64 Comme l'expliquent Cochrane et al. (1993), le progrès majeur récent dans les télécommunications optiques est le remplacement des répéteurs par des amplificateurs optiques.
- 65 Cf. paragraphe 2.2.2. Cette note de Théry ne prend pas en compte la technologie ADSL.

Annexe: Tableau extrait de la norme ITU-T I.211

Services possibles à large bande dans le RNIS<sup>d)</sup>

Classes de service	Type d'information	Exemples de services à large bande	Applications	Valeurs possibles de certains attributs <sup>d)</sup>
Services conversationnels	Images animées (vidéo) et son	Visiophonie <sup>b), c)</sup> large bande	Communication pour le transfert de la parole (son), d'images animées, d'images vidéo fixes à balayage vidéo et de documents entre deux sites (de personne à personne) <sup>e)</sup> - téléenseignement - téléachats - télépublicité	- Sur demande/réservée/permanente - Point à point/multipoint - Bidirectionnelle symétrique/bidirectionnelle asymétrique - (La valeur du débit de transfert de l'information est à l'étude)
		Visioconférence <sup>b), c)</sup> large bande	Communication multipoint pour le transfert de la parole (son), d'images animées, d'images vidéo fixes et de documents entre deux sites ou plus (de personne à groupe, de groupe à groupe) <sup>e)</sup> - téléenseignement - téléachats - télépublicité	- Sur demande/réservée/permanente - Point à point/multipoint - Bidirectionnelle symétrique/bidirectionnelle asymétrique
		Vidéo-surveillance	- Sécurité des bâtiments - Surveillance de la circulation	- Sur demande/réservée/permanente - Point à point/multipoint - Bidirectionnelle symétrique/unidirectionnelle
		Service de transmission d'information vidéo/audio	- Transfert de signaux TV - Dialogue vidéo/audio - Contribution d'information	- Sur demande/réservée/permanente - Point à point/multipoint - Bidirectionnelle symétrique/bidirectionnelle asymétrique
	Son	Signaux radiophoniques multiples	- Canaux de commentaire multilingue - Transferts multiples de programmes	- Sur demande/réservée/permanente - Point à point/multipoint - Bidirectionnelle symétrique/bidirectionnelle asymétrique
Données	Service de transmission d'information numérique sans restriction à grande vitesse	- Transfert de données à grande vitesse - interconnexion de réseaux locaux (LAN) - réseaux urbains (MAN) - interconnexion d'ordinateurs - Transfert d'information vidéo et d'autres types d'information - Transfert d'images fixes - CAD/CAM interactive entre plusieurs sites	- Sur demande/réservée/permanente - Point à point/multipoint - Bidirectionnelle symétrique/bidirectionnelle asymétrique - Mode connecté/mode non connecté	
		Service de transfert de fichiers de volume important	- Transfert de fichiers de données	- Sur demande - Point à point/multipoint - Bidirectionnelle symétrique/bidirectionnelle asymétrique
		Téléaction à grande vitesse	- Commande en temps réel - Télémétrie - Alarmes	
Document	Téléfax à grande vitesse	Transfert entre usagers de textes, d'images, de dessins, etc.	- Sur demande - Point à point/multipoint - Bidirectionnelle symétrique/bidirectionnelle asymétrique	
	Service de communication d'images à haute résolution	- Images professionnelles - Images médicales - Jeux commandés à distance et réseaux de jeux		
	Service de communication de documents	Transfert entre usagers de documents mixtes <sup>d)</sup>	- Sur demande - Point à point/multipoint - Bidirectionnelle symétrique/bidirectionnelle asymétrique	

**Services possibles à large bande dans le RNIS<sup>a)</sup>**

Classes de service	Type d'information	Exemples de services à large bande	Applications	Valeurs possibles de certains attributs <sup>b)</sup>
Services de messagerie	Images animées (vidéo) et son	Service de courrier vidéo	Service de courrier électronique pour le transfert d'images animées et du son associé	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande</li> <li>- Point à point/multipoint</li> <li>- Bidirectionnelle asymétrique/unidirectionnelle (complément d'étude nécessaire)</li> </ul>
	Document	Service de courrier de documents	Service de courrier électronique pour documents mixtes <sup>d)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande</li> <li>- Point à point/multipoint</li> <li>- Bidirectionnelle symétrique/unidirectionnelle (complément d'étude nécessaire)</li> </ul>
Services de consultation	Textes, données, graphiques, son, images fixes, images animées	Vidéotex large bande	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vidéotex, y compris les images animées</li> <li>- Enseignement et apprentissage à distance</li> <li>- Télélogiciel</li> <li>- Téléachats</li> <li>- Télépublicité</li> <li>- Consultation de nouvelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande</li> <li>- Point à point</li> <li>- Bidirectionnelle asymétrique</li> </ul>
		Service de consultation vidéo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Loisirs</li> <li>- Enseignement et apprentissage à distance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande/réservée</li> <li>- Point à point/multipoint<sup>f)</sup></li> <li>- Bidirectionnelle asymétrique</li> </ul>
		Service de consultation d'image à haute résolution	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Loisirs</li> <li>- Enseignement et apprentissage à distance</li> <li>- Communication d'images professionnelles</li> <li>- Communications d'images médicales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande/réservée</li> <li>- Point à point/multipoint<sup>f)</sup></li> <li>- Bidirectionnelle asymétrique</li> </ul>
		Service de consultation de documents	Consultation de «documents mixtes» auprès de centres d'information, d'archives, etc. <sup>d), e)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande</li> <li>- Point à point/multipoint<sup>f)</sup></li> <li>- Bidirectionnelle asymétrique</li> </ul>
		Service de consultation de données	Télélogiciel	
Services de distribution sans commande de présentation par l'utilisateur	Vidéo	Service de distribution de TV de qualité existante (PAL, SECAM, NTSC)	Distribution de programmes TV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande (sélection/permanente)</li> <li>- Diffusion/multipoint</li> <li>- Bidirectionnelle asymétrique/unidirectionnelle</li> </ul>
		Service de distribution de TV de qualité améliorée - service de distribution de TV à définition améliorée - TV de haute qualité	Distribution de programmes TV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande (sélection/permanente)</li> <li>- Diffusion/multipoint</li> <li>- Bidirectionnelle asymétrique/unidirectionnelle</li> </ul>
		Service de distribution de TV à haute définition	Distribution de programmes TV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande (sélection/permanente)</li> <li>- Diffusion/multipoint</li> <li>- Bidirectionnelle asymétrique/unidirectionnelle</li> </ul>
		TV payante (paiement par programme, paiement par canal)	Distribution de programmes TV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande (sélection/permanente)</li> <li>- Diffusion/multipoint</li> <li>- Bidirectionnelle asymétrique/unidirectionnelle</li> </ul>
	Textes, graphiques, images fixes	Service de distribution de documents	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Journal électronique</li> <li>- Publication électronique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur demande (sélection/permanente)</li> <li>- Diffusion/multipoint<sup>f)</sup></li> <li>- Bidirectionnelle asymétrique/unidirectionnelle</li> </ul>

## Services possibles à large bande dans le RNIS<sup>a)</sup>

Classes de service	Type d'information	Exemples de services à large bande	Applications	Valeurs possibles de certains attributs <sup>b)</sup>
Services de distribution sans commande de présentation par l'utilisateur <i>(suite)</i>	Données	Service de distribution d'informations numériques sans restriction à grande vitesse	- Distribution des données sans restriction	- Permanente - Diffusion - Unidirectionnelle
	Images animées et son	Service de distribution d'informations vidéo	- Distribution de signaux vidéo/audio	- Permanente - Diffusion - Unidirectionnelle
Service de distribution avec commande de présentation par l'utilisateur	Textes, graphiques, son, images fixes	Vidéographie diffusée sur canal complet	- Enseignement et apprentissage à distance - Télépublicité - Consultation de nouvelles - Télélogiciel	- Permanente - Diffusion - Unidirectionnelle

### NOTES

- a) Ce tableau tient seulement compte des services à large bande qui peuvent exiger une capacité de transfert supérieure à la capacité  $H_1$ . Les services pour la consultation d'information sonore, les principales applications sonores et les services visuels dont la résolution est réduite ou même fortement réduite n'y figurent pas.
- b) Cette terminologie traduit une redéfinition des termes existants. Les termes nouveaux pourront exister ou non pendant une période transitoire.
- c) Pour réaliser les différentes applications, il faudra peut-être définir des classes de qualité différente.
- d) Un «document mixte» est un document qui peut contenir un texte, une information graphique, des images fixes ou mobiles ainsi que des annotations vocales.
- e) Des fonctions spéciales des couches supérieures sont requises si un post-traitement est indispensable après consultation.
- f) Un complément d'étude est nécessaire pour indiquer si la connexion point à multipoint constitue, dans ce cas, une application principale.
- g) Pour le moment, cette colonne ne mentionne que certaines valeurs d'attribut possibles en vue de donner une indication générale des caractéristiques de ces services. Afin de spécifier complètement ces services, il faudra énumérer toutes les valeurs d'attribut qui seront définies pour les services à large bande dans les Recommandations de la série I.200.