

Chapitre 1. Introduction aux systèmes de communications optiques

I. Introduction

Le choix d'un système de télécommunications modernes est dicté par certaines considérations à savoir le coût, la performance et l'opportunité. Les systèmes de communications optiques sont des systèmes à ondes lumineuses qui utilisent des fibres optiques pour la transmission d'informations. De tels systèmes ont révolutionné les télécommunications, on les appelle parfois systèmes à ondes lumineuses pour les distinguer des systèmes à micro-ondes.

Les communications optiques mettent en jeu un ensemble d'éléments et de composants optoélectroniques permettant la transmission de signaux sur de grande distance par modulation d'une onde lumineuse. Les informations sont véhiculées par une onde porteuse électromagnétique utilisant des fréquences élevées dans le proche infrarouge du spectre électromagnétique.

Les systèmes de communication optique connaissent une évolution très importante grâce aux amplificateurs optiques dopés aux terres rares et du multiplexage en longueur d'onde (en anglais Wavelength Division Multiplexing, ou WDM). Cette dernière

technologie a pour point fort d'exploiter avantageusement l'immense bande passante des fibres optiques.

II. Historique

Le développement des communications optiques a débuté il y a un demi-siècle, grâce à la fibre optique et les composants associés. La première étape qui marque l'évolution des systèmes à base de fibre optique pour les télécommunications est l'invention du laser au début des années soixante.

En 1964, Charles Kao (Prix Nobel de Physique 2009), découvrait un système de communication à longue distance et à faible perte par l'utilisation conjointe du Laser et de la fibre optique. Quatre années plus tard en 1966, avec la collaboration de Georges Hockman, Kao démontre expérimentalement qu'il était possible de transporter des données sur une grande distance sous forme de la lumière en utilisant la fibre optique.

En 1970, cette date est un tournant pour les communications optiques, trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, produisirent la première fibre optique avec moins de 20dB/km de pertes à $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$ pour être utilisée dans les réseaux de télécommunications.

Enfin, on peut retenir quelques dates importantes qui ont marqué l'évolution des systèmes de communications optiques à savoir :

1960: Maiman démontre l'effet laser dans le rubis.

1964: Kao présente un système de communication par fibre optique.

1966 : Premières expériences de Kao sur les guides d'ondes optiques.

1970 : Première fibre optique (Corning) à faibles pertes pour être utilisable en télécommunications.

1977: Première liaison par fibre optique dans un système de communication téléphonique aux Etats Unis d'Amérique (Chicago) réalisée par la société ATT (American Telephone and Telegraph Company)

1979 : Fibres optiques fabriquées par NTT Nippon Telegraph and Telephone Corporation) avec des pertes de 0.2 dB/km à 1,55 μm et première transmission avec un pas de régénération du signal de 100 kilomètres

1986 : La compagnie Sumitomo Electric Industries Ltd établit un record de pertes de 0,154 dB/km à 1550 nm dans une fibre. Depuis, les fabricants de fibre dans le monde maîtrisent les techniques de fabrication et produisent des fibres de silice avec les pertes d'environ 0,2 dB/km.

1989 : Invention de l'amplificateur à fibre dopée Erbium (EDFA *Erbium Doped Fibre Amplifier*).

1990 : Démonstration du multiplexage en longueur d'onde (WDM)

1995 : Première ligne commerciale avec amplification optique, le signal lumineux est directement amplifié, il n'est plus nécessaire de convertir le signal de l'optique à l'électronique : Multiplication du débit par l'installation de systèmes terrestres WDM et amplificateurs optiques.

2003 : Plus de 80% des communications à longue distance sont transportées le long de plus de 25 millions de kilomètres de câbles à fibre optique dans le monde.

2005 : Première installation de la fibre optique chez les particuliers aidée par la baisse des coûts et les besoins croissants pour le haut débit d'information. Au Japon, des offres à 1 Gbit/s en FTTH sont proposées.

2010 : Débit de 100 Gbit/s par longueur d'onde grâce aux nouvelles techniques venues de la radio (modulation cohérentes, OFDM, CDMA...) appliquées aux systèmes optiques.

2013 : Les réseaux FTTx, (Fiber To The x, avec x = H (home) et x = B (building)), dépassent les 80 millions d'abonnés, dont les deux tiers en Asie.

III. Evolution des systèmes de communications optiques

L'apparition de nouveaux services de télécommunications (visiophone, télévision par câble, transmission de données,...) a conduit à la recherche de supports de transmission capable de transporter la plus grande capacité avec la plus faible atténuation possible. La fibre optique a totalement révolutionné le monde des

télécommunications. La conception de systèmes de transmission à très grande capacité était désormais possible. Les premiers systèmes introduits opéraient à $0.83 \mu\text{m}$ (1980). Ensuite sont venus les systèmes à $1.3 \mu\text{m}$ (1985) puis à $1.5 \mu\text{m}$ (1990) (figure 1). Les échanges à travers ces derniers allaient être de plus en plus nombreux et la demande de services de plus en plus élevée.

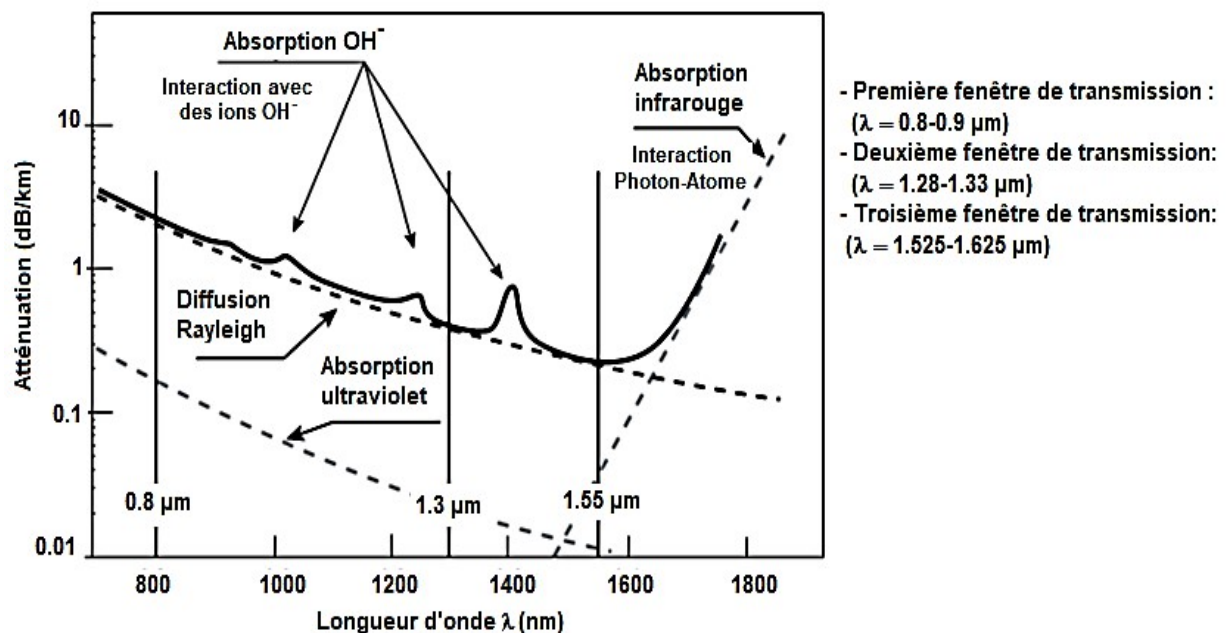


Figure 1. Atténuation de la fibre de silice et les trois fenêtres des télécommunications optiques.

La transmission de données entre un émetteur et un récepteur suppose que soit établie une liaison sur un *support de transmission* (appelée aussi *voie de transmission* ou *canal*) munie d'équipement de transmission à ses extrémités (Figure 2).

Les éléments constitutifs de la liaison sont donc :

- 1- Les émetteurs de lumière responsables de la transformation du signal électrique en un signal optique. Les deux catégories de sources les plus adaptées à ce genre de transmission sont les diodes électroluminescentes et les diodes lasers.
- 2- Le milieu de transmission qui est constitué de fibre optique.
- 3- Les récepteurs de lumière qui sont des photodétecteurs capables de transformer le signal optique en un signal électrique, les photodiodes PIN et les photodiodes à avalanche APD sont utilisées pour réaliser ce genre de transformation en télécommunications.

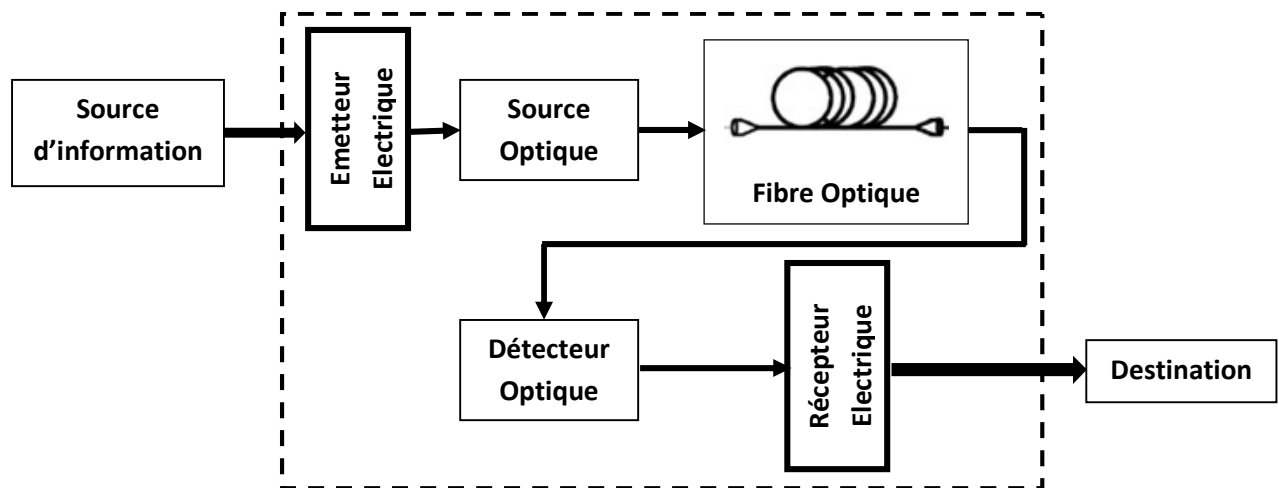


Figure 2. Système de communication par fibre optique.

Les systèmes de communication par fibres optiques se sont imposés dans les réseaux de transport terrestres et sous-marins grâce aux performances actuelles et qui connaissent des progrès constants et des évolutions technologiques importantes.

Des innovations ont contribué à accroître davantage les performances en particulier les amplificateurs optiques et les techniques de multiplexage.

Les amplificateurs optiques permettent d'amplifier les signaux optiques dans les liaisons à longues distances sans recourir à des conversions optique/électronique et électronique/optique, réalisées par les anciens régénérateurs optoélectroniques.

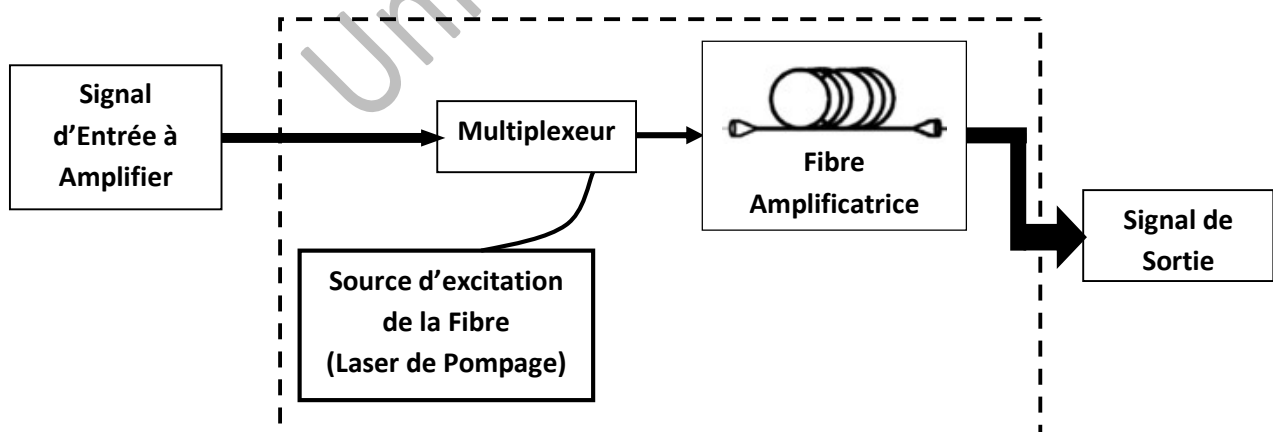


Figure 3. Schéma de principe d'un amplificateur optique,
(La réamplification du signal optique est réalisée sans passer par des composants optoélectroniques).

Le multiplexage en longueur d'onde ou WDM (Wavelength Division Multiplexing), qui consiste à injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs canaux à des longueurs d'onde différentes. En augmentant le nombre de canaux de transmission, le débit est ainsi multiplié ce qui permet donc d'augmenter de façon très importante la capacité d'un réseau sans modifier son infrastructure physique. (Jusqu'à 10 Tbit/s).

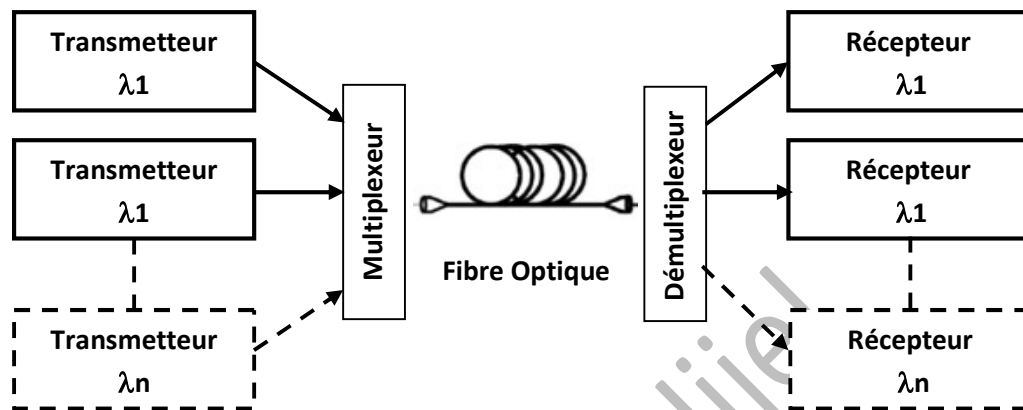


Figure 4. Multiplexage en longueur d'onde WDM

IV. Avantages des télécommunications par fibre optique

IV. Avantages des fibres optiques

Les télécommunications modernes font largement appel aux fibres optiques car celles-ci présentent de très grands avantages par rapport aux autres supports de transmission. Optimiser télécommunications optique tant au niveau des performances que du coût demande des évolutions et avancées notables dans des domaines aussi variés que la physique, l'optique, l'électronique et l'informatique pour la fabrication, le développement de nouveau composants et les systèmes.

Comparée aux autres supports de transmission, la fibre optique présente un certain nombre d'avantages : (L'avantage de la transmission par fibres optiques est :)

- La quantité énorme d'informations véhiculées grâce à la fréquence élevée de la lumière,
- L'insensibilité des fibres aux rayonnements électromagnétiques,
- La grande flexibilité mécanique,

- La fibre fournit un support de transmission extrêmement sécurisé, car il n'y a aucun moyen de détecter les données transmises.
- Une plus grande bande passante et une vitesse plus élevée. Le câble à fibre optique prend en charge une bande passante et une vitesse extrêmement élevée; jusqu'à 10 Gbps.
- La fibre optique offre moins de dégradation du signal. En effet, la perte de signal dans la fibre optique est inférieure à celle des autres supports de transmission.
- La fibre optique a une meilleure durée de vie. Les fibres optiques ont généralement un cycle de vie plus long, plus de 100 ans.
- Faible atténuation : Faibles pertes de transmission, actuellement on fabrique des fibres ayant une atténuation inférieure à 0,2 dB/km. Cette faible atténuation permet de réaliser de très longues liaisons utilisant peu d'amplificateurs (régénérateurs) permettant ainsi de réduire le coût des systèmes et de leur entretien.
 - Légèreté
 - Grande bande passante
 - Sécurité
 - Guide insensible aux rayonnements
- **Bande passante énorme** : Elle dépend du type de fibre et de leur longueur.
- **Isolation électromagnétique** : Elle permet de protéger les équipements en cas de court-circuit. De plus, la fibre semble être bien indiquée dans des environnements électromagnétiques difficiles (foudre).
- **Immunité aux interférences et à la diaphonie** : Cette propriété permet d'assurer la sécurité de l'information dans tout environnement électromagnétiquement bruyant (lignes de haute tension, lignes de voie ferrée,...).
- **Sécurité du signal** : Le signal transmis est bien protégé (pas de rayonnement), ce qui permet d'utiliser la fibre pour des applications militaires, bancaires et en transmission de données.
- **Petites dimensions et faible poids** : La pose du câble est rendue plus facile et nécessite moins de personnel. De plus, le faible poids rend les fibres attrayantes dans certains domaines (avion, satellite, bateaux, ...).

- **Flexibilité** : Permet de fabriquer la fibre sur de très grandes distances.
- **Avantage économique** : Contrairement aux idées reçues, le coût de la transmission optique n'est pas élevé (souvent moins cher que sur cuivre). La mise en œuvre : connexions, raccordements devient de moins en moins complexe et coûteuse. La partie génie civil (creusement de tranchées etc....) est souvent la plus coûteuse.

Université de Jijel