

Chaine de transmission sur fibre optique et composants optiques

VI.1 Structure d'un système de transmission sur fibre optique

Une chaine de transmission par fibre optique n'est pas très différente globalement d'une chaine de transmission classique. Le but est de restituer en un point B distant de A, un signal électrique.

L'idée, pour transmettre l'information sur fibre optique, reste basée sur les principes, employés lors des transmissions en bande de base. Dans notre cas, le canal de transmission sera réalisé à l'aide de fibre optique.

L'information sera codée (pour augmenter le gain de transmission), convertie en signal lumineux, puis modulée avec une source optique cohérente monochromatique (diode laser). Permettant de porter le signal à $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ (fenêtre de transmission des systèmes actuels), bande spectrale où se trouve l'atténuation minimale des fibres optiques, qui sera de type monomodes, dont la principale caractéristique est d'avoir une atténuation d'environ 0,2 dB/km, bien inférieure aux autres type de fibre (gradient d'indice, multimode,...).

Propagé sur des distances, le plus souvent importantes (milliers de km), atténué et dispersé, le signal optique aura besoin d'être régénéré (R), remis en forme (2R) voir re-synchronisé (3R), rôle que devront remplir les répéteurs placés tout au long de la ligne. Enfin l'information pourra être récupérée après conversion optoélectronique (photodiode), remis en forme, démodulée (filtre passe-bas) ou ramenée en bande de base, re-synchronisée, puis décodée et corrigée (le taux d'erreur binaire accepté dans les systèmes actuels est un $\text{TEB} < 10^{-12}$ norme de l'UIT, Union International des Télécommunication).

VI.2 Schéma et représentation des différents éléments d'une liaison optique

La figure (VI.1) montre le schéma d'une chaine de transmission par fibre optique.

Les éléments principaux suivants interviennent dans une liaison par fibre optique :

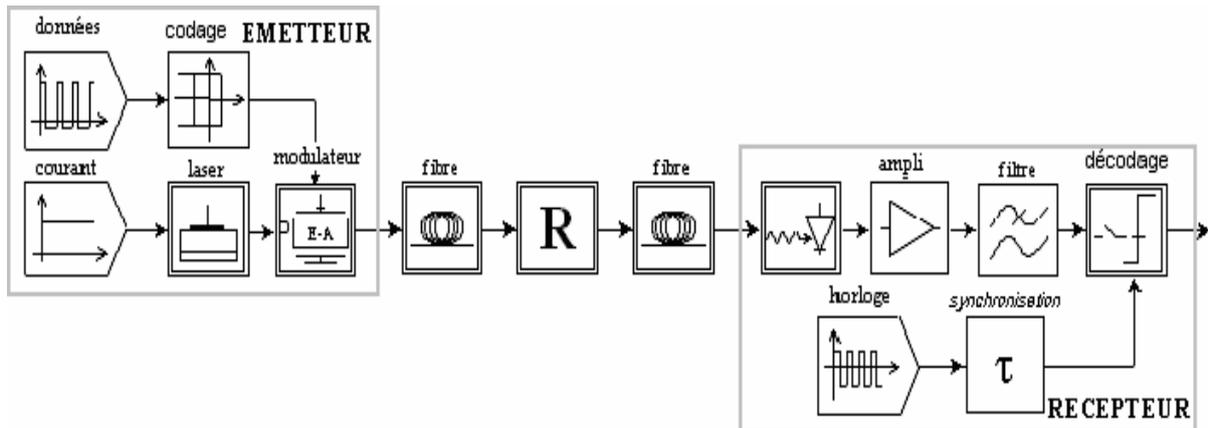


Figure (VI.1) : Chaîne de transmission par voie optique

VI.2.1 L'interface optique d'émission a pour rôle de transformer le signal électrique en signal optique. Il contient principalement le composant optoélectronique d'émission, qui peut être une diode électroluminescente (DEL) ou une diode laser (DL). L'interface contient également des circuits d'adaptation et de protection ; il est relié au câble soit par une embase de connecteur, soit par une fibre amorce qu'il faut raccorder.

Deux méthodes utilisées pour moduler les ondes optiques ; la modulation directe et la modulation indirecte.

Dans la modulation directe, la modulation du courant qui traverse le laser entraîne directement la modulation de la lumière émise par celui-ci.

Dans la modulation indirecte, en modulant directement le faisceau lumineux du laser et non plus le courant d'alimentation du laser, on a besoin dans ce cas d'un modulateur externe.

VI.2.2 Les répéteurs

Lorsque la longueur de la liaison le nécessite, on insère un ou plusieurs répéteurs, qui contiennent des interfaces de réception et d'émission reliés par des circuits d'amplification, et de régénération pour les transmissions numériques. Plutôt que de ramener le signal sous forme électrique pour l'amplifier, on utilise de plus en plus l'amplification optique dans des fibres dopées Erbium, pompées par laser.

- **Principe des Amplificateurs optiques EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)**

On utilise des amplificateurs optiques dans les liaisons à longue distance, ils remplacent les plus anciens régénérateurs opto-électriques afin de créer des liaisons transparentes.

Les amplificateurs à fibre optique sont constitués par des tronçons de fibre optique, d'environ 10m, dopées avec un composé pouvant amplifier la lumière, les terres rares 'Erbium, Neodyme'.

Le principe de l'amplification optique repose sur une réaction chimique entre les ions d'Erbium et le signal lumineux.

L'Erbium est le composant chimique qui peut être excité en contact d'une source lumineuse d'une longueur d'onde spécifique.

Ce sont les signaux de longueurs d'ondes dites de pompage de 800nm, 980nm et 1480nm qui font réagir les ions d'Erbium et vont dégager une énergie lumineuse nécessaire à l'amplification des signaux optiques. Figure (VI.). Le pompage est réalisé par des diodes lasers de pompe spécialement conçue à cet effet.

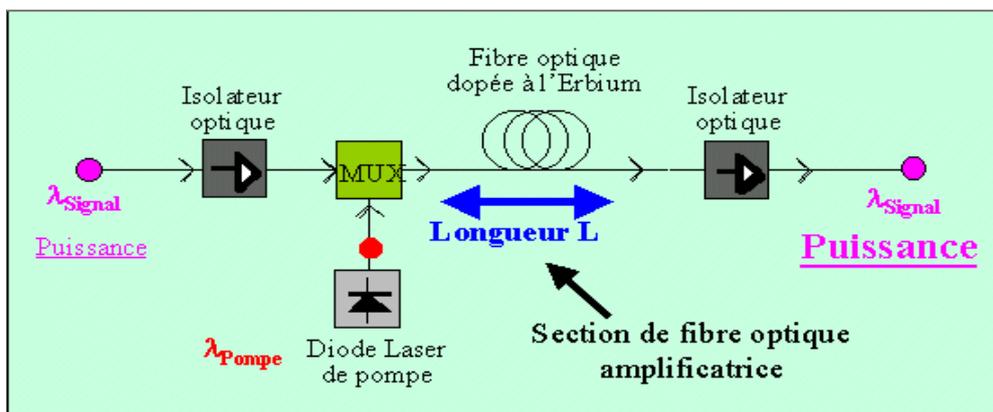


Figure (VI.5) : Principe de l'amplificateur optique

Les principales caractéristiques d'un amplificateur optique sont : le gain ; la bande passante associée ; la puissance de saturation du gain et le bruit associé à l'amplification.

Le gain est le rapport entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée injectée dans l'amplificateur.

La source principale de bruit est celle correspondant à l'émission spontanée, provoquée par l'onde pompe.

VI.2.3 L'interface optique de réception

Le module de réception est le dernier étage de la chaîne de transmission, il a pour rôle de recevoir le signal optique provenant de la fibre et le convertir en un signal électrique

pour en extraire les données transmises.

Si l'écriture des données sur un signal lumineux se fait de plusieurs méthodes, donc sa récupération en sortie, elle aussi, peut être faite de différentes façons, dont le photodétecteur reste le composant indispensable pour toute réception (conversion optique électrique).

VI.3 Bilan de liaison

Il s'agit d'analyser l'évolution de la puissance optique qui transite tout au long de la chaîne de transmission.



- **Gain et pertes :**

C'est la différence entre la puissance émise P_e en dBm et la puissance requise P_r qui correspond à la puissance minimale nécessaire pour assurer la liaison (puissance seuil du détecteur).

$$P_r = P_e - A.L \quad (\text{VI.1})$$

Avec :

A : pertes de dB ; L : longueur (portée maximale).

Dans le cas des transmissions numériques, la qualité s'exprime par le taux d'erreur maximum par débit d'information, qui est donné par :

$$TEB = \text{Nombre de bits erronés} / \text{Nombre de bits reçus}. \quad (\text{VI.2})$$

VI.4 Composants optiques

On dénomme généralement par le terme composant optique, tout composant assurant un fonctionnement dans une liaison par fibre optique, en sont exclus les sources et les détecteurs. Ces composants sont de deux types : passif et actif.

Un composant *passif* est un composant dont le signal reste optique sans changer de nature, si son fonctionnement est constant dans le temps et ne nécessite pas de signal de commande, on peut citer : les coupleurs, les filtres, les isolateurs et les atténuateurs.

Un composant est dit *actif*, si son fonctionnement nécessite une commande (généralement électrique, magnétique...), le signal va subir un traitement, on peut citer : les modulateurs, les commutateurs et les routeurs.

VI.5 Exemples de quelques Composants optiques

- a) **Le Coupleur** : Il réalise soit un partage ou un regroupement, constant dans le temps, des signaux optiques. On peut avoir plusieurs architectures : le coupleur en X, en Y et en étoile.

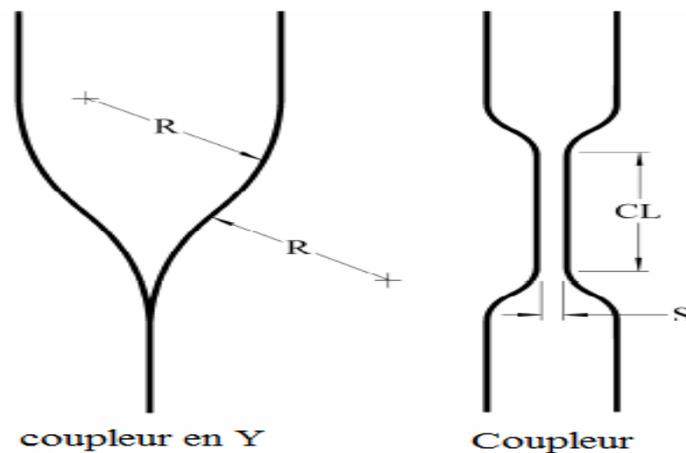


Figure1 : Exemple de coupleurs en Y et en X utilisant la structure en S-Bend

- b) **Le modulateur Mach Zehnder** : la technique utilisée pour moduler l'amplitude d'un faisceau consiste à lui faire traverser un interféromètre de Mach Zehnder, dans lequel il est possible de commander la différence de phase entre les deux bras.

La lumière est couplée dans deux guides d'onde par un embranchement en Y. Les deux faisceaux se recombinaient ensuite dans un deuxième embranchement en Y. l'indice de réfraction du matériau électro-optique placé sur l'un des bras de l'interféromètre, est modifié par l'application d'une tension, entraînant ainsi un déphasage entre les deux faisceaux.

Suivant leur différence de marche, les deux faisceaux interfèrent de manière constructive (toute la puissance optique est disponible en sortie), ou destructive (aucune lumière n'est

injectée dans le guide de sortie). Entre ces deux extrêmes, tous les états intermédiaires sont disponibles et la modulation de la lumière reproduit celle de la tension appliquée.

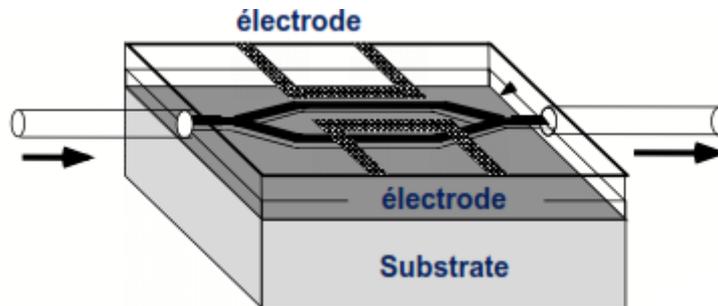


Figure 2 : Exemple d'un interféromètre de Mach-Zehnder intégré

c) La FBG (Filtre en longueur d'onde)

Un réseau de Bragg consiste en une variation périodique de l'indice de réfraction du cœur de la fibre, lorsque de la lumière blanche est injectée dans la fibre optique, une longueur d'onde est réfléchie alors que les autres sont transmises, on appelle cette longueur d'onde, la longueur d'onde de Bragg.

La relation entre la période et la longueur d'onde réfléchie est la suivante : $\lambda_B = 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \Lambda$
 Λ : est le pas du réseau, n_{eff} représente l'indice effectif du cœur de la fibre.

L'intérêt essentiel de cette structure est son caractère très sélectif en longueur d'ondes (d'autant plus que le réseau est long). On l'utilise pour en faire des filtres intégrés dans des guides, ou des diodes lasers à contre réaction distribuée, de type (DFB).

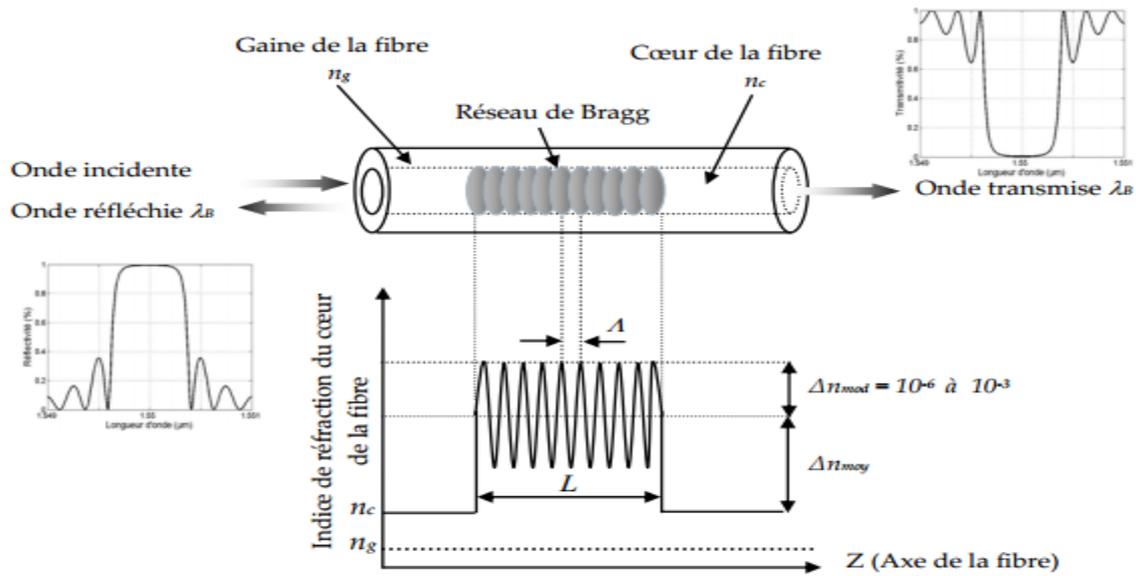


Figure 3 : Filtre à réseau de Bragg (FBG)

d) Le PHASAR (Multiplexeur-Démultiplexeur optique)

Le PHASAR (PHASed-ARray) qui signifie réseau de phase, est un composant passif d'optique intégrée utilisé pour le multiplexage en longueurs d'onde (WDM). Les PHASARs peuvent être utilisés pour le multiplexage en transmission et commutation. Le PHASAR est un multiplexeur et un démultiplexeur au même temps, il suffit d'inverser le sens de propagation du faisceau.

Le PHASAR se compose principalement de trois parties : le coupleur d'entrée, le réseau de guides d'ondes (AWG) et le coupleur de sortie.

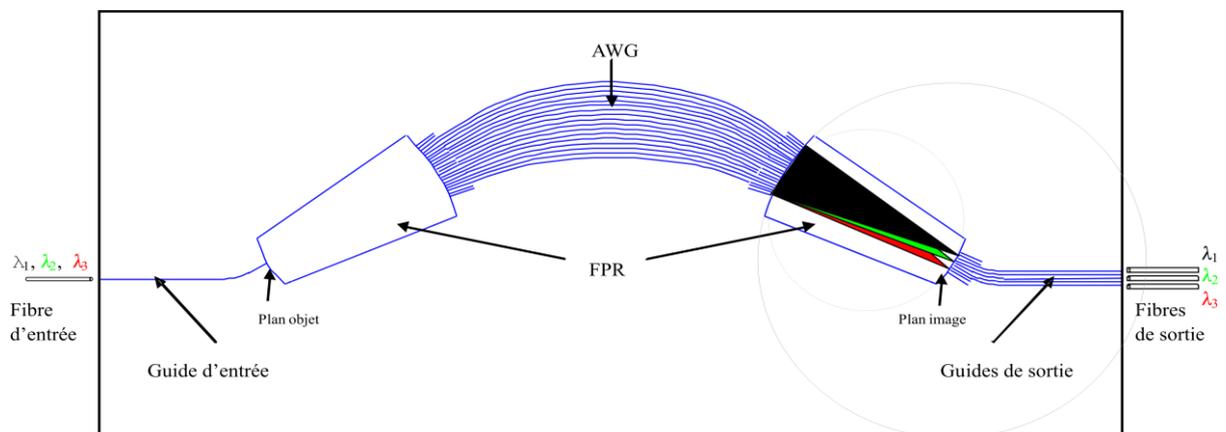


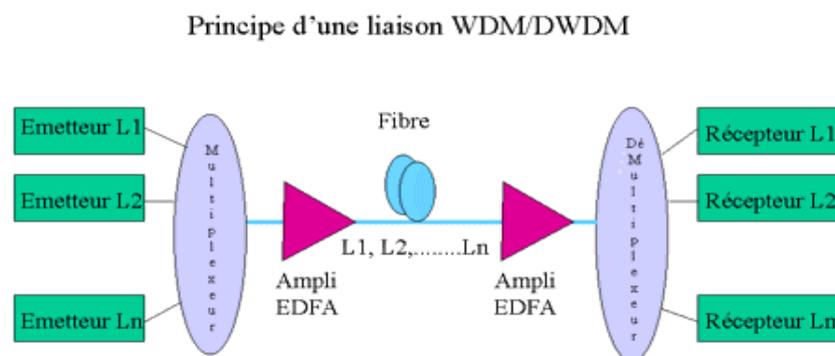
Figure 4 : Structure d'un PHASAR

VI.6 PRINCIPE DU WDM (MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE)

Le WDM consiste à utiliser des longueurs d'ondes distinctes pour transmettre différents signaux dans la même FO. Cette technologie a permis d'élargir le débit de transmission dans les liens point à point.

Plusieurs signaux générés indépendamment dans le domaine électrique sont convertis dans le domaine optique en utilisant des diodes lasers de différentes longueurs d'onde.

Les signaux résultants sont ensuite multiplexés et couplés à une FO. Dans le récepteur, un démultiplexeur sépare les différentes longueurs d'onde qui sont ensuite reconverties vers le domaine électrique au moyen de photodiode.



La bande passante d'un système WDM peut s'élargir en accroissant soit le débit de chaque canal, soit le nombre de canaux.

Plutôt que de transmettre de l'information sur une seule longueur d'onde, on va utiliser plusieurs λ_f , et multiplier d'autant le débit de la liaison. De cette façon, on peut aisément augmenter le débit de transmission d'une FO sans avoir à la remplacer par une autre, il suffit simplement de disposer des émetteurs / récepteurs capables de distinguer les différentes longueurs d'onde utilisées.

L'union Internationale de Télécommunication (ITU), autorise l'utilisation de longueurs d'ondes comprises entre 1530 et 1565nm.

Le WDM est caractérisé par l'intervalle minimum entre longueurs d'ondes utilisable, cet intervalle peut être exprimé en nm ou en GHz.

VI.7 Familles de liaisons optiques :

Il existe trois familles de liaisons optiques

- La liaison point à point (une seule fibre optique entre un émetteur-récepteur).
- La liaison avec amplificateur optique (EDFA).
- La liaison multiplexée (WDM).

VI.8 ARCHITECTURE DES RESEAUX OPTIQUES

Durant ces dernières années, une nouvelle structure de réseau a été développée : c'est la technologie FTTx (le 'x' peut définir le quartier (FTTN pour Neighborhood), le pied d'immeuble (FTTB pour Building), le bureau (FTTO pour Office) ou encore le domicile (FTTH pour Home). Chaque opérateur est bien sur libre de choisir quel déploiement FTTx il veut mettre en place. Aujourd'hui il semble que la solution FTTH (jusqu'à l'abonné) soit la technologie qui sera la plus répandue (cette technologie consiste à amener la fibre optique au plus près de l'utilisateur), afin d'augmenter le débit transmis, et la distance sur laquelle se fait cette transmission, mais c'est aussi la technologie la plus coûteuse puisqu'il faut tirer la FO jusqu'à l'abonné.