

# Le FTTH : La Révolution de l'Optique

Philippe Gallion  
TELECOM ParisTech, and CNRS LTCI, Paris  
Tel. +33-(0)1-45-81-77-02  
Email: [philippe.gallion@telecom-paristech.fr](mailto:philippe.gallion@telecom-paristech.fr).

Les technologies ADSL sont aujourd'hui à leur apogée. La limitation de leur débit, leurs performances inégales en fonction de la distance, génératrice d'iniquité et la dissymétrie entre les débits montant et descendant sont réglés par la rupture technologique de l'optique. Les technologies optiques sont prêtes à faire face pour longtemps à la montée des débits.

## 1. Guidage de la lumière dans les fibres optiques

La lumière, comme toutes ondes électromagnétiques, est bien sûr capable de se propager d'un point à un autre en espace libre, c'est-à-dire sans que son trajet ne soit matérialisé par un guide. Cependant la turbulence, la turbidité de l'atmosphère et la visibilité indispensable entre ces deux points sont autant de difficultés pour les communications optiques terrestres en espace dit « libre ». Un autre effet très limitant est la diffraction, c'est-à-dire la divergence naturelle des ondes, qui en optique est à la fois suffisamment petite pour conserver une directivité importante et pas forcément souhaitable et suffisamment importante pour permettre la collecte, à la réception, d'une fraction significative de puissance émise. Seul un guidage de la lumière permet d'éviter la dispersion de l'énergie par diffraction.

Le guidage de la lumière utilise sa propension naturelle à rester confinée aux endroits où sa vitesse est la plus faible, c'est-à-dire là où l'indice de réfraction est le plus élevé, tout comme l'eau a une propension à s'installer au fond d'une rigole. Une fibre optique est donc constituée d'un cœur diélectrique cylindrique d'indice  $n_2$  et de diamètre  $2a$ , entouré par une gaine diélectrique d'indice plus faible  $n_1$  (Figure 1). Le diélectrique utilisé est, dans la plupart des cas, de la silice, c'est-à-dire du verre qui est un matériau peu coûteux et très ductile, dopée par du Bore ou du Germanium, afin d'obtenir la différence d'indice requise. Ce changement d'indice est très petit, typiquement de l'ordre de 0,1% à 1% et le diamètre du cœur varie entre 5 à 50 $\mu$ . Le diamètre extérieur est en général de 125 $\mu$ .

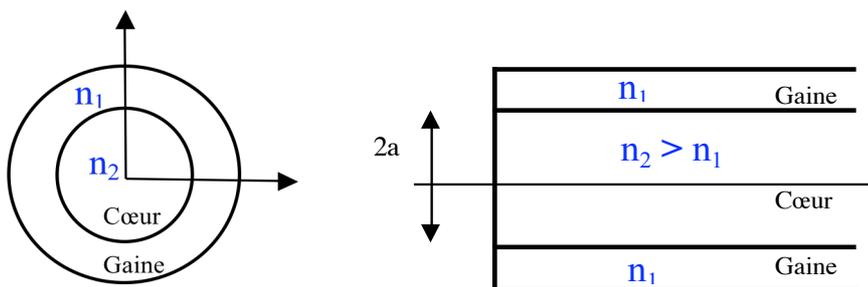


Figure 1 : Structure d'une fibre optique

Les fibres optiques n'ont pas la raideur fragile que suggèrent leur constituant et leur diamètre, car un revêtement leur confère de bonnes propriétés mécaniques. Elles ont un faible encombrement, un faible poids et des faibles rayons de courbures sont autorisés.

Le mécanisme de guidage est la réflexion, sans pertes, de la lumière se propageant dans le cœur, lorsqu'elle rencontre la gaine qui est un milieu d'indice plus faible. Contrairement à la réflexion métallique, cette réflexion diélectrique n'introduit pas de pertes intrinsèques pour le mécanisme de guidage. De plus la propagation est insensible aux rayonnements électromagnétiques parasites et n'en génère pas elle-même.

La lumière n'est cependant guidée que s'il elle ne fait pas un angle trop élevé avec l'axe de la fibre lors de son injection. L'angle maximum autorisé est appelé l'ouverture numérique. Lorsque le diamètre du cœur est grand par rapport à la longueur d'onde (50 $\mu$ m, voire quelques mm pour les fibres plastiques), et que, de plus, la différence d'indice est importante (1%) l'ouverture numérique est élevée (10°), rendant l'injection de la lumière et les connexions faciles. Mais il existe alors pour la lumière différentes façons de se propager, appelées modes. La fibre est alors dite multimode et il existe typiquement plusieurs centaines de modes (Figure2). Ceci n'est pas un avantage, car ces très nombreux modes ont des vitesses différentes et les énergies qu'ils transportent n'arrivent pas en même temps. Le débit est alors limité par leur différence de temps de parcours, imposant un espacement important des impulsions de lumière consécutives, même après correction de cette dispersion intermodale par un gradient d'indice qui accélère les rayons ayant le plus de chemin à parcourir. Dans le contexte de l'accès, ces fibres multimodes sont maintenant souvent réservées aux réseaux domestiques et sont alors en polymère.

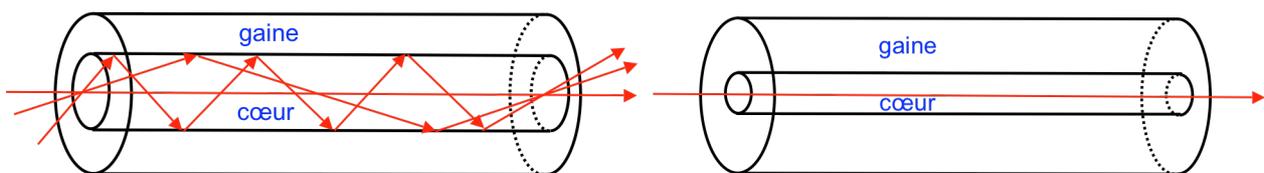


Figure 2 : Fibre optique multimode et fibre optique monomode

Lorsque coeur est petit (10 $\mu$ m) et que la différence d'indice est faible (0,1%) l'ouverture numérique est petite (quelque °). Le couplage de la lumière dans la fibre est délicat ainsi que les connexions, nécessitant d'aligner les coeurs mais aussi les axes, dans un connecteur ou lors d'une soudure, avec une grande précision. Les pertes résultant de cette difficulté sont de l'ordre de 0.1 à 0.3dB dans le premier cas et de 0.05dB dans le second, rendant également toutes réparations pénalisantes. C'est le prix à payer à l'existence d'un seul mode de propagation, la fibre autorisant alors un grand débit puisque la lumière ne dispose plus que d'un seul chemin.

## 2. Un gisement fréquentiel immense

Le choix de la longueur d'onde se propageant dans une fibre est gouverné par la plage de transparence de la silice. Elle se situe dans le proche infra rouge, pour des longueurs d'onde comprises entre 1250nm à 1650nm, un pic d'absorption à 1390 nm, lié à une impureté peut être pratiquement éliminé (Figure 3). Le minimum d'atténuation, 0,16dB/km pour la fibre seule, 0,25dB/km en pratique en incluant les pertes par le câblage et les raccords, est obtenu pour une longueur d'onde de 1550nm, correspondant à une fréquence de 200THz. 1nm de longueur d'onde correspond ainsi à une page de fréquence de 125Ghz. La bande de 400nm disponible correspond à un gisement fréquentiel immense de 50THz. La faible atténuation

autorise des portées de liaisons de 120km, en admettant une atténuation totale de 30dB. Le spectre optique est, comme le reste du spectre radioélectrique, divisé en bandes (Figure4).

- Bande XS (Xshort band) : 1250 à 1350nm
- Bande S+ (short band) : 1450 à 1490nm
- Bande S (short band) : 1500 à 1525nm
- Bande C (conventional band): 1525 à 1565nm
- Bande L (long band) : 1568 à 1610nm
- Bande L+ (long band) : 1610 à 1650nm

La bande C correspondant aussi à la bande des amplificateurs à fibres optiques dopées à l'Erbium dont la technologie est aujourd'hui la plus mature et sont les plus utilisés.

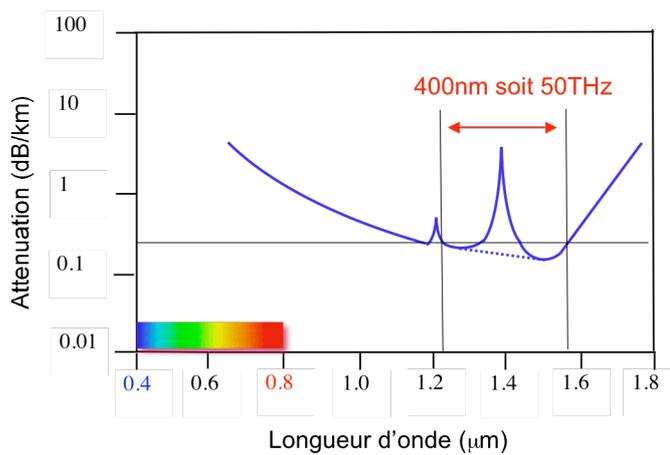


Figure 3 : Atténuation de la silice

Le mécanisme gouvernant les pertes au minimum d'atténuation est la diffusion de la lumière hors du guide. Cette diffusion, appelée diffusion Rayleigh, est celle qui transforme une partie de la lumière solaire en un ciel bleu car elle son efficacité est inversement proportionnelle à la puissance quatre de la longueur d'onde et donc beaucoup plus grande pour la lumière bleue. La silice n'est, de ce fait, sans doute pas le matériau de plus faible atténuation qui soit, une atténuation plus faible pouvant être espérée dans l'infra rouge plus lointain. Cependant l'atténuation n'est pas le seul critère car il faut aussi savoir fabriquer aussi les émetteurs et les récepteurs de lumière et que cette tâche se complique, à cause des effets thermiques, quand la longueur d'onde augmente.

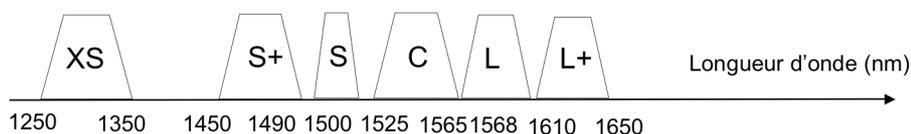


Figure 4 : Les bandes de fréquence (longueur d'onde) optique.

Pour les fibres en polymère ou (Plastic Optical Fiber, POF) le cœur est par exemple constitué de polyméthacrylate de méthyle (PMM) et la gaine de polymères fluorés. La transparence est pour des longueurs d'onde comprises entre 600 et 850 nm où l'atténuation est de l'ordre de 10 dB/km, ce qui n'est pas rédhibitoire pour un câblage domestique. Le très gros diamètre de cœur, de 100µm à quelques mm, permet des connexions très faciles et des connecteurs à bon marché.

### 3. La dispersion et le débit

Bien qu'un seul chemin pour la lumière, n'y soit possible il existe une limitation du débit pour fibres monomodes car les différentes composantes spectrales, c'est-à-dire les différentes couleurs, parcourent ce chemin unique avec des vitesses différentes. C'est ce que l'on appelle la dispersion de vitesse de groupe ou « Group Velocity Dispersion » (GVD). Elle est caractérisée le facteur de dispersion  $D$  de la fibre qui est son aptitude à convertir, pour une longueur de fibre de 1km, un écart de longueur d'onde d'un nanomètre en une différence de temps de parcours, exprimée en picoseconde.

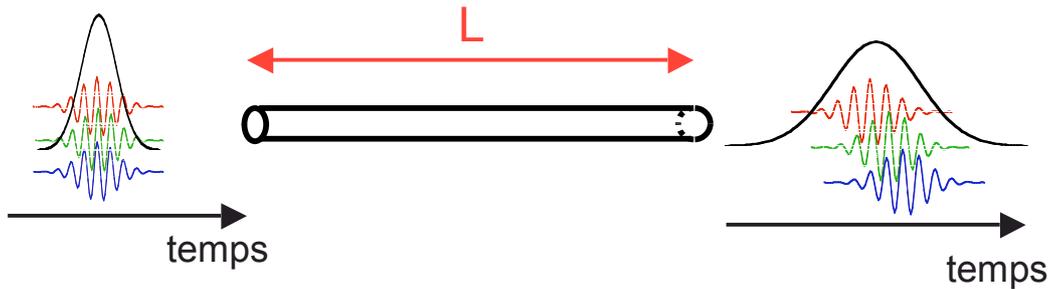


Figure 5 : Elargissement d'une impulsion par dispersion de la vitesse de groupe

Il résulte de la différence entre ces temps de parcours un élargissement des impulsions. Pour une dispersion  $D$  négative, appelée dispersion normale, les grandes longueurs d'onde (c'est-à-dire les basses fréquences), représentées en rouge sur la figure 5, par analogie avec le spectre visible, arrivent en début d'impulsion car elles expérimentent un indice plus faible. Les petites longueurs d'onde, représentées en bleu, prennent du retard et arrivent en fin d'impulsion. Pour une dispersion positive, appelée dispersion anormale (anormale pour les auteurs modernes), c'est l'inverse (Figure 5). Il résulte de cet élargissement de l'impulsion initiale un mélange des impulsions successives. Un débit numérique plus élevé implique à la fois des impulsions plus brèves, au spectre plus large générant plus de dispersion, mais aussi plus proches et plus vulnérables à leur recouvrement. La distance autorisée, sans interférence inter symbole résultant de l'élargissement des impulsions, décroît donc, pour une fibre donnée, comme le carré du débit.

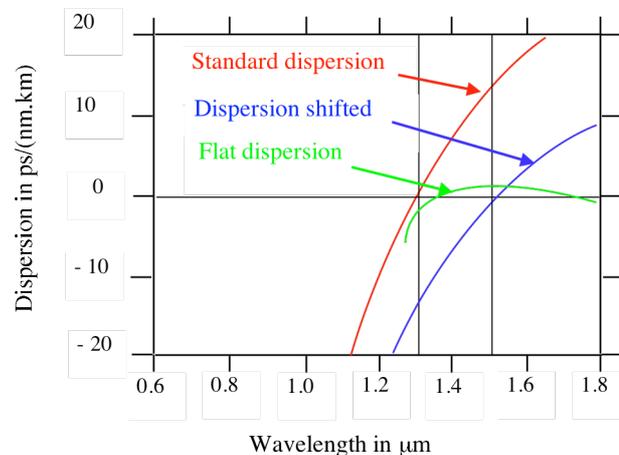


Figure 6 : Dispersions des différentes fibres optiques

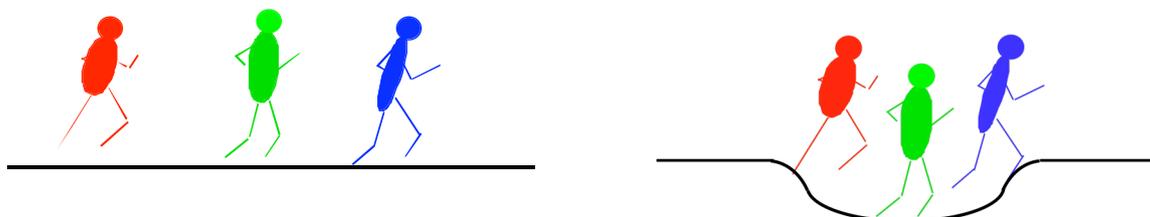
Pour les fibres en silice standard (G652), appelées « Standard Monomode Fiber SMF» la dispersion est de 17ps/(nm.km) au minimum minimum d'atténuation à une longueur d'onde de 1500nm (Figure 6) , et nous avons.

$$[\text{Débit}(\text{Gbit/s})]^2[\text{Longueur (km)}] < 6000 (\text{Gb/s})^2\text{km}$$

La dispersion sur ces fibres, très largement déployées, autorise donc une portée 60km à 10Gb/s et de 15km seulement à 40Gb/s. Une dégradation de ces performances est de plus possible avec une source laser à bon marché pour laquelle la fréquence porteuse glisse au cours de l'impulsion par le phénomène de « chirping ». Tout cela reste encore très en deçà des potentialités de l'optique et ces performances peuvent être très largement dépassées, comme nous le verrons, par l'utilisation d'un autre type de fibre, par une gestion conjointe de la dispersion et des non linéarités ou encore par l'utilisation simultanée de plusieurs longueurs d'onde sur la même fibre.

De meilleures performances sont en effet possibles, au prix d'une atténuation plus élevée, à une longueur d'onde de 1300nm, ou mieux en utilisant des fibres plus sophistiquées où la dispersion du matériau, ici la silice, est compensée par la dispersion introduite par le mécanisme de guidage. C'est le cas des fibres à dispersion décalée ou « Dispersion Shifted Fiber (DSF) » pour lesquelles D est inférieure à 1 ps/(nm.km) à la longueur d'onde de 1500nm. Il existe aussi des fibres à compensation de dispersion où « Dispersion Compensation Fiber (DCF) » pour lesquelles la dispersion est très fortement négative permettant de compenser sur une petite longueur, les effets accumulés de la dispersion positive sur une longueur beaucoup plus grande de fibre standard. Il existe enfin des fibres comme la fibre G 657 spécialement conçue pour supporter de très faibles rayons de courbure et donc bien adaptée aux conduits des immeubles.

Une caractéristique importante des fibres optiques est la non linéarité résultant des modifications dynamiques de l'indice de la fibre par la lumière elle-même. En effet, même si la puissance optique moyenne dans une fibre optique est faible (de 0 à quelques dBm), le champ électrique y atteint, à cause du confinement dans le cœur, des valeurs de crête importante, comparables au champ moléculaire et conduisant à des variations d'indice. Certes faibles, ces variations ont cependant des effets cumulés importants sur des grandes distances. Le plus important de ces effets, dans un système à une seule longueur d'onde, est l'effet Kerr optique, produisant une auto modulation de phase ou « Self Phase Modulation (SPM) ». L'auto modulation de phase augmente la longueur d'onde de la lumière qui se porte en début d'impulsion. Cet effet n'est pas forcément aggravant car une dispersion positive, lui conférant alors une vitesse plus faible, la retarde alors, la renvoyant en fin d'impulsion. L'auto modulation de phase compense alors les effets de la dispersion et c'est alors le signal lui-même qui corrige les imperfections de son canal de propagation.



*Figure 7 : Propagation non linéaire et Propagation linéaire*

Cet effet peut être intuitivement compris en considérant un groupe de coureurs évoluant sur un support rigide indifférent à leur passage. Il s'agit d'une propagation linéaire et le coureur

le plus véloce se porte en tête du groupe à cause de la dispersion de vitesse de groupe. Considérons maintenant ce même groupe de coureurs évoluant sur un support déformable, un matelas par exemple. Il s'agit alors d'une propagation non linéaire et, alors que le coureur le plus véloce se porte en tête du groupe, il se trouve en permanence contraint de gravir la dépression mobile provoquée par le poids du groupe, voyant ainsi se réduire ses velléités à s'échapper. A contrario, la descente permanente dans cette dépression évite au moins rapide d'entre eux de se faire rapidement distancer (Figure7). L'interaction du groupe avec le milieu tend donc à corriger les différences de vitesse entre coureurs.

La gestion conjointe des non linéarités et de la dispersion, déjà largement répandue dans le réseau de transport, permet donc de reculer les limites de la dispersion.

#### 4. Les fonctions

Les fonctions essentielles d'un système optique sont tout d'abord les composants d'interfaces entre les domaines optique et électrique. Un émetteur est constitué d'un laser à semi-conducteur, convertissant les électrons qu'on lui injecte en photons dont l'énergie  $E$ , déterminée par l'énergie de gap semi-conducteur utilisé, est reliée à la fréquence optique par la célèbre relation d'Einstein  $E = h\nu$ . Au-delà de leur courant de seuil, la puissance optique émise est proportionnelle au courant électrique injecté, accompagne la modulation de celui-ci et est de l'ordre de 1mW (0dBm).

En fin de fibre, un photo détecteur, est un semi-conducteur choisi pour avoir une énergie de gap inférieure à celle des photons reçus, absorbe ces derniers, produisant un courant électrique proportionnel à la puissance optique. Le facteur de conversion, appelé sensibilité, est de l'ordre de 1A/W car l'énergie des photons est de l'ordre de 1eV. Les photo détecteurs sont affectés, comme tout circuit électronique, par du bruit thermique et un signal optique d'au moins -30dBm est requis pour garantir taux d'erreur de  $10^{-9}$ .

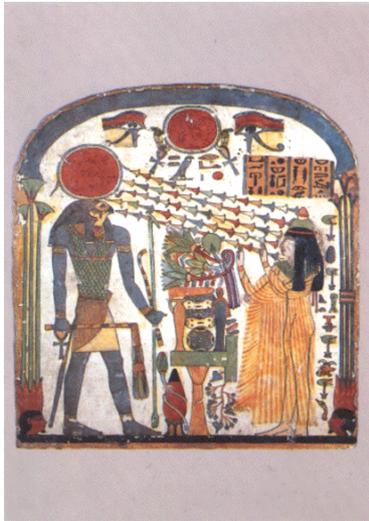
D'une manière générale, les conversions optique - électrique et électrique - optique sont peu avantageuses car elles ont des rendements énergétiques faibles et sont un goulet d'étranglement pour la bande passante. Il est à noter que, les électrons n'ayant pas de couleur, les signaux électriques ne sont qu'en « noir et blanc » et que la photo détection s'accompagne d'une perte définitive de l'information sur la couleur du signal optique reçu. Les fonctions « tout optique » en cours de développement permettront, de réduire l'utilisation de ces conversions

Un bilan de liaison de 25 à 30dB est donc disponible entre l'émetteur et le récepteur et il est à répartir entre l'atténuation de la fibre, la division de la puissance par des coupleurs, les connexions et les réparations à venir.

Les amplificateurs optiques à fibres optiques dopées à l'Erbium ou « Erbium Doped Fiber Amplifier » (EDFA) pompés optiquement par injection d'un autre signal optique (à 1480nm ou à 980nm) ou les amplificateurs optiques à semi-conducteur ou « Semiconductor Optical Amplifier (SOA) », pompés électriquement, présentent des gains typiques de 20 dB à 30 dB. Leur facteur de bruit minimal est de 3dB à cause des propriétés quantiques de la lumière. Les amplificateurs optiques Raman, en cours de développement, sont pompés optiquement (à une fréquence supérieure de 13,2THz à celle du signal) et permettront une amplification distribuée à l'intérieur même de la fibre de transmission. Ils restent aujourd'hui limités par le bruit et la disponibilité des pompes. Les amplificateurs optiques à semi-conducteur présentent de l'auto modulation de phase (SPM) et de la modulation de phase croisée (XPM) riches en applications potentielles intéressantes pour le traitement « tout optique ».

## 5. La couleur

L'augmentation du débit d'information confié à une longueur d'onde unique est obtenue par un multiplexage temporel électronique (Electronic Time Domain Multiplexing, ou ETDM). Il est limité par les performances des circuits électroniques de multiplexage et pour les réseaux de transport, par la dispersion réduisant la portée des liaisons.



Le multiplexage en longueur d'onde (WDM) est une vieille idée ! Rê Horaky (le Soleil à midi) transmet un faisceau lumineux multicolore à Tapéret (800-900 B.C.). Bois peint, Le Louvre, Paris.

Figure 8 : Un des premiers systèmes de communications multi longueurs d'onde

Le multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing ou WDM) permet de relaxer ces contraintes en utilisant simultanément et sur la même fibre des longueurs d'onde indépendantes (Figure 8 et 9). L'intérêt du WDM pour les liaisons à grand débit est énorme car moins de câbles optiques sont nécessaires, une amplification collective des canaux est possible, les contraintes liées à l'augmentation des débits en termes d'électronique rapide et de dispersion chromatique sont relâchées, l'utilisation des anciennes fibres dispersives est possible et enfin car la montée en débit est rendue modulaire par ajout successif de longueur d'onde (réduction du Capex). Les limitations ne sont plus alors que les effets non linéaires entre les canaux et la difficulté de gérer un nombre élevé de ces canaux.

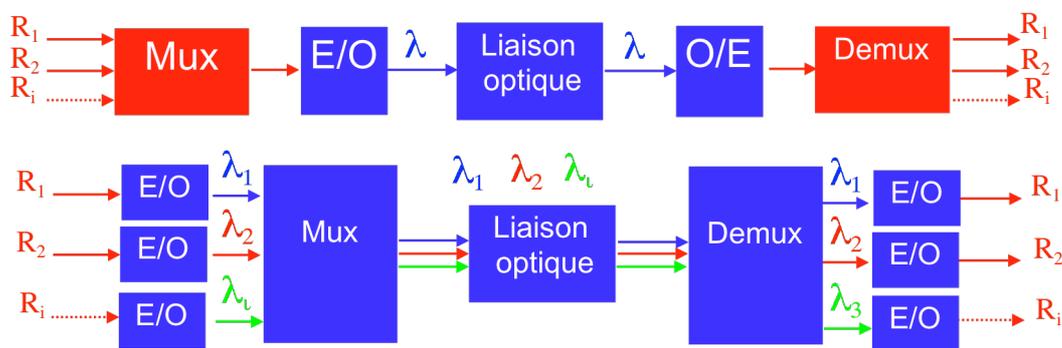


Figure 9 : Multiplexage temporel électrique (ETDM) et multiplexage en longueur d'onde (WDM)

Dans le contexte des réseaux d'accès, l'utilisation de la longueur d'onde comme dimension supplémentaire est de plus très importante car elle permet la séparation des débits montant et

descendant sur la même fibre, la séparation et l'augmentation du nombre des utilisateurs, des services et des fournisseurs d'accès la partageant éventuellement. L'assignation en longueur d'onde peut être statique ou dynamique, la longueur d'onde souhaitée pouvant être sélectionnée par filtrage en réception ou utilisée pour le routage.

Le rapprochement fréquentiel des canaux optiques est limité par la difficulté de multiplexer surtout de démultiplexer des longueurs d'onde voisines. Les multiplexeurs et les démultiplexeurs optiques (Mux et Demux) sont constitués de réseaux de guides ou « Array Wave Guide (AWG) », de guides à interférences de modes multiples ou « Multi Modes Interférence (MMI) » ou encore de fibre à réseau de Bragg ou « Fiber Bragg Grating (FBG) », qui utilisent la recombinaison locale en phase de trajets optiques multiples pour une longueur d'onde donnée dans un dispositif intégré. Ces recombinaisons sont cependant, par nature très vulnérables aux fluctuations thermiques, tout comme d'ailleurs l'est la longueur d'émission des sources laser et le contrôle fin de la longueur d'onde passe par celui de la température, les dérives en fréquence étant de l'ordre de 12,5 GHz/K.

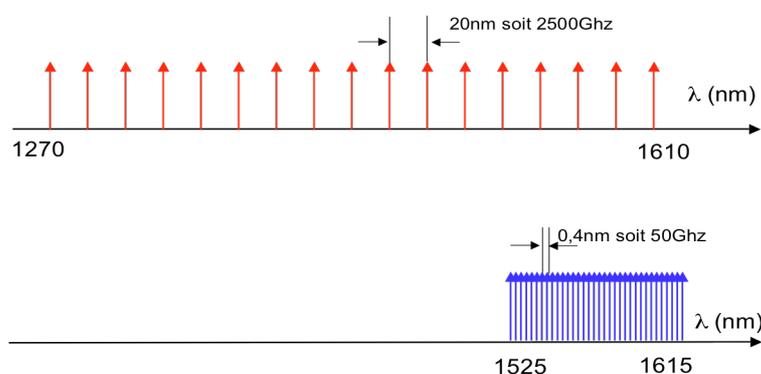


Figure 10 : CWDM versus DWDM

La façon la plus économique est le multiplexage en longueur d'onde à faible densité ou « Coarse WDM (CWDM) », n'utilisant que quelques longueurs d'onde très espacées et réparties sur l'ensemble du spectre (Figure 10). Elle est bien adaptée quand la ressource fréquentielle optique est très surdimensionnée. Lorsque la fréquence optique devient une ressource rare, ou si une amplification collective des différents canaux est souhaitée il faut les regrouper, au prix des difficultés précédemment mentionnées, dans la bande passante des amplificateurs, le plus souvent des EDFA. La distance entre canaux est alors 100GHz, 50 GHz voire 25 GHz et l'on parle de WDM dense ou « Dense WDM (DWDM) ».

## 6. Les topologies

La topologie la plus simple pour relier le terminal de ligne ou « Optical Line Termination (OLT) » à l'utilisateur ou « Optical Network Unit (ONU) » est de relier une (ou plusieurs) fibre(s) entièrement dédiée(s) entre ces deux points. C'est la topologie dite à Point à point (P2P). La longueur d'onde descendante est de 1500nm et la longueur d'onde montante de 1300nm. Elles se propagent sur la même fibre, ou sur 2 fibres séparées. Cette topologie, qui nécessite évidemment beaucoup de fibre, est bien adaptée aux zones à forte densité et permet des réparations faciles sur des liens faciles à identifier. Il n'y a pas de partage de la ressource optique et des nombreuses ressources fréquentielles immenses sont disponibles. Ce type de

lien peut faire face à toutes les évolutions, intégrer de la télévision sur câble (CATV), de nouveau service ou différents fournisseurs.

La topologie de point à multipoint (P2MP) utilise un coupleur optique passif 1 vers N (N étant de 16 à 128) pour répartir la puissance et les ressources fréquentielles d'une fibre unique issue de l'OLT vers autant d'ONU (Figure 11). L'archétype de cette topologie est le réseau optique passif ou « Passive Optical Network » (PON). Utilisant moins de fibres, cette configuration est bien adaptée aux zones à faible densité, bien que le partage de la puissance réduise la portée. L'utilisation possible d'amplificateurs optiques Erbium (EDFA) permet de compenser les pertes par partage. Une gestion électrique de la ressource optique commune est nécessaire ainsi que la synchronisation délicate des ONUs situés à des distances variables de l'OLT. Le mode diffusion est très facile pour le flux descendant. La voie montante peut utiliser des lasers sans couleur bien spécifiée (on parle alors de laser sans couleur). Les interférences optiques entre ces lasers sont cependant à éviter. Une alternative possible est le partage spectral (spectrum slicing) d'une des nouvelles sources à très large bande (super continuum) en cours de développement.

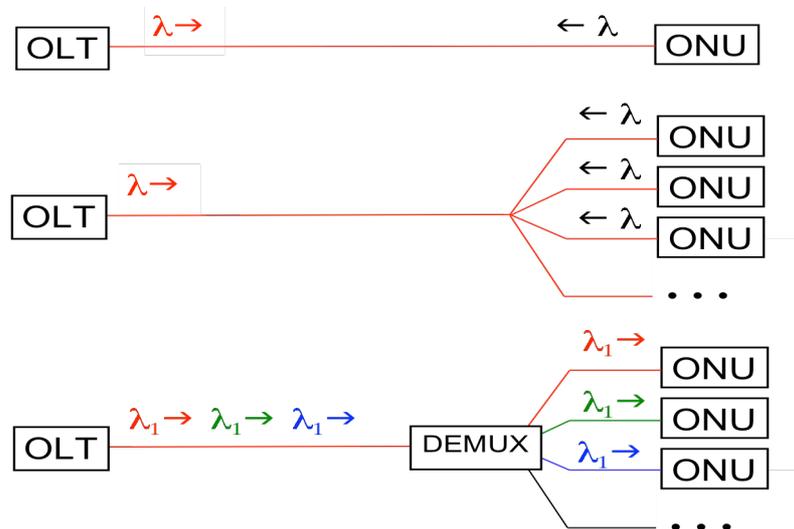


Figure 11 : Réseau PTP, PTMP et WDM PTMP

Une configuration plus performante est obtenue en introduisant de la diversité de longueur d'onde dans la topologie PTMP. Une amplification collective des canaux est possible avant le coupleur et chaque longueur d'onde de cette structure WDM PON est un canal (presque) indépendant si l'on évite la diaphonie et les non linéarités. Il n'y a pas de partage de la puissance optique avec un routage en longueur d'onde, pouvant être statique ou dynamique en utilisant des Mux/démux passifs ou actifs. Une duplication sur toutes les longueurs d'onde est nécessaire pour fonctionner en mode diffusion sur le tronçon commun. La même longueur d'onde peut être utilisée pour les voies montante et descendante et la source optique à l'intérieur de l'ONU peut être économisée, en utilisant des composants optiques actifs réfléchissants incluant un amplificateur ou modulateur.

## 7. Conclusion

Les premières générations de raccordement FTTH sont une rupture technologique par rapport aux technologies ADSL aujourd'hui à leur apogée. Elles augmentent le débit d'un facteur au

moins égal à quelques dizaines, permettent l'équité attendue des raccordements en fonction de la distance et elles symétrisent enfin les débits montant et descendant, ouvrant la voie à la remontée massive des contenus auto générés ou « User Generated Content ».

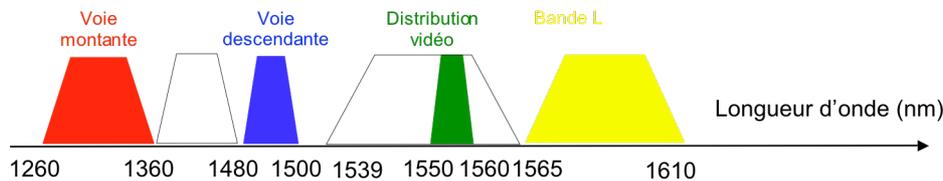


Figure 11 : Plan de fréquence ATM PON

Cette première génération est bien loin d'exploiter le gisement fréquentiel, les débits et les fonctionnalités de l'optique (Figure 12). Les plans de fréquence optique actuels laissent beaucoup de ressources fréquentielles pour de nouveaux services comme le CATV. Parallèlement les technologies optiques ne cessent de progresser pour satisfaire les besoins des réseaux de transport. Les progrès récents incluent la gestion dynamique de la longueur d'onde, les communications numériques optiques notamment les codes correcteurs d'erreur (FEC) et les techniques optiques cohérentes utilisant des modulations plus performantes (QPSK, DPSK). Pour l'accès, la convergence avec les réseaux radio ou le partage de la ressource optique, de nombreuses études sont en cours, comme par exemple la radio sur fibre ou « Radio over Fiber » (RoF) ou le partage des ressources par codage optique ou « Optical Code Division Multiplexing » (OCDMA).

### Petit lexique des technologies optiques

AWG	Array Wave Guide	Réseau de guides ondes
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing	Multiplexage en longueur d'onde à faible densité
DCF	Dispersion Compensation Fiber	Fibre à compensation de dispersion
DSF	Dispersion Shifted Fiber	Fibre à dispersion décalée
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	Amplificateur à fibres dopées à l'Erbium
ETDM	Electronic Time Domain Multiplexing	Multiplexage électronique temporel
FBG	Fiber Bragg Grating	Fibre à réseau de Bragg
FEC	Forward Error Coding	Codes correcteurs d'erreur
GVD	Group Velocity Dispersion	Dispersion de vitesse de groupe
MMI	Multi Modes Interference	Guide à interférences de modes multiples
OCDMA	Optical Code Division Multiplexing access	Accès par multiplexage optique par code
OLT	Optical Line Termination	Terminaison de ligne optique
ONU	Optical Network Unit	Terminal optique de l'utilisateur
P2MP	Point To Multi Points	Point à multipoints
P2P	Point To Point	Point à point
POF	Plastic Optical Fiber,	Fibre optique en polymère
PON	Passive Optical Network	Réseau optique passif
RoF	Radio over Fiber	Radio sur fibre
SMF	Standard Monomode Fiber	Fibre monomode standard
SOA	Semiconductor Optical Amplifier	Amplificateur optique à semi-conducteur
SPM	Self Phase Modulation	Auto modulation de phase
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Multiplexage en longueur d'onde
WDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	Multiplexage en longueur d'onde dense
XPM	Cross Phase Modulation	Modulation de phase croisée



Professeur, à TELECOM Paris Tech, Philippe GALLION enseigne les communications et les réseaux optiques dans de nombreuses institutions françaises et étrangères. Il est auteur de 250 publications et communications scientifiques internationales et de nombreux ouvrages pédagogiques. Il est expert auprès de différentes instances internationales, membre du comité scientifique de nombreuses revues conférences et acteur dans de nombreux projets nationaux et européens. Il est le Chairman du Chapitre Français de IEEE Photonics Society (IEEE, LEOS).