

# FIBRE OPTIQUE & RÉSEAUX TRÈS HAUT DÉBIT

Réalités  
et perspectives

Éric Gangloff

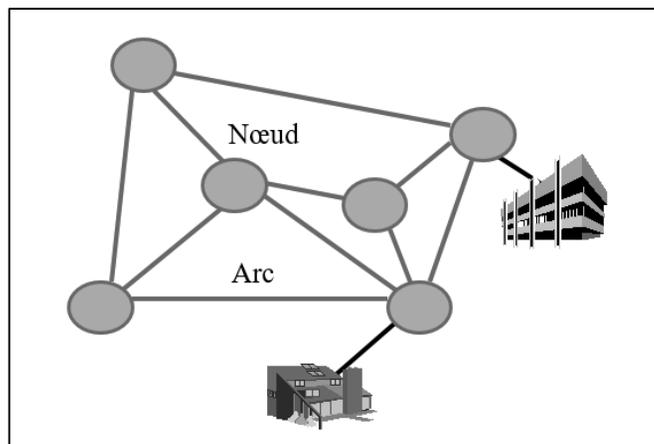


# Chapitre 1

## Le paysage des réseaux

### I. Typologie des réseaux

Un réseau a pour objectif la mise en relation de clients à travers des offres de service. Ces services s'appuient sur un ensemble de moyens, matériels et logiciels. Deux éléments de topologie permettent de décrire un réseau : les nœuds et les arcs.



*Modélisation d'un réseau (nœuds et arcs)*

Dans les nœuds de réseau, les fonctions principales mises en œuvre sont l'agrégation de trafic et l'aiguillage des flux.

- La fonction d'agrégation (multiplexage) consiste à regrouper des flux de trafic distincts pour constituer un multiplex dont la capacité résultante est égale à la somme des capacités des flux affluents. Cette fonction peut être réalisée dans le domaine temporel (*TDM : Time Division Multiplexing*) ou fréquentiel (*FDM : Frequency Division Multiplexing*). Dans le cas des fibres optiques, le multiplexage fréquentiel est plus communément nommé multiplexage en longueur d'onde (*WDM : Wavelength Division Multiplexing*). La fonction de multiplexage est mise en œuvre dans des multiplexeurs.

- La fonction d'aiguillage qui consiste à transférer un flux d'un port vers un autre est réalisée différemment suivant le mode de connexion. En mode connecté (mode circuit), les flux d'information sont aiguillés selon un schéma préétabli entre l'émetteur et le destinataire final. Les équipements réalisant cette fonction peuvent être, selon la topologie du réseau, des brasseurs (*XC : Cross Connect*) ou des Multiplexeurs à Insertion-Extraction (*ADM : Add Drop Multiplexer*). En mode non connecté, les paquets

sont orientés en fonction des adresses de destination. Les commutateurs (*switches*) réalisent cette fonction.

Les arcs reliant les nœuds de réseau sont matérialisés par les supports de transmission. On distingue trois grandes familles de supports :

- les paires métalliques : paires symétriques <sup>1</sup> et paires coaxiales
- les liaisons radio : faisceaux hertziens et satellites
- les fibres optiques : multimodes ou monomodes

A chacun de ces supports correspondent des terminaux et des équipements de ligne spécifiques. Les réseaux sont d'une grande diversité. Différents types sont à considérer :

- **Les réseaux dorsaux (*backbones*)**

Sur un territoire donné, en fonction de l'implantation de ses clients, un opérateur déploie un certain nombre de nœuds reliés entre eux. Cet ensemble structurant constitue le réseau dorsal de l'opérateur (*backbone*). Au sein de ce réseau dorsal, on distinguera :

- **Les réseaux métropolitains (*Metropolitan Network*)** qui collectent le trafic provenant des différents nœuds d'accès au réseau dorsal. Leur couverture est de quelques centaines de km<sup>2</sup>. Les débits sont de l'ordre de quelques dizaines de Gbit/s.

- **Le cœur de réseau (*Core network*)**, appelé aussi réseau interurbain, réseau longue distance ou *long haul*, qui assure une fonction de transport en interconnectant les réseaux de collecte entre eux. Dans le cœur de réseau, les distances entre nœuds peuvent atteindre plusieurs centaines de kilomètres. Les capacités sont de l'ordre de quelques centaines Gbit/s voire Tbit/s. Le cœur de réseau donne accès aux réseaux internationaux.

- **Les réseaux internationaux,**

Transfrontières voire transocéaniques, ils relient les différents réseaux d'opérateurs nationaux. Des distances de plusieurs milliers de kilomètres et des capacités supérieures au Tbit/s caractérisent ces réseaux.

- **Les réseaux d'entreprise ou *LAN (Local area Network)***

Ces réseaux sont propres à chaque entreprise. Leur étendue se limite à un ou plusieurs bâtiments de campus. Leur portée excède rarement quelques kilomètres. Les débits peuvent être élevés (au-delà du Gbit/s)

- **Les réseaux d'accès**

Ils assurent la desserte des clients qu'ils soient résidentiels ou professionnels à partir des nœuds d'accès. A noter que les termes « boucle locale », « *last mile* » ou « dernier kilomètre » sont synonymes de réseau d'accès. Ces réseaux sont d'une grande diversité. Ils ont une portée de quelques kilomètres. Les débits sont limités à quelques Mbit/s ou quelques centaines de Mbit/s dans le cas des réseaux sur fibre optique FTTH (*Fiber To The Home*). La frontière entre réseau d'accès et réseau de collecte est matérialisée par

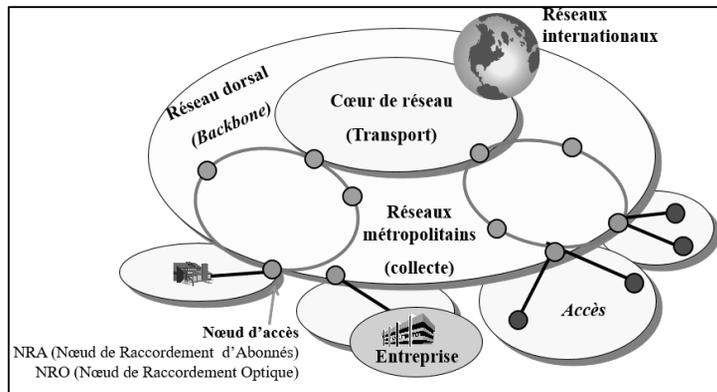
---

<sup>1</sup> Le réseau de paires symétriques est communément appelé « réseau cuivre ».

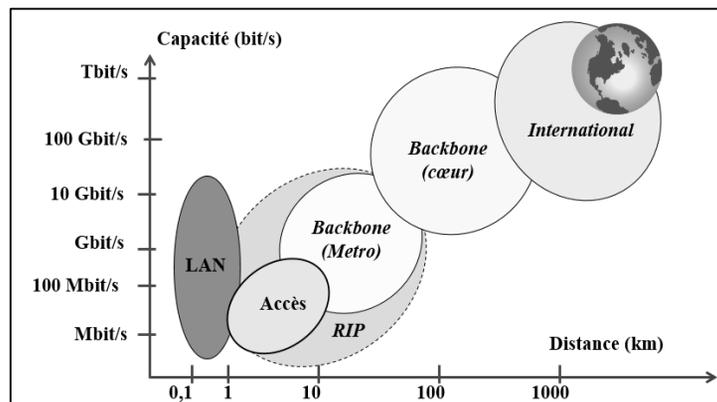
le NRA (Nœud de Raccordement d'Abonné) dans les cas d'un réseau cuivre et par le NRO (Nœud de Raccordement Optique) dans le cas d'un réseau d'accès optique.

- **Les réseaux d'initiative publique (RIP)**

Déployés dans le cadre de l'aménagement numérique du territoire (ANT), ces réseaux ont été construits à partir de 2004 suite à la promulgation de la loi pour la Confiance dans l'Economie Numérique (LCEN) autorisant les collectivités territoriales à jouer une part active dans la mise en place des réseaux sur leur territoire, une prérogative jusqu'à réservée aux seuls opérateurs. Comme leur nom l'indique, ces réseaux sont déployés à l'initiative des collectivités. Englobant collecte et accès, ils constituent aujourd'hui une composante essentielle du paysage numérique des territoires en favorisant sur l'ensemble du pays l'accès à tous au Très Haut Débit (THD). Ces différents réseaux peuvent être classifiés en fonction de deux principaux critères : la portée (entre deux nœuds adjacents) et la capacité des liens. Ces deux critères – portée et capacité – vont conditionner pour une large part les choix technologiques (support, architecture, technique de transmission)



*La diversité des réseaux*

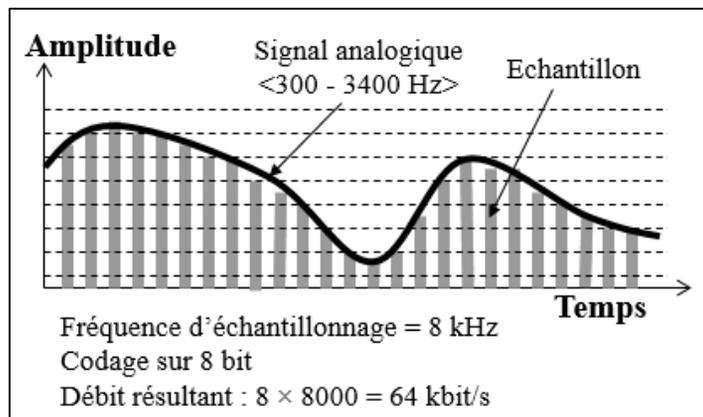


*Caractérisation (portée, capacité) des différents réseaux*

## II. Quelques clés pour comprendre les réseaux

### A. La notion de débit

La numérisation d'un signal vocal consiste à échantillonner le signal analogique puis à le coder, c'est-à-dire le convertir en une séquence binaire. L'échantillonnage doit être réalisé à une fréquence supérieure ou égale à deux fois la fréquence maximale contenue dans le signal (Théorème de Shannon). Dans le cas d'un signal vocal téléphonique dont les fréquences sont comprises entre 300 et 3400 Hz, la fréquence d'échantillonnage retenue est de 8 000 Hz, soit une période de 125  $\mu$ s. Chaque échantillon est ensuite codé sur huit éléments binaires pour un débit résultant de  $8000 \times 8 = 64$  kbit/s. Les techniques de compression permettent de réduire ce débit sans diminution significative de la qualité.



*Numérisation d'un signal téléphonique*

Standard ITU	Débit	Coût CPU *	Qualité **
G.711	64 kbit/s	0,34 Mips	4,1 / 5
G.729	8 kbit/s	20 Mips	3,9 / 5
G.723	6,3 kbit/s	16 Mips	3,9 / 5

(\*) : Le coût CPU est évalué en Mips (million d'instructions par seconde)

(\*\*) : Le niveau de qualité est noté sur une échelle de 0 à 5 selon la méthode MOS (*Mean Opinion Score*) définie dans la recommandation ITU - P.800.

*Compression d'un signal*

Dans le cas d'un signal hifi <sup>1</sup> dont les fréquences sont généralement comprises entre 20 et 20 kHz, la fréquence d'échantillonnage est fixée à 44,1 kHz et le codage s'effectue sur 16 éléments binaire soit un débit résultant de 705,6 kbit/s <sup>2</sup>

La compression (MP3 par exemple) permettra de réduire ce débit à quelques dizaines de kbit/s.

Débit	Taux de compression
1,4 Mbit/s	-
192 kbit/s	1 : 7
128 kbit/s	1 : 11
64 kbit/s	1 : 22

#### *Compression d'un signal Hifi*

En conclusion, il apparaît qu'un signal vocal, téléphonique ou Hifi ne nécessitera tout au plus que quelques dizaines de kbit/s et n'aura en conséquence qu'un faible impact sur la demande en capacité d'un réseau.

Il en va tout autrement du signal vidéo. La valeur du signal numérisé dépendra dans ce cas du type de compression utilisé (MPEG3, MPEG4, ...) ainsi que de la qualité souhaitée : Définition Standard (SD), Haute Définition (HD), Ultra Haute Définition 4K (UHD 4K), ...

Comme l'indique le tableau ci-dessous, les formats actuels exigent de provisionner un débit standard de 25 Mbit/s environ pour la transmission d'un signal vidéo de qualité 4K. La vidéo est donc mille fois plus que gourmande que la voix !

Standard	SD	HD	4K
MPEG-2	3 - 5 Mbit/s	12 - 18 Mbit/s	-
MPEG-4	2 - 3 Mbit/s	5 - 8 Mbit/s	18 - 24 Mbit/s (25 Mbit/s)

#### *Numérisation et compression d'un signal vidéo*

Ces exigences de bande passante <sup>3</sup> ont un impact direct sur la capacité des réseaux à véhiculer ces services. Ainsi, les réseaux sur cuivre ADSL<sup>4</sup> dont la capacité, pour la plupart, n'excède pas quelques Mbit/s ne sont pas en mesure de transmettre ces flux, ce qui justifie ainsi leur remplacement par les réseaux FTTH (*Fiber To The Home*).

Ceci, d'autant plus, que les besoins sont appelés à augmenter considérablement dans les années à venir comme l'indique la projection découlant de la loi de Nielsen. Cette loi,

<sup>1</sup> Hifi : High Fidelity.

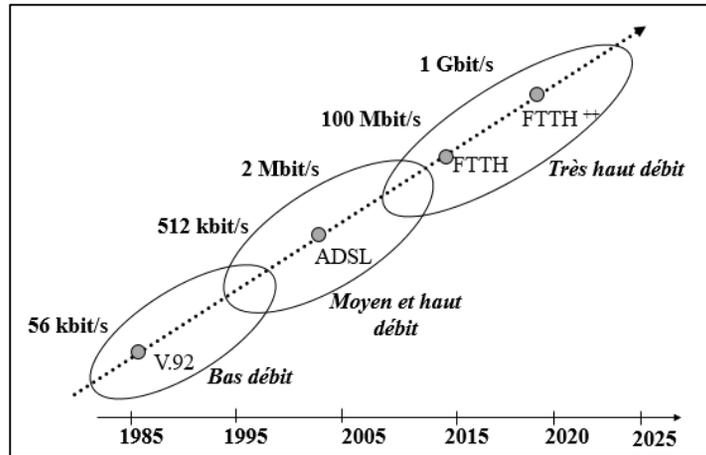
<sup>2</sup>  $2 \times 705,6 \text{ kbit/s} = 1,4 \text{ Mbit/s}$  pour un signal stéréo.

<sup>3</sup> Bien qu'impropre, le terme bande passante est communément employé pour désigner le débit.

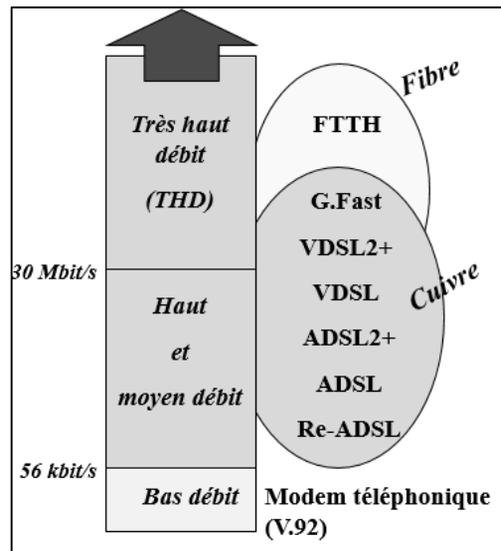
<sup>4</sup> ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line.

remarquablement vérifiée depuis plusieurs décennies, stipule que les besoins de débit à l'accès progressent de 50 % par an.

Selon la convention communément acceptée aujourd'hui, le Très Haut Débit (THD) commence à partir de 30 Mbit/s<sup>1</sup>. L'ADSL ne permet pas d'accéder au très haut débit. Il n'est atteignable sur cuivre qu'avec les technologies VDSL, sur de courtes distances seulement.



*Loi de Nielsen : le débit chez le client augmente de 50% par an*

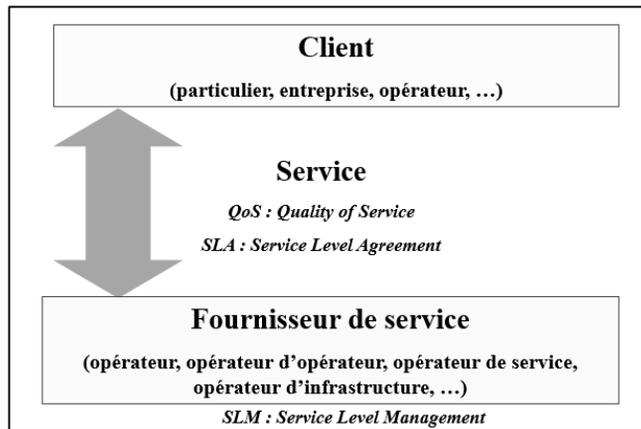


*Haut débit (HD) et très haut débit (THD)*

<sup>1</sup> Ce seuil est appelé à être relevé dans les années à venir en fonction de l'évolution des technologies et des services.

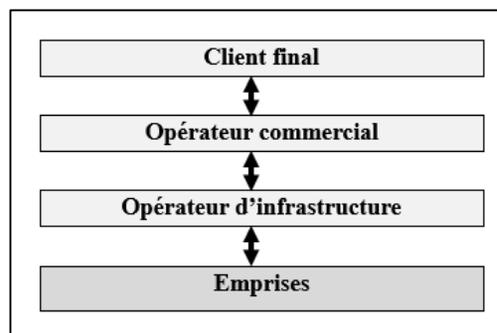
## B. La modélisation en couches

Pour appréhender les réseaux dans leur complexité, il est utile voire indispensable de s'appuyer sur une modélisation en couches. Dans ce modèle, les différentes couches intermédiaires entretiennent entre elles des relations de type client-serveur. La couche inférieure (couche serveur) est dite au service à la couche supérieure : la couche cliente. Ce service est défini par des paramètres de qualité de service (*QoS : Quality of Service*) intégrés dans un contrat de service (*SLA : Service Level Agreement*). Le fournisseur de Service assure ce contrat de service par une gestion appropriée (*SLM : Service Level Agreement*).



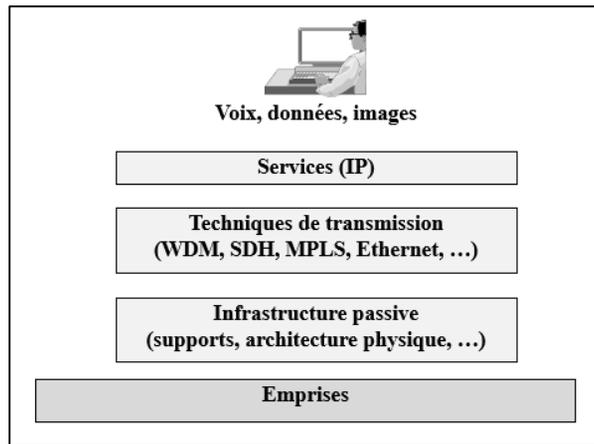
*Approche générale du modèle en couches*

Cette approche générique peut s'appliquer aux relations entre les différents acteurs (clients finaux, opérateurs d'infrastructures, opérateurs d'opérateurs, ...) tout autant qu'aux technologies elles-mêmes. L'exemple ci-dessous illustre les relations client-serveur entre les différents acteurs de la chaîne. Au niveau supérieur, le client final s'adresse à un opérateur commercial, fournisseur d'accès internet (FAI) par exemple. Pour délivrer son service, cet opérateur commercial utilise les ressources mises à disposition par un opérateur d'infrastructure ayant déployé son réseau sur les emprises mobilisables du territoire concerné.



*Application du modèle en couches aux relations entre opérateurs*

Le schéma ci-dessous illustre quant à lui les relations existantes entre les différentes couches techniques. Au niveau supérieur figurent les services délivrés au client final. Ces services (voix, données, vidéo, ...), sont majoritairement basés aujourd'hui sur le protocole IP. Les datagrammes IP sont transportés par différentes techniques de transmission (Ethernet, WDM, ...). Les canaux de transmission sur lesquels sont mises en œuvre ces techniques de transmission utilisent les chemins physiques que constituent les supports de transmission.



*Application du modèle en couches aux techniques et services*

Dans l'illustration proposée ci-dessous, la couche service correspond aux services IP, soit les niveaux 3 et au-dessus du modèle OSI. La couche transmission est subdivisée en deux niveaux : Ethernet et WDM. La couche infrastructure peut être elle aussi décomposée en deux niveaux, fibre optique et fourreau. Les datagrammes IP transportant les services sont encapsulés dans des trames Ethernet elles-mêmes véhiculées dans des canaux optiques. Chaque canal optique correspond à une longueur d'onde donnée. Les canaux optiques utilisent la bande passante offerte par la fibre optique. Les fibres optiques sont groupées dans des câbles de capacité variable. Ces derniers sont placés dans des fourreaux enterrés. Chaque couche est donc à la fois serveur et cliente. Au niveau le plus bas, nous dirons que la fibre optique est « cliente du fourreau » en ce sens qu'elle utilise un fourreau. Elle est aussi au service de la couche WDM dans le sens où c'est sur cette même fibre que sont activés les différents canaux optiques dans lesquels sont transportés les flux Ethernet.

A chaque niveau, correspondra un service qui pourra être commercialisé par l'opérateur d'infrastructure. Les fourreaux surnuméraires peuvent être loués tout comme les fibres. La location de fibre est qualifiée de « location de fibre noire » signifiant que la fibre est mise à disposition sans être « éclairée » par un laser. Sur chaque fibre, un certain nombre de canaux optiques peuvent être activés. Un opérateur peut louer un ou plusieurs canaux à un opérateur d'infrastructure. Enfin dans chaque canal, une partie de la capacité pourra être louée. On parle alors de « location de bande passante ».