

Système de transmission par fibre optique

VI.1 Introduction

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

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

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

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

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

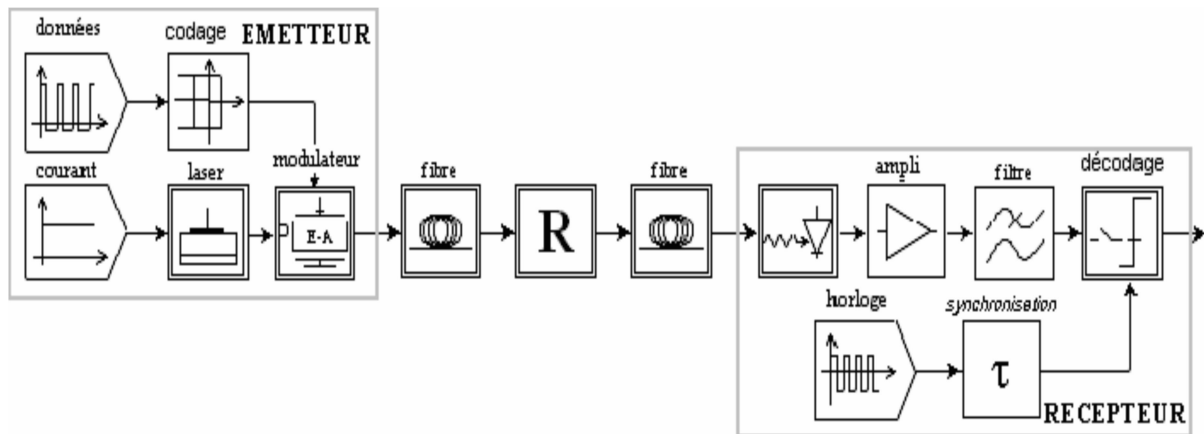


Figure (VI.1) : Chaine de transmission par voie optique

VI.3.1 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.

Modulation :

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.3.2 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.

VI.3.3 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.4 Familles de liaisons optiques

Il existe différentes familles de liaisons optiques:

- ☐ Liaison point à point.
- ☐ Liaison avec amplificateur optique (EDFA).
- ☐ Liaison multiplexée (WDM).

1. Liaison Point à Point

Point à point est une configuration de ligne qui décrit une méthode de connexion de deux appareils communicants en une seule liaison. Une connexion point à point est une connexion monodiffusion. Il existe un lien dédié entre une paire distincte d'expéditeur et de destinataire. La capacité de l'ensemble du canal est réservée au transfert de paquets entre l'expéditeur et le destinataire représenté par la figure ci-dessous (4.1)

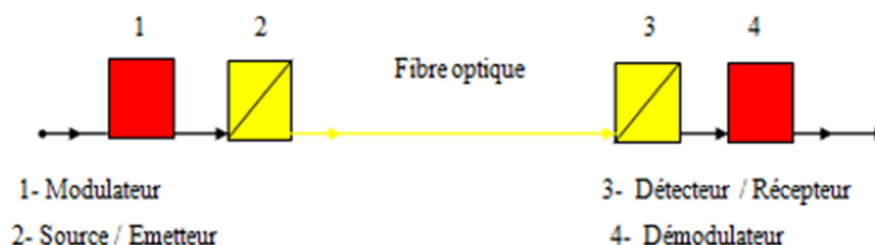


Figure (4.1) : Schéma bloc d'un système optique liaison point à point

Du côté émetteur, un signal électrique module l'intensité d'une source lumineuse. Le signal optique est couplé dans la fibre et arrive du côté récepteur où un détecteur optique retransforme le signal optique en signal électrique.

2. Liaison Avec Amplificateur

Les progrès très rapides accomplis dans les années 1990 ont permis d'introduire l'amplification optique dans les systèmes de transmissions à grande distance, et de remplacer totalement les répéteurs-régénérateurs électriques .

Un des principaux avantages des amplificateurs optiques à fibre dopée est qu'il fonctionne indépendamment du débit supporté par le signal optique, et peut amplifier un grand nombre de longueurs d'ondes, ce qui permet d'augmenter facilement le débit d'une liaison déjà posée, d'où une explosion des débits qui sont passés au moins de 10ans de 280Mbits/s à 640Gbits/s.

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.

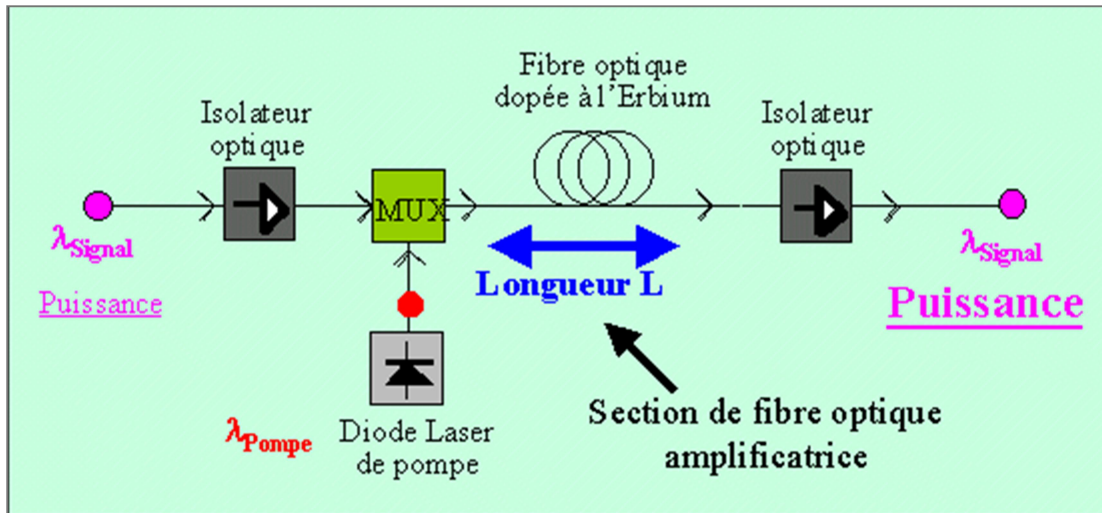


Figure (VI.2) : Principe de l'amplificateur optique

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.

3. Liaison multiplexée

Bien que des systèmes à 40 Gbits/s soient en fonctionnement, 10 Gbits/s par longueur d'onde est le débit le plus élevé omniprésent dans les réseaux. Des améliorations de débit peuvent facilement être obtenues grâce au multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM : Wavelength Division Multiplexing), qui peut atteindre des centaines de Gbits.

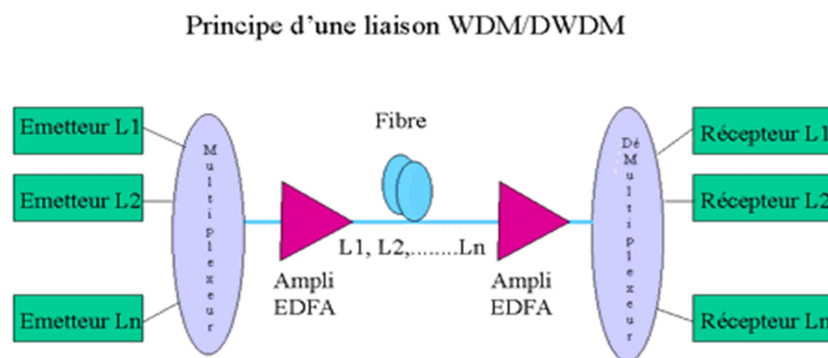
Des liaisons multiplexées allant de 4 à 64 longueurs d'onde, chacune modulée à 10Gbits/s, fonctionnent dans les réseaux à longue distance et apparaissent désormais dans les réseaux métropolitains nécessitant des débits de plus en plus élevés.

- **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.

Chapitre 4 :

Si cet intervalle est inférieur ou égale à 0.8nm, on parle de DWDM (Dense), des tests ont même été effectués avec des intervalles de 0.4 et 0.2 nm, où on parle alors de l'UDWDM (Ultra).

L'utilisation de 32 longueurs d'onde différentes sur une fibre optique à 10Gbits/s permet donc d'atteindre assez facilement un débit de 320Gbits/s.

Prochainement, lorsque 160λ pourront être utilisées, la même fibre à 10Gbits/s pourra fournir un débit de 1.6Tbits/s.

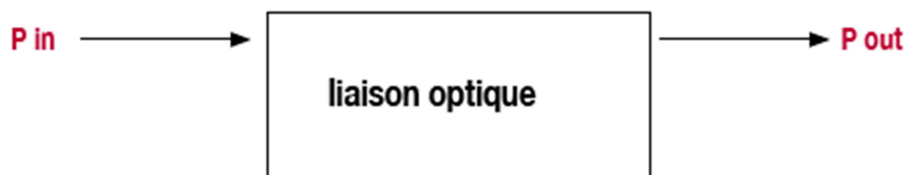
Il existe une autre forme de WDM, moins performante, le CWDM (Coarse), la norme IUT permet au CWDM d'utiliser des longueurs d'ondes comprises entre 1270-1610nm respectivement espacées de 20nm, 18canaux au maximum sont utilisables.

Chaque type du WDM nécessite des FO et des émetteurs / Récepteurs de lumière.

Dans la pratique, le WDM s'applique principalement avec des SMF tandis que le CWDM aux MMF.

VI.5 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).

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

Avec :

Chapitre 4 :

Pe : Puissance émise dans la fibre exprimée souvent en dBm.

A : pertes en dB (toute sorte de pertes : pertes lineaires+ épissures+jonction)

; L : longueur en km (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 :

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

La probabilité d'erreur (TEB) est donnée par la relation suivante :

$$TEB = 1/2 \operatorname{erfc}(S/N).$$

Un $TEB = 10^{-12}$ est acceptable.