

Chapitre 4. Systèmes de transmission par fibres optiques

I. Introduction

Les systèmes de communication par fibres optiques se sont imposés dans les réseaux de transport terrestres et de manière exclusive pour les liaisons sous-marines. Les fibres optiques et les équipements optoélectroniques d'émission et de réception ont connu un développement considérable grâce aux progrès accomplis sur les fibres, les sources lasers, les amplificateurs à fibre dopée à l'erbium et les techniques de transmission multilongueur d'onde. Le bond technologique le plus significatif est certainement le multiplexage par répartition en longueurs d'onde (WDM). Le développement de la technique WDM est indissociable de l'évolution des amplificateurs à fibre. La technique WDM permet d'implémenter des topologies de réseau avancées en augmentant potentiellement leur capacité de manière très importante sans modifier l'infrastructure physique. Un système de transmission optique élémentaire est constitué de trois parties un émetteur, un *support de transmission* (fibre optique) et un récepteur (figure 1).

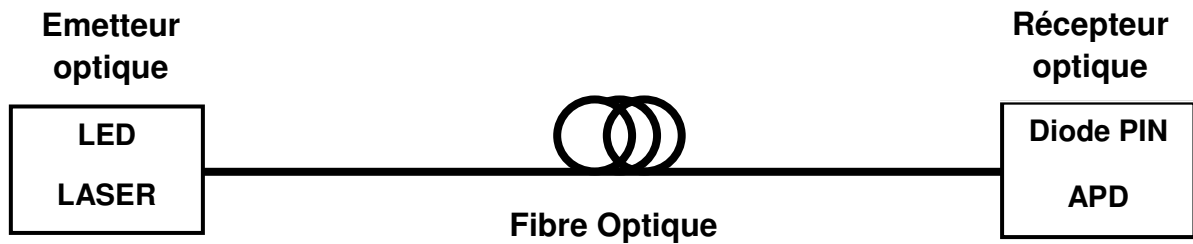


Figure 1. Schéma simplifié d'une liaison optique.

II. Schéma synoptique d'une chaine de transmission optique

La chaine de transmission à base de fibres optiques a une conception similaire à n'importe quel système de communication classique. L'information primaire que l'on veut transmettre à distance est convertie en un signal électrique qui, modulée (analogiquement ou numériquement) par un émetteur (Laser ou Diode électroluminescente) est convertie en un signal optique. Le signal émis par la source est ensuite injecté dans la fibre où il se propage avec une certaine atténuation et une certaine distorsion. Le signal reçu est ensuite démodulé en un signal électrique par l'intermédiaire d'une photodiode (PIN ou à Avalanche). Pour des liaisons assez longues, il est nécessaire d'installer des répéteurs (liaison analogique) ou des régénérateurs (liaison numérique) afin de conserver la qualité de l'information.

Un système de transmission sur fibre optique comporte les dispositifs et composants suivants (figure 2.) :

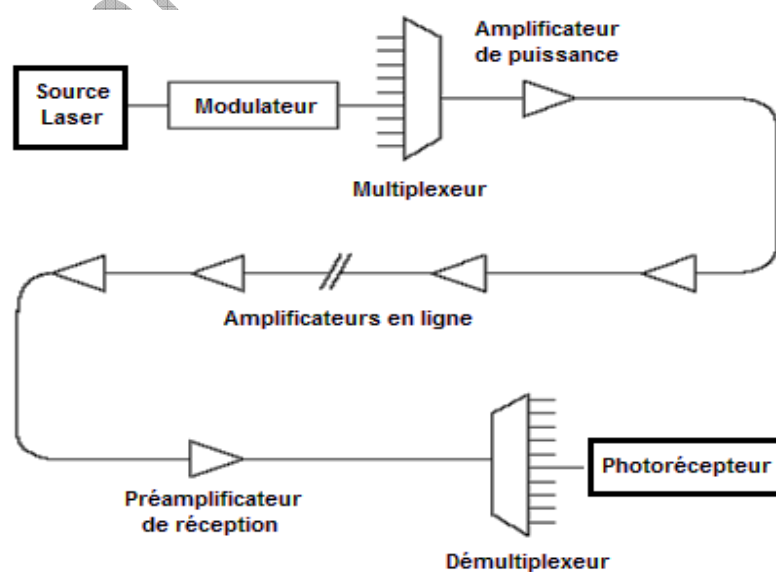


Figure 2. Structure générale d'un système de transmission sur fibre optique

III. Structure et Familles des liaisons numériques

III.1. Liaison point à point

La transmission d'informations entre deux points par une fibre optique peut être effectuée selon une modulation, qui soit analogique soit numérique. Dans la majorité des cas la modulation est numérique, par variation directe du courant d'une diode laser ou l'utilisation d'un modulateur externe.

L'architecture d'une liaison optique point à point est décrite par la figure 3: le signal optique est émis, transporté, régénéré et détecté aux moyens de composants optiques ou optoélectroniques.

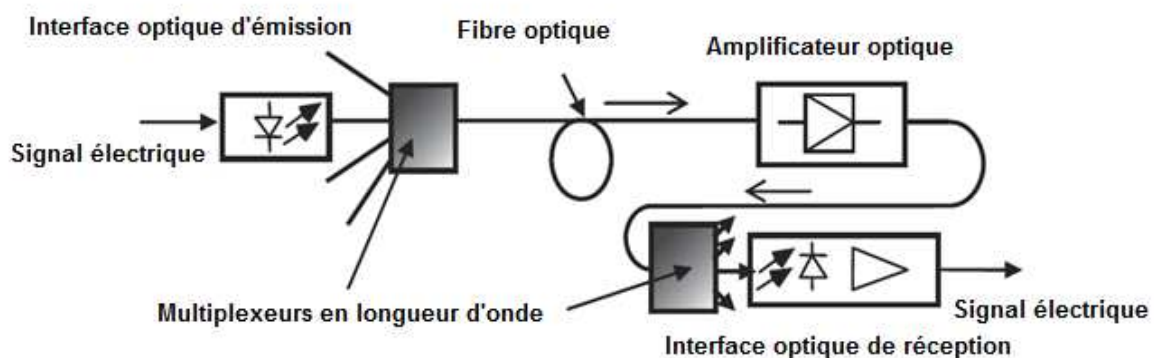


Figure 3. Liaison point à point sur fibre optique

III.2. Liaison avec amplificateurs optiques EDFA,

L'amplificateur optique peut être utilisé de trois manières différentes, comme amplificateur de puissance à l'émission (booster), comme amplificateur en ligne et comme préamplificateur de réception. Les amplificateurs optiques actuels fonctionnent dans la fenêtre de transmission 1550 nm

Les amplificateurs optiques à fibre dopée ont fait leur apparition à la fin des années 1980, ils présentent l'avantage d'amplifier les signaux optiques sans recourir à des solutions opto-électroniques basées sur des conversions de type optique/électronique et électronique/optique. Ils amplifient la lumière grâce au mécanisme d'émission stimulée.

Parmi les amplificateurs optiques, figurent principalement les amplificateurs à fibre dopée Erbium (EDFA, Erbium Doped Fiber Amplifier) qui ont bouleversé le domaine

des communications par fibre optique, insérés dans les lignes de transmission, ils permettent de compenser l'atténuation de la fibre optique et d'augmenter la portée des systèmes de transmission. Un de leurs avantages est la simplicité du dispositif. Les EDFA se composent d'une courte section de fibre optique (typiquement quelques dizaines de mètres), dopée avec des ions terre rare d'Erbium (Er^{3+}), le pompage et réalisé par une diode laser à semiconducteur (figure 4).

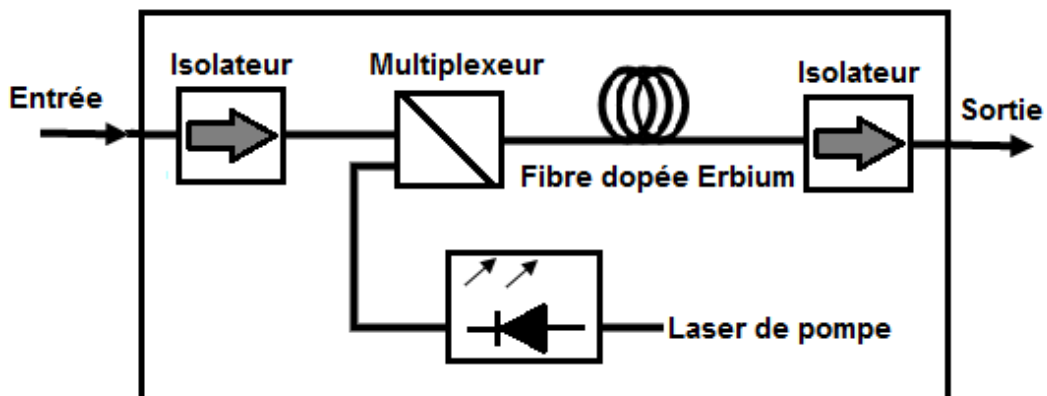


Figure 4. Schéma d'un amplificateur optique à fibre dopée

La principale utilisation des amplificateurs est en ligne mais ils peuvent aussi être utilisés en amont au niveau de l'émetteur optique, comme amplificateur de puissance (booster), ou bien en aval au niveau du récepteur optique comme préamplificateur.

III.3. Liaisons multiplexées

Les techniques de multiplexage sont utilisées pour transmettre simultanément plusieurs signaux sur le même support de transmission. Deux grandes techniques de multiplexage sont utilisées pour la transmission sur fibre optique, le multiplexage temporel (TDM), et le multiplexage en longueur d'onde (WDM) permettant d'exploiter la très grande bande passante de la fibre optique.

III.3.1. Le multiplexage en longueur d'onde WDM (*Wavelength Division Multiplexing*)

Les techniques de transmission multilongueur d'onde connaissent aujourd'hui un très important développement justifié par le besoin d'augmenter la capacité des réseaux de transport. La technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) a d'abord été utilisée pour accroître la capacité des liaisons sous-marines en mode point à point.

Le multiplexage en longueur d'onde, consiste à envoyer dans une même fibre N porteuses optiques à différentes longueurs d'onde transmettant chacune un débit D_b . Ce n'est plus l'axe du temps qui est découpé en périodes pour chaque utilisateur mais la bande passante (Figure 5). Ainsi plusieurs transmissions peuvent être faites simultanément, chacune sur une bande de fréquences particulières. Ce procédé est encore appelé multiplexage en fréquence (Frequency Division Multiplexing, FDM). Ces deux termes recouvrent la même notion, mais par habitude, on parle de multiplexage en longueur d'onde lorsque la séparation entre deux canaux est relativement grande (typiquement plus de 1 nm). Sur la figure 5, quatre canaux sont transmis simultanément sur le même support mais à des longueurs d'ondes différentes ($\lambda_1, \dots, \lambda_4$).

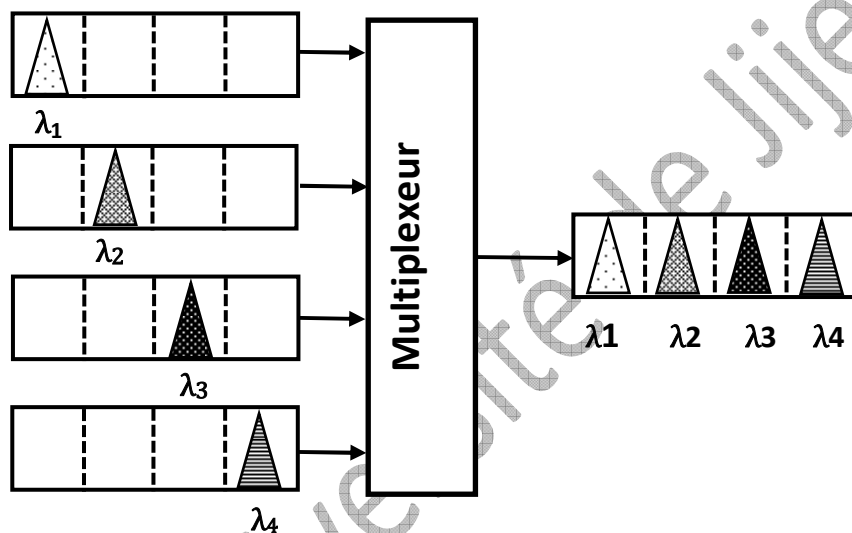


Figure 5. Multiplexage en longueur d'onde avec 4 canaux.

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à des longueurs d'ondes différentes mais assez proches (au voisinage de 1550 nm), et de multiplexeur/démultiplexeur optiques pour traiter l'ensemble des signaux optiques dans la fibre.

Les amplificateurs permettent d'amplifier le signal sans reconversion optoélectronique, le pas de régénération est d'environ 100 Km.

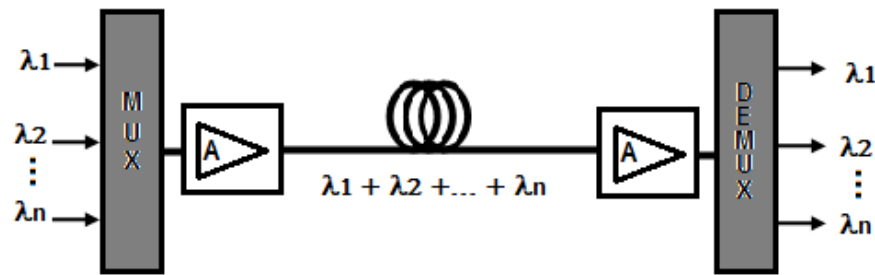


Figure 6. Schéma de principe du multiplexage WDM dans les communications par fibre optique

Afin d'assurer une bonne qualité de transmission du multiplex dans la fibre, il est important de déterminer l'espacement minimum à respecter entre les longueurs d'onde émises par chacune des sources. La fibre optique transporte alors un débit numérique égal à :

$$D_{Num} = N \cdot D_b \quad (1)$$

D_{num} est souvent définie comme la capacité du système.

L'intérêt premier du WDM est de permettre le transport de débits d'informations très importants sur une même fibre, à destination de plusieurs utilisateurs. On trouve aujourd'hui des systèmes à $4 \cdot 10$ Gbits/s et $16 \cdot 10$ Gbits/s.

Le plus important développement des systèmes de transmission WDM s'est fait lorsqu'il a été associé à l'amplification optique (Figure 7). En effet, l'apparition des amplificateurs à fibre dopée à l'Erbium (EDFA) a permis l'amplification simultanée de l'ensemble des N canaux d'un multiplex, sans distorsion du signal utile. Envoyer N canaux dans une fibre optique plutôt que N fibres devenait un avantage économique indiscutable.

La technologie WDM permet en comparaison avec les liaisons monocanal, d'augmenter la capacité du réseau, d'améliorer la connectivité et la flexibilité du réseau, d'optimiser et d'échelonner les coûts de construction du réseau.

Grâce à la technologie WDM, les systèmes sous-marins ne sont plus uniquement des câbles sous-marins associés à des équipements immergés mais bien des réseaux complets.

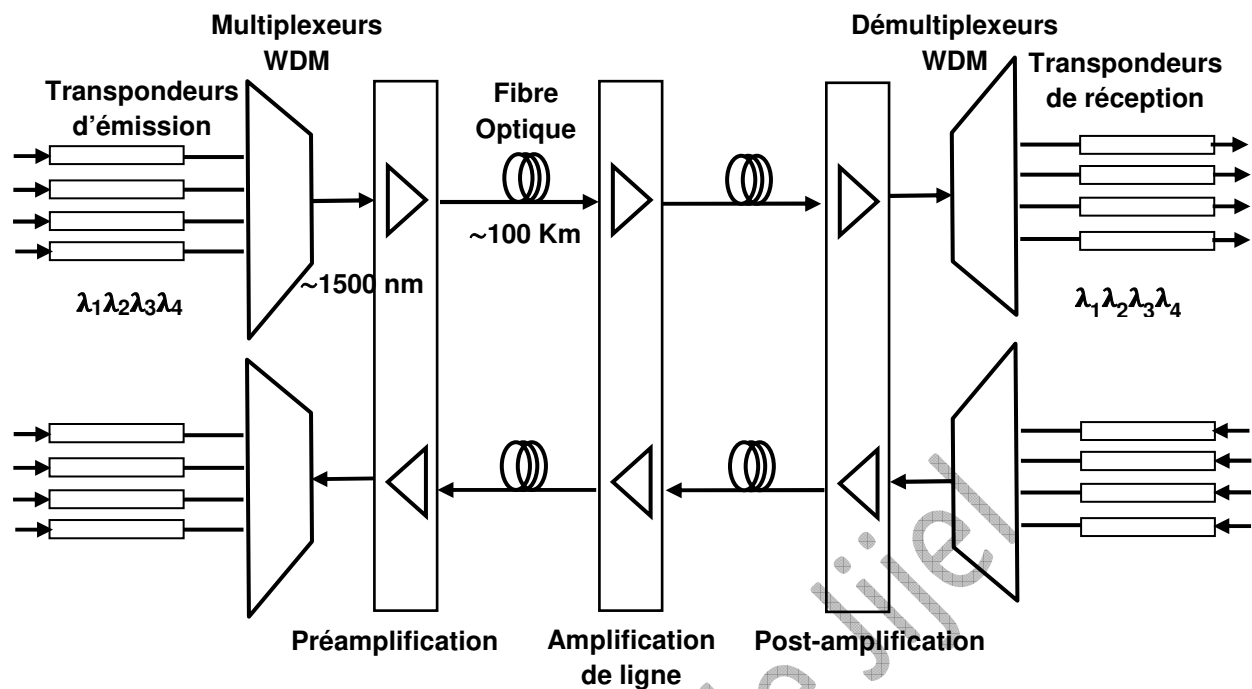


Figure 7. Configuration d'un système de transmission WDM couplé avec l'amplification optique.

Le terme de DWDM (Dense DWDM) est maintenant utilisé. En effet, avec l'apparition des lasers accordables de très bonne qualité, l'espacement entre les longueurs d'onde a pu être progressivement réduit, et est descendu à 0,8 nm ou 0,4 nm (l'espacement entre canaux était de l'ordre de 1nm). Ainsi le Dense WDM utilise plusieurs longueurs d'ondes faiblement espacées dans la gamme située entre 1530 nm et 1565 nm (Bande C) de nombreux constructeurs explorent aujourd'hui l'utilisation de la bande L (1570 -1620 nm).

Une seconde application du WDM concerne les réseaux locaux. Chaque abonné se voit alors attribuer une longueur d'onde, (Figure 8). Cette méthode présente l'avantage de permettre une évolution continue du réseau par l'adjonction de nouveaux services ou de nouveaux abonnés simplement par insertion d'une nouvelle longueur d'onde.

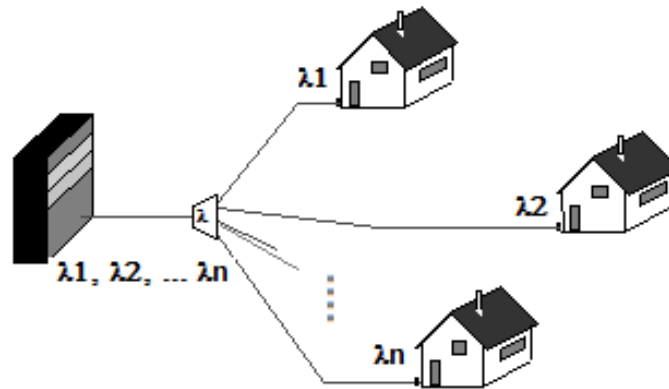


Figure 8. Réseau local à répartition en longueur d'onde.

III.3.2. Le multiplexage temporel optique (OTDM)

Le multiplexage TDM (Time Division Multiplexing), ou Multiplexage à Répartition Temporelle (MRT) a été utilisé à la base pour les systèmes électriques, il consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un intervalle de temps, à tour de rôle pour chaque utilisateur. L'allocation de cette bande passante se fait en divisant l'axe du temps en périodes de durée fixe, et chaque utilisateur ne va transmettre que pendant une de ces périodes déterminée.

Le développement des systèmes de transmission optiques a permis l'introduction du multiplexage temporel optique OTDM, développée principalement au début des années 1990.

Une chaîne de transmission en OTDM est composée des éléments suivants:

- Une source optique générant le train de pulses optiques.
- Un système de multiplexage.
- Un système de démultiplexage qui permet de récupérer les données propres à chaque utilisateur.

Le multiplexage optique temporel est une technique qui permet la gestion des réseaux locaux. Le temps est partagé entre les différents utilisateurs. Chaque utilisateur dispose d'une tranche temporelle pour émettre et les différents signaux sont transmis sur une porteuse unique.

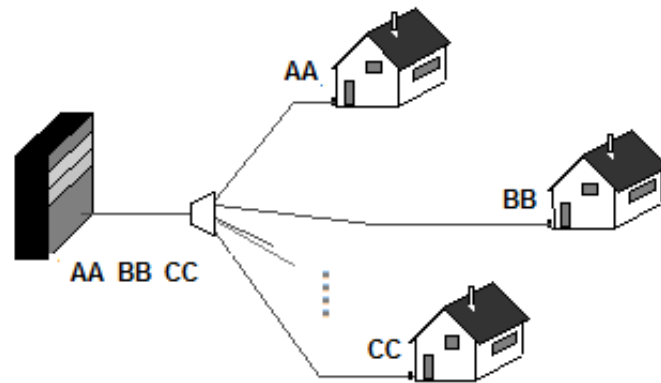


Figure 9. Réseau local à répartition temporelle

Université de Jijel