

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderahmane Mira de Bejaia
Faculté de Technologie
Département de Génie Électrique

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master 2 en télécommunication.

Thème

Étude d'une Chaîne de Télécommunication Optique

Présenté par :

❖ M^r REDJDAL Kaci

Encadré par :

M^r BERRAH.S

Membres du jury :

Président : M^r IDJDARENE.K

Examineur : M^r KHERDINNE.A/K

Année : 2012 /2013

Remerciement

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères tout d'abord au

« Bon Dieu »

*pour la patience et la santé qui m'ont été utiles tout au long de mon parcours,
et aux êtres les plus chers aux monde « Mes Parents » pour tous les efforts
et sacrifices qu'ils ont entrepris afin de me voir réussir. Je les remercie pour
l'éducation qu'ils m'ont prodigué.*

*Toute mon estime et ma respectueuse gratitude vont à Mr S.BERRAH d'avoir
accepté d'être mon promoteur. Qu'il trouve ici l'expression de ma haute
considération et ma profonde reconnaissance.*

*Je remercie Mr IDJDARENE.K d'avoir accepté de présider le jury chargé
d'évaluer ce travail.*

Je remercie Mr KHERDINNE.A/K d'avoir accepté d'examiner ce travail.

*Merci à tous mes camarades et amis ayant soutenu ou en cours de préparation de
leurs diplômes, pour leur aide, sympathie, convivialité et leur amitié manifestée
tout le long de la préparation de ce travail.*

*Merci enfin pour tous ceux et celles qui m'ont aidé d'une façon ou d'une autre
lors de mon travail.*

REDJAL Kaci

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissances et de respect :

- *A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard;*
- *A mes frères*
- *A mes sœurs*
- *A toute ma famille paternelle et maternelle surtout à mes grandes mères.*
- *A mes amis sans exception.*

REDJDAL Kaci

Sommaire

| | |
|----------------------------|-----|
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Liste des abréviations | |
| Introduction générale..... | 1.2 |

Chapitre 1 : La Fibre Optique.

| | |
|---|---|
| Introduction..... | 3 |
| 1- L'onde électromagnétique..... | 3 |
| 1-1- Propriétés d'une onde électromagnétique..... | 3 |
| 2- Spectre de la lumière..... | 3 |
| 3- Notions sur l'optique géométrique..... | 4 |
| 3-1- Indice de réfraction..... | 4 |
| 3-2- Vitesse de propagation..... | 4 |
| 3-3- Le vecteur optique..... | 4 |
| 3-4- Les principaux phénomènes de la propagation..... | 4 |
| a) La transmission..... | 4 |
| b) La réflexion..... | 4 |
| c) La réfraction..... | 4 |
| d) La diffusion..... | 4 |
| 3-5- Loi de SNELL-DESCART..... | 4 |
| 3-5-1- Incidence critique..... | 5 |
| 4- La fibre optique..... | 5 |
| 4-1- La présentation de la fibre optique..... | 5 |
| 4-2- Les principaux types de fibre optique..... | 6 |
| 4-2-1- Fibre optique à saut d'indice multi-modes..... | 6 |
| 4-2-2- Fibre optique à saut d'indice monomode..... | 6 |
| 4-2-3- Fibre optique à gradient d'indice..... | 6 |
| 4-3- Avantages de la fibre optique..... | 7 |
| 4-4- La transmission par fibre optique..... | 7 |
| 4-4-1- L'ouverture numérique..... | 8 |
| 4-4-2- La transmission vue sous l'aspect ondulatoire de la lumière..... | 8 |
| 4-4-2-1 La fréquence normalisée..... | 8 |
| 4-4-2-2-Le nombre de mode..... | 8 |
| a) Pour la fibre à saut d'indice | 8 |
| b) Pour la fibre à gradient d'indice | 8 |
| 5-Les effets linéaires et non linéaires dans la fibre..... | 8 |
| 5-1- Les effets linéaires..... | 8 |
| 5-1-1- La dispersion..... | 8 |

| | |
|--|----|
| 5-1-1-1- Types de dispersion..... | 9 |
| 5-1-1-1-1- La dispersion chromatique..... | 9 |
| a) La dispersion du matériau..... | 9 |
| b) La dispersion du guide..... | 9 |
| 5-1-1-1-2- La dispersion modale..... | 10 |
| a) Cas d'une fibre à saut d'indice..... | 10 |
| b) Cas d'une fibre à gradient d'indice..... | 10 |
| 5-1-2- L'atténuation dans la fibre optique..... | 10 |
| 5-1-2-1- définition du coefficient d'absorption..... | 10 |
| 5-1-3- Fenêtre de la transmission optique..... | 10 |
| 5-1-4- Les pertes dans la fibre optique..... | 11 |
| 5-1-4-1- Pertes dues à la diffusion..... | 11 |
| 5-1-4-2- Pertes dues à l'absorption..... | 11 |
| 5-1-4-3- Pertes dues au guidage..... | 12 |
| a) Pertes dues aux courbures..... | 12 |
| b) Pertes dues aux micro-courbures..... | 12 |
| 5-1-4-4- Pertes dues au couplage et au raccordement..... | 13 |
| a) Couplage fibre-détecteur..... | 13 |
| b) Couplage émetteur-fibre..... | 13 |
| 1) Influence des surface..... | 13 |
| 2) Influence de la réflexion..... | 13 |
| c) Couplage entre deux fibres..... | 14 |
| 5-1-4-5- Pertes intrinsèques..... | 14 |
| a) Variation de diamètre du cœur..... | 14 |
| b) Variation de l'ouverture numérique..... | 14 |
| c) Variation du profil d'indice..... | 14 |
| 5-1-4-6- Pertes extrinsèques..... | 15 |
| a) Désalignement axial..... | 15 |
| b) Désalignement angulaire..... | 15 |
| c) La distance entre deux fibres..... | 15 |
| d) La réflexion..... | 16 |
| 5-2- Les effets non linéaires dans la fibre optique..... | 16 |
| 5-2-1-3- Effets de Kerr..... | 16 |
| 5-2-1-4- Effet de Brillouin et effet de Raman..... | 16 |
| a) L'effets de Raman..... | 16 |
| 1) Description..... | 16 |
| a) L'effets de Brillouin..... | 16 |
| 1) Description..... | 16 |
| Conclusion | 17 |

Chapitre 2 : La Chaîne De télécommunication Optique

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 18 |
| 1 - Présentation d'une chaîne de télécommunication optique..... | 18 |
| 1-1- Bloc d'émission..... | 18 |
| 1-1-1- Sources optiques..... | 18 |
| 1-1-1-1- Diode électroluminescente (LED)..... | 18 |
| 1-1-1-2- Diode LASER..... | 19 |
| 1-1-2- Les techniques de modulation..... | 19 |
| 1-1-2-1- La modulation par la technique OOK | 19 |
| 1-1-2-2- La modulation directe..... | 19 |
| 1-2-3- La modulation externe..... | 20 |
| 1-2- Bloc réception..... | 20 |
| 1-2-1- Le bloc 1 ^{er} étage..... | 21 |
| 1-2-1-1- Photo détecteur..... | 21 |
| 1-2-1-1-1- Photo diode PN..... | 21 |
| 1-2-1-1-2-Photo diode PIN..... | 21 |
| 1-2-1-1-3-Photo diode à effet d'avalanche PDA..... | 21 |
| 1-2-2- Le bloc linéaire..... | 22 |
| 1-2-2-1- Amplificateur électrique..... | 22 |
| 1-2-2-2- Circuit de filtrage..... | 22 |
| 1-2-2-3- Circuit de décision..... | 22 |
| 1-3- Bloc de transmission..... | 22 |
| 1-3-1- Les amplificateurs et les répéteurs optiques..... | 22 |
| 1-3-2- Les câbles de transmission..... | 22 |
| 1-3-3- Les coupleurs et les connecteurs..... | 22 |
| 2- Techniques de compensation..... | 22 |
| 2-1- Amplification optique..... | 23 |
| 2-1-1-Le régénérateur optique..... | 23 |
| a) Description..... | 23 |
| b) Fonctionnement..... | 23 |
| 2-1-2- Amplificateur optique..... | 23 |
| 2-1-2-1- types d'amplificateur optique..... | 23 |
| 1) Amplificateur optique à fibre dopé d'erbium..... | 23 |
| a) Description..... | 23 |
| b) Fonctionnement..... | 23 |
| c) Caractéristique..... | 23 |
| 2) Amplificateur optique à semi-conducteur..... | 24 |
| a) Description..... | 24 |

| | |
|---|----|
| b) Fonctionnement..... | 24 |
| c) Caractéristiques..... | 24 |
| 1) Amplificateur optique de Raman..... | 24 |
| a) Fonctionnement..... | 24 |
| b) Caractéristiques..... | 24 |
| 2-2- Le multiplexage..... | 25 |
| 2-2-1- Le multiplexage temporel (TDM)..... | 25 |
| 2-2-2- Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)..... | 25 |
| a) Principe..... | 25 |
| 2-2-3- Le multiplexage en longueur d'onde associe au le multiplexage temporel.... | 26 |
| 2-3- Usage de fibres compensatrices..... | 26 |
| 2-3-1- Fibre à réseau de Bragg compensatrice de dispersion..... | 26 |
| 2-3-2- Fibre compensatrice de dispersion chromatique..... | 26 |
| 2-3-3- Fibre compensatrice de dispersion de polarisation..... | 26 |
| 1- Fibre à contrainte interne..... | 27 |
| 2- Fibre à cœur non circulaire..... | 27 |
| 2-4- Réduction de l'absorption de l'hydroxyle..... | 27 |
| 3- Protection de la liaison optique..... | 27 |
| Conclusion..... | 28 |

Chapitre 3 : Simulation

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 29 |
| 1-Calcul du bilan de la liaison optique..... | 29 |
| 1-1- Présentation d'une liaison par fibre optique..... | 29 |
| 1-2- Les exigence à prendre en considération pour calculer la liaison optique..... | 29 |
| 1-3- Calcul du bilan de la liaison optique..... | 29 |
| 1-3-1- Le calcul de différents temps de monté de la liaison..... | 29 |
| 1-3-1-1- Temps de monté total du système..... | 29 |
| a) Temps de monté de la source..... | 29 |
| b) Temps de monté de récepteur..... | 30 |
| c) Temps de monté de la fibre..... | 30 |
| 1-3-2- Le calcul du bilan de la bande passante de la liaison optique..... | 30 |
| 1-3-3- Le calcul du bilan énergétique de la liaison optique..... | 30 |
| 1-3-3-1- Le flux énergétique émis par La source..... | 30 |
| 1-3-3-2- Seuil de détection..... | 31 |
| 1-3-3-3- Les pertes..... | 32 |
| 1) Les pertes dues à l'atténuation de la fibre..... | 32 |
| 2) Les pertes de couplage..... | 32 |

| | |
|--|----|
| 2-Simulation..... | 33 |
| 2-1-Présentation d'une interface graphique de matlab..... | 33 |
| 2-2-Comment procéder pour créer une interface graphique de matlab..... | 33 |
| 2-3-La simulation..... | 34 |
| 2-3-1-Enonces de la simulation..... | 34 |
| 2-3-2-Présentation de paramètres..... | 35 |
| 2-3-3-But de la simulation..... | 36 |
| 2-3-4-Les paramètres influant sur le bilan énergétique..... | 36 |
| a) La longueur de la liaison..... | 36 |
| b) La température..... | 37 |
| c) Le débit binaire..... | 38 |
| d) La sensibilité du photorécepteur..... | 39 |
| e) coefficient de bruit en excès | 40 |
| f) Le facteur d'amplification..... | 40 |
| g) Les capacités des éléments photoélectrique..... | 41 |
| h) Le flux énergétique émit par la source..... | 42 |
| i) Le coefficient de modulation..... | 42 |
| Conclusion..... | 42 |
| Conclusion générale..... | 43 |
| Bibliographie. | |

Liste des tableaux :

| | |
|---|----|
| Tableau 1.1 : Les pertes par absorption..... | 12 |
| Tableau 2.1 : Quelques techniques utilisées pour la protection des liaisons optiques.... | 27 |
| Tableau 3.1 : Les plages du temps et de fréquences pour la LED et le LASER..... | 28 |

Liste des figures

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figure 1.1 | : L'onde électromagnétique..... | 3 |
| Figure 1.2 | : Le spectre électromagnétique et le spectre de la lumière blanche (visible) | 3 |
| Figure 1.3 | : Représentation des différents types de rayons..... | 4 |
| Figure 1.4 | : Présentation de différents cas de rayons incidents..... | 5 |
| Figure 1.5 | : Fibre optique..... | 5 |
| Figure 1.6 | : Fibre optique à saut d'indice multi-mode et son profil d'indice..... | 6 |
| Figure 1.7 | : Fibre optique à saut d'indice monomode et son profil d'indice..... | 6 |
| Figure 1.8 | : Fibre optique à gradient d'indice et son profil d'indice..... | 6 |
| Figure 1.9 | : L'angle d'acceptance..... | 7 |
| Figure 1.10 | : La dispersion chromatique..... | 9 |
| Figure 1.11 | : Fenêtres de transmission optique..... | 11 |
| Figure 1.12 | : Pertes par absorption..... | 11 |
| Figure 1.13 | : Pertes par courbure..... | 12 |
| Figure 1.14 | : Couplage fibre-détecteur..... | 13 |
| Figure 1.15 | : Couplage émetteur-fibre..... | 13 |
| Figure 1.16 | : Couplage entre deux fibres..... | 14 |
| Figure 1.17 | : Variation de diamètre de cœur..... | 14 |
| Figure 1.18 | : Désalignement axial..... | 15 |
| Figure 1.19 | : Désalignement angulaire..... | 15 |
| Figure 1.20 | : La distance entre les deux fibres..... | 15 |
| Figure 2.1 | : Schéma représentatif une chaîne de télécommunication optique..... | 18 |
| Figure 2.2 | : La diode LED..... | 18 |
| Figure 2.3 | : La diode LASER..... | 19 |
| Figure 2.4 | : Le bloc de réception..... | 20 |
| Figure 2.5 | : Photo diode PN..... | 21 |
| Figure 2.6 | : Photo diode PIN..... | 21 |
| Figure 2.7 | : Un bout de fibre optique..... | 22 |
| Figure 2.8 | : Un connecteur optique..... | 22 |
| Figure 2.9 | : Amplificateur optique à fibre dopée d'erbium..... | 23 |
| Figure 2.10 | : Amplificateur optique à semi-conducteurs..... | 24 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figure 2.11 | : Répartition des périodes dans le cas de multiplexage TDM..... | 25 |
| Figure 2.12 | : Répartition des sous-bandes dans le cas de multiplexage WDM..... | 25 |
| Figure 2.13 | : Fibre à réseau de Bragg..... | 26 |
| Figure 2.14 | : Profil d'indice d'une fibre à deux cœurs..... | 26 |
| Figure 2.15 | : Sections de deux fibres compensatrices de polarisation..... | 27 |
| Figure 3.1 | : Guide quick start..... | 33 |
| Figure 3.2 | : Editeur de disposition..... | 34 |

Liste des abréviations :

| | |
|----------------------|--|
| OEM | : Onde Électromagnétique. |
| S-C | : Semi-conducteurs. |
| P | : S-C dopé avec des atomes accepteurs (couche de valence possède 3 é libre). |
| N | : S-C dopé avec des atomes donneurs. |
| PN | : Association de deux types de semi-conducteur N et P (jonction PN). |
| BC | : Bande de conduction. |
| BV | : Bande de valence. |
| DEL | : Diode Électroluminescente. |
| LASER | : Amplificateur de Lumière Par Emission Stimulée. |
| OOK | : On Off Keying. |
| DPN | : Diode à jonction PN. |
| DPIN | : Diode à jonction PN intercalée par une couche intrinsèque. |
| PDA | : Diode à Effets d'Avalanche. |
| WDM | : Wave Length Division Multipling (Multiplexage en Longueur D'onde). |
| FDM | : Frequency Division Multipling (Multiplexage en Fréquence). |
| AOSC | : Amplificateur optique à semi-conducteur. |
| EDFA | : Fibre optique dopé d'erbium. |
| DCF | : Fibre Compensatrice de dispersion. |
| OH | : Hydroxyle. |
| DL | : Diode LASER. |
| SI | : Fibre Optique à Saut d'Indice. |
| GI | : Fibre Optique à Gradient D'indice. |
| SO | : Source Optique. |
| FO | : Fibre Optique. |
| DO | : Détecteur Optique. |
| T_r | : Transite. |
| DM | : Dispersion Modale. |
| DC | : Dispersion Chromatique. |
| S/N | : Rapport Signal Sur le Bruit. |
| TEB | : Taux d'Erreurs par Bits. |
| GUI | : Interface graphique d'utilisateur. |

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

L'idée d'utiliser de la lumière comme support véhiculant de l'information n'est pas récente. Dès la plus haute antiquité, les hommes ont utilisé des sources optiques (soleil, feux, nuages de fumées) pour transmettre des messages. Les débits d'informations transmis étaient faibles, et les portées sont courtes.

Le XIX et le début du XX^{ème} siècle ont connu un développement très rapide des connaissances en électricité. Des systèmes de transmission très performants, sur câble en cuivre ou sur ondes hertziennes, sont mis au point : l'idée d'utiliser l'optique fut alors pratiquement abandonnée malgré le fait que la théorie de l'électromagnétisme développée par Maxwell avait démontré, après des années d'affrontement entre les approches ondulatoire et corpusculaire, que la lumière était une onde électromagnétique régie par les mêmes lois que les ondes radioélectriques et qu'elle pouvait se propager le long d'un guide. Pour reprendre sa place dans le domaine des transmissions, il manquait à l'optique les sources et les photo-détecteurs. Ainsi l'apparition du Laser en 1960 a fourni le premier de ces éléments et a permis d'envisager grâce à sa puissance et à sa directivité, des systèmes optiques potentiellement intéressants. Cependant le véritable début de l'histoire des télécommunications optiques est lié à l'avènement de la fibre optique. C'est en 1966 que serait lancée l'idée de transporter sur des grandes distances des signaux optiques sur une fibre, mais il fallait attendre des années pour maîtriser les procédés de fabrication et contrôler la composition des matériaux. On parviendra alors à obtenir des atténuations assez faibles possibles pour une transmission des signaux sur des distances suffisamment grandes. Certes, la fibre optique était déjà utilisée, mais sur de très courtes distances où l'atténuation n'est pas un paramètre critique.

La fibre optique est donc une innovation relativement récente qui a rapidement pris un rôle prépondérant dans le monde des télécommunications pour sa capacité à véhiculer un grand nombre d'informations sur de longues distances comparativement aux autres supports (câble coaxial, radio etc.).

C'est en 1978 que furent installés les premiers systèmes travaillant avec une longueur d'onde optique de 0.8 μm , acheminant un débit entre 50 et 100 Mbits/s avec un espacement entre répéteurs de 10 km, c'est-à-dire trois fois plus que les systèmes câble coaxial de capacité équivalente. Dans les années 1980, apparaît une seconde génération qui découle de la mise au point du laser à semi-conducteur à 1.3 μm , longueur d'onde à laquelle la dispersion chromatique est minimale, et de la fibre monomodale. Des débits supérieurs à 1Gbit/s, avec un espacement entre répéteurs de plusieurs dizaines de kilomètres, sont atteints. Les portées de ces systèmes sont limitées par les pertes de la fibre, 0.5 dB/km dans le meilleur cas, et l'idée apparaît alors de développer des sources émettant à la longueur d'onde de 1.55 μm , pour laquelle l'atténuation est minimale.

Le présent travail de mémoire, décrira les différents éléments intervenant dans un système de transmission optique. Le travail est devisé en trois parties :

Le premier chapitre est consacré à l'étude théorique de la fibre optique qui se résume dans la présentation de la fibre optique, la transmission par la fibre et la présentation des défauts de transmission par fibre optique.

Dans le second chapitre on va décrire la chaîne de télécommunication optique et les différentes techniques utilisées pour compenser les défauts de transmission.

Enfin, le troisième chapitre sera consacré à la simulation d'une chaîne de télécommunication optique en tenant compte des différents paramètres à savoir : la longueur de la fibre, la

température, la sensibilité, le débit binaire, le coefficient de bruit en excès, le facteur d'amplification, les capacités des éléments photo-électriques, le flux énergétique émit par la source et le coefficient de modulation.

Et on terminera par une conclusion.

CHAPITRE 1 :
LA FIBRE OPTIQUE.

Introduction :

Pour pouvoir étudier la chaîne de télécommunication optique, on va présenter certaines notions de base sur la lumière

1 - L'onde électromagnétique (OEM) [1.L] :

Elle est constituée d'un champ électrique **E** et d'un champ magnétique **B** qui varient en même temps. Le vecteur du champ électrique **E** et celui du champ magnétique **B** se sont perpendiculaire entre eux et perpendiculaire à la direction de propagation.

1 - 1 - Propriétés d'une onde électromagnétique [1.L] :

- La fréquence** : la fréquence f d'une électromagnétique est la fréquence des champs **E** et **B** qui la composent.
- La vitesse de propagation dans le vide ou l'air** : $c = 3.10^8$ m/s.
- La longueur d'onde** : La longueur d'onde λ est le trajet parcouru par l'onde durant une période T : $\lambda = c/f = c \cdot T$.
- La Polarisation** : l'OEM est polarisée dans la direction du champ électrique **E**.

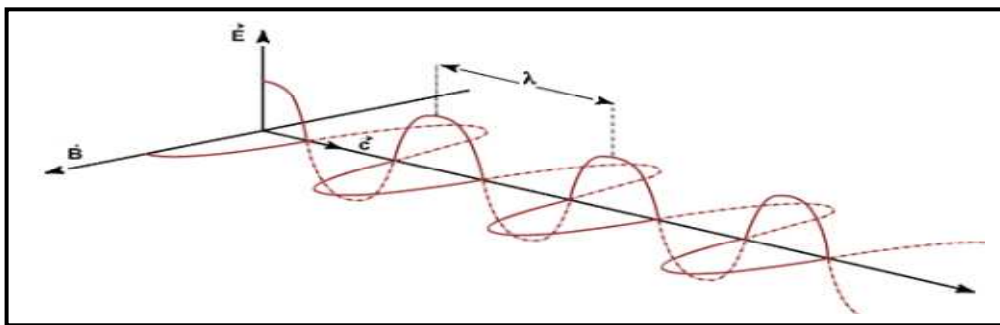


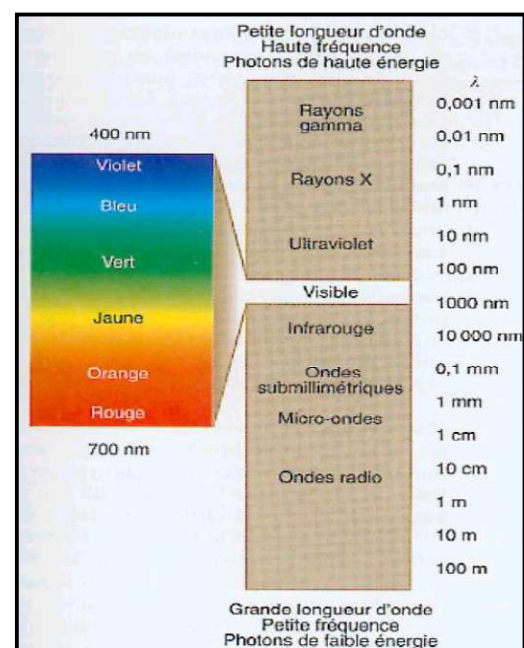
Figure 1.1 : L'onde électromagnétique.

2 - Spectre de la lumière[2.L] :

La lumière visible n'est qu'une petite partie du spectre électromagnétique. Elle est constituée d'infiniment de lumières monochromatiques ayant une seule fréquence.

Dans le domaine des radiations visibles, le spectre de la lumière s'étend du violet au rouge, ce qui correspond dans l'air ou dans le vide aux longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nm

Figure 1.2 : le spectre électromagnétique et le spectre de la lumière blanche (visible).



3 - Notion sur l'optique géométrique [3.L] :

3 - 1 - Indice de réfraction :

Un milieu de propagation est caractérisé par : la permittivité ϵ , la perméabilité μ et la conductivité σ .

A partir des deux premiers paramètres on définit l'indice de réfraction n du milieu de propagation $n = \sqrt{\mu \epsilon}$.

3 - 2 - Vitesse de propagation :

L'indice de réfraction permet de déterminer la vitesse de propagation de l'onde dans le milieu de propagation, cette vitesse est donnée par : $v = c/n$ avec c : vitesse de la lumière.

3 - 3 - Le vecteur optique :

Il est défini comme étant la trajectoire de l'onde électromagnétique correspondante à la direction du vecteur d'onde

3 - 4 - Les principaux phénomènes de la propagation :

- La transmission :** on dit qu'il y a transmission si la lumière traverse le milieu de propagation.
- La réflexion :** est le changement total de la direction de la lumière lorsqu'elle rencontre un milieu de propagation de dimensions plus grandes que la longueur d'onde.
- La réfraction :** c'est un léger changement de la direction de la lumière lorsqu'elle se propage dans le même milieu ou lorsqu'elle rencontre un autre milieu de propagation dont les dimensions, qui ne sont pas important par rapport à la longueur d'onde.
- Diffusion :** dispersion de la lumière dans toutes les directions lorsque elle traverse un milieu de dimensions plus petite que la longueur d'onde.

3 - 5 - Loi de SNELL-DESCARTES

Considérons deux milieux d'indice de réfraction n_1 et n_2 séparés par une surface s . lorsqu'un rayon incident du milieu 1 d'indice de réfraction n_1 rencontre la surface de séparation s , il apparait deux autres rayons :

- ❖ Un rayon réfléchi dans le milieu 1.
- ❖ Un rayon réfracté et transmis dans le milieu 2 d'indice de réfraction n_2 .

La direction du rayon réfléchi est donnée par : $\theta_1 = \theta_1'$

Et celle du rayon transmis et réfractes au même temps : $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

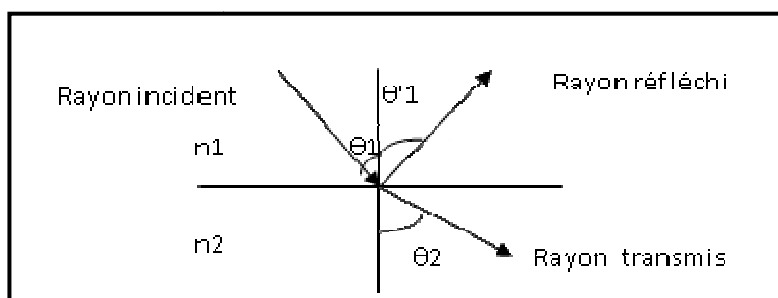


Figure 1.3 : Représentation des différents types de rayons.

3 - 5 - 1 - Incidence critique

Considérons un rayon incident dans un milieu d'indice de réfraction n_1 et se propageant vers un autre milieu d'indice de réfraction n_2 plus faible c.à.d. $n_1 > n_2 \rightarrow \theta_1 < \theta_2$.

Si on augmente l'angle d'incidence θ_1 , l'angle de réfraction θ_2 augmente également jusqu'à la valeur limite $\pi/2$.

L'angle θ_1 pour laquelle on a $\theta_2 = \pi/2$ est appelée incidence critique notée θ_c donnée par :

$$\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

Si l'angle d'incidence dépasse θ_c il y a alors réflexion totale.

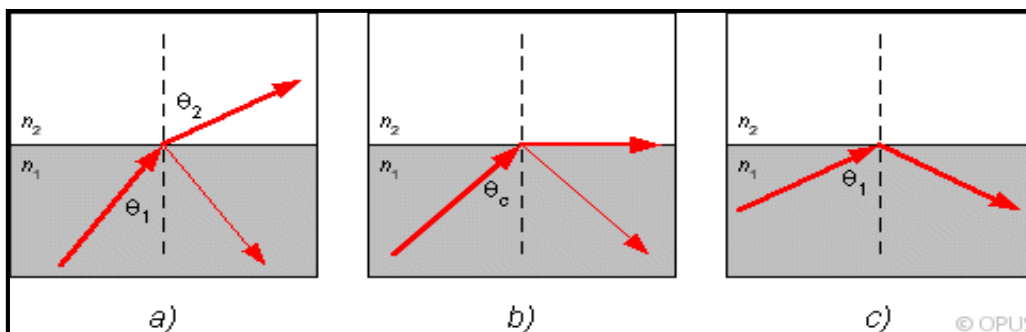


Figure 1.4 : présentation de différents cas de rayons incidents.

4 - La fibre optique [4.L] [5.L] [6.L] [7.L] [6.T] :

4 - 1 - Présentation de la fibre optique :

La fibre optique est une ligne de transmission sous forme d'un guide d'onde cylindrique qui est composée d'une partie centrale appelée cœur d'indice de réfraction n_1 fabriquée à base de silice entouré d'un autre matériau d'indice de réfraction n_2 appelé la gaine.

Le diamètre du cœur est de quelque dizaine de micromètre et celui de la gaine est de quelque centaine de micromètre, la fibre toute seule est très fragile et pour la protéger contre les facteurs externes (humidité, attaque chimique) elle est revêtue par le plastique puis par le nylon.

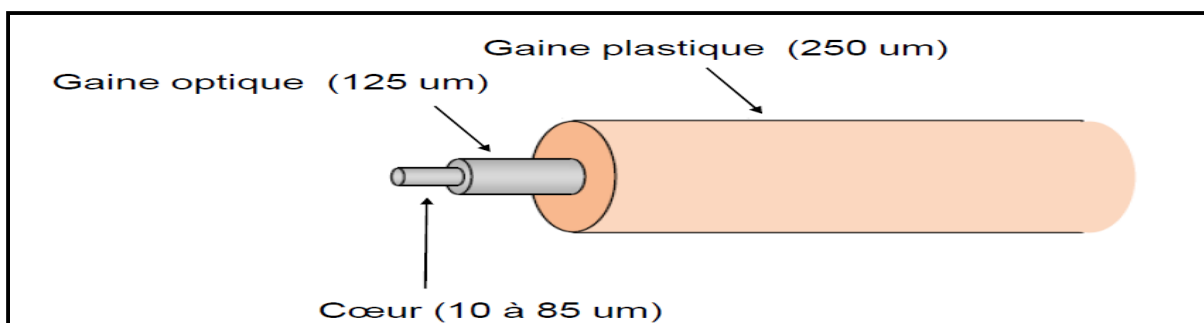


Figure 1.5 : Fibre optique.

4 - 2 - Les principaux types de la fibre optique :

4 - 2 - 1 - Les fibres optiques à saut d'indice multi-modes :

Dans ces types de fibres, le cœur est homogène de diamètre varie entre 100µm et 200µm tandis que celui de la gaine varie de 150µm à 250µm, leurs indice de réfraction est donne par :

$$n(r) = \begin{cases} n_1 & \text{si } r < a \text{ (cœur)} \\ n_2 & \text{si } r \geq a \text{ (gaine)} \end{cases}$$

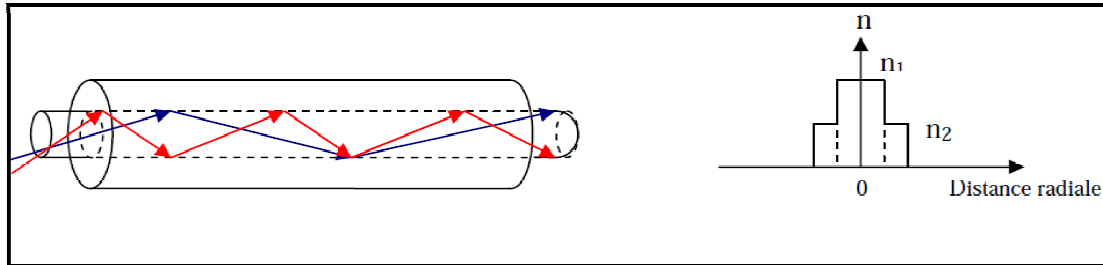


Figure 1.6 : Fibre optique à saut d'indice multi-mode et son profil d'indice.

4 - 2 - 2 - Les fibres optiques à saut d'indice monomode :

Elles se différencient avec les fibres optiques à saut d'indice multi-modes en diamètres. Le diamètre de leurs cœurs varie entre 6µm et 8µm, tandis que le diamètre de leurs gaines est de 125µm.

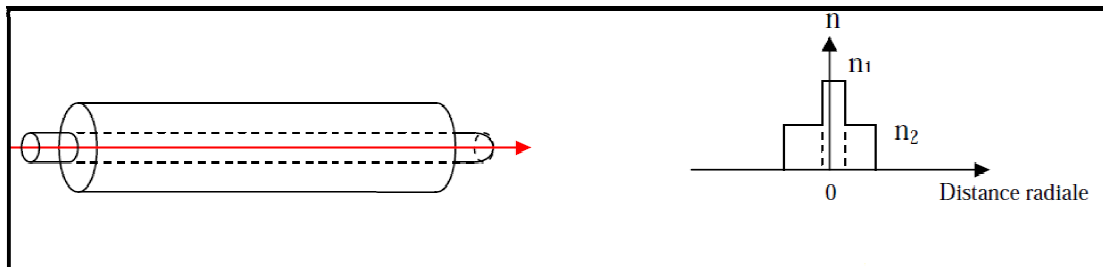


Figure 1.7 : Fibre optique à saut d'indice monomode et son profil d'indice.

4 - 2 - 3 - Les fibres optiques à gradient d'indice :

Dans ces types de fibres, l'indice du cœur diminue progressivement vers l'extérieur à partir de l'axe du cœur vers l'interface cœur-gaine. Le diamètre du cœur est de 50µm et celui de la gaine est de 150µm, leurs indice de réfraction est donnés par

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha} & \text{si } r < a \text{ (cœur)} \\ n_1 \sqrt{1 - 2\Delta} & \text{si } r \geq a \text{ (gaine)} \end{cases}$$

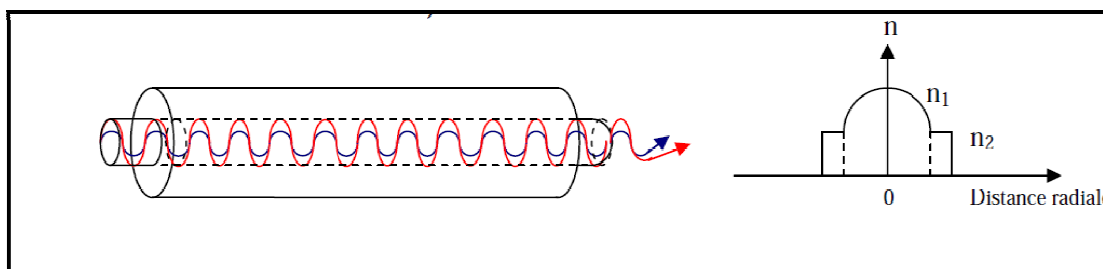


Figure 1.8 : Fibre optique à gradient d'indice et son profil d'indice.

4 - 3 - Avantages d'une fibre optique :

Les fibres optiques offrent de nombreux avantages pour les télécommunications.

- a) **Pertes très faibles.** En fonction du type de fibre, l'atténuation du signal peut atteindre environ 0,2 dB/km pour une longueur d'onde de 1,55 μm , et d'environ 0,35 dB/km à 1,3 μm , ce que correspond à une diminution de la puissance de 50% après 15 et 8,6 km respectivement. Cela permet de réaliser des communications optiques sur des distances supérieures à 100 km sans amplification intermédiaire. En diminuant ainsi le nombre d'amplificateurs intermédiaires, on augmente la fiabilité du système et on réduit les coûts de maintenance.
- b) **Bande passante très grande.** Grâce aux fibres optiques, on peut transmettre des signaux digitaux à 5 Tb/s sur des distances de 1500 km (1 Tb/s = 10^{12} bit/seconde).
- c) **Immunité au bruit.** Les fibres optiques sont des isolants. La transmission dans la fibre ne sera donc pas perturbée par des signaux électromagnétiques externes.
- d) **Absence de rayonnement vers l'extérieur :** La lumière est confinée à l'intérieur de la fibre optique. Par conséquent, il n'est pas possible de détecter le signal entre l'émetteur et le récepteur ce qui garantit la confidentialité de la communication. De plus, par son caractère isolant, la fibre optique ne rayonne pas d'ondes électromagnétiques et ne crée donc pas de perturbations électromagnétiques dans son voisinage.
- e) **Absence de diaphonie :** Pour la même raison, le problème de la diaphonie (passage du signal d'un câble à un câble voisin), bien connu des communications par câble en cuivre, n'existe pas dans les câbles de fibres optiques.
- f) **Isolation électrique :** Comme les fibres optiques sont isolantes, le contact accidentel entre deux fibres ne provoque pas de court-circuit et donc pas de dégâts à l'électronique associée (risque de d'étincelle). Les fibres optiques peuvent donc être installées sans risque dans les atmosphères inflammables.
- g) **Résistance aux températures élevées et aux produits corrosifs :** Les fibres de verre résistent mieux aux produits corrosifs que le cuivre. De plus, les fibres en verre peuvent supporter des températures proches de 800°C.
- h) **Poids et dimensions réduites.** Le poids très faible des fibres par rapport à un câble en cuivre de la même capacité leur donne un avantage lors de l'installation.

4 - 4 - La transmission par fibre optique :

La transmission est faite par réflexions successives du rayon optique sur l'interface cœur gaine et pour que la réflexion soit réalisée, il est nécessaire que l'angle d'incidence sur cette surface soit supérieure à l'angle critique, cette condition impose à l'entrée de la fibre l'existence d'un angle à l'intérieure de le quel tout rayon injecte se propage par réflexion totale (l'angle d'acceptance θ_{ac}).

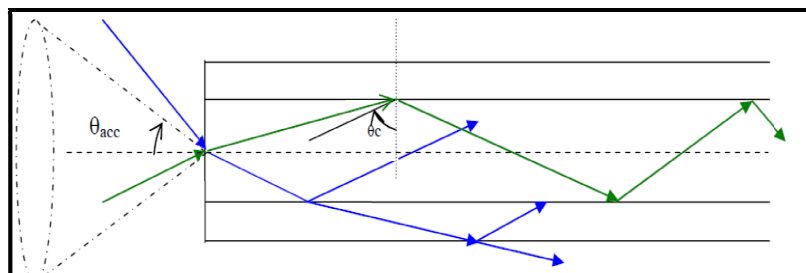


Figure 1.9 : L'angle d'acceptance.

4 - 4 - 1 - L'ouverture numérique :

Est un paramètre lié à l'angle d'acceptance, indique l'angle d'incidence pour le quelle le rayon optique soit transmet par des réflexions totales dans la fibre optique, donnée par :

$$ON = n_0 \sin \theta_{ac} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \text{si } n_0 = 1 \Rightarrow ON = \sin \theta_{ac} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Si la fibre a une différence d'indice faible $\Rightarrow ON = n_1 \sqrt{2 \Delta}$ Avec $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_2}$

4 - 4 - 2 - La transmission par fibre optique vue sous l'aspect ondulatoire de la lumière :**4 - 4 - 2 - 1 - La fréquence normalisée**

La fréquence normalisée est obtenue par la résolution des équations d'onde en coordonnées cylindrique, sa formule est donnée par :

$$V = K_0 a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

4 - 4 - 2 - 2 - Nombre de mode :

Le mode de propagation définit la manière ou la façon avec la quelle le champ électrique se propage à l'intérieur de la fibre. En effet, une onde peut être décomposée à l'intérieur de la fibre en plusieurs petites ondes qui définissent les modes de propagation.

Le développement de l'équation du vecteur permet de trouver le nombre de modes.

a) Pour la fibre a saut d'indice :

$$N_t = \frac{a^2}{2} k_0^2 (n_1^2 - n_2^2) = \frac{V^2}{2}$$

V : est la fréquence normalisée

b) Pour une fibre a gradient d'indice :

$$N_t = \frac{a^2}{2} k_0^2 (n_1^2 - n_2^2) \frac{\alpha}{\alpha + 2} = \frac{V^2}{2} \frac{\alpha}{\alpha + 2}$$

Soit $\frac{V^2}{4}$ pour un gradient parabolique ($\alpha=2$)

5 - Les Effets linéaires et non linéaires dans la fibre optique :

Comme chaque support de transmission, la fibre optique possède des défauts de transmission qui se résument dans les effets linéaires et non linéaires qui influent sur la transmission du signal dans la fibre optique.

5 - 1 - Les Effets linéaires [4.L] [5.L] [6.L] [7.L]:

Les effets linéaires englobent les phénomènes ; de dispersion, d'atténuation et les pertes.

5 - 1 - 1 - La Dispersion :

L'information est souvent transportée à travers une fibre optique sous forme numérique. Dans ce cas, l'information est transmise sous la forme d'une série d'impulsions de lumière (la présence de lumière correspond à un 1 et l'absence de lumière correspond à un 0 logique).

En général. Les impulsions à la sortie de la fibre sont élargies par rapport aux impulsions à l'entrée. Le phénomène physique responsable de cet élargissement est la dispersion de la fibre. Si l'élargissement est trop important, il n'est plus possible de décoder correctement l'information à la sortie (il y a perte d'information suite à des erreurs de transmission).

5 -1 - 1 - 1 - Les types de dispersions :**5 -1 - 1 - 1 - 1 - La dispersion chromatique (dispersion intra-modale) :**

Une source parfaitement monochromatique n'existe pas. La lumière émise par une source réelle est donc constituée de la somme de différentes longueurs d'onde qui est caractérisée par une largeur à mi-hauteur (largeur spectrale $\Delta\lambda$).

L'indice de réfraction d'un matériau dépend de la longueur d'onde. Il en résulte que la vitesse de propagation de la lumière dans un matériau dépend également de sa longueur d'onde. Il en résulte un temps de propagation différent pour les différentes composantes spectrales, et donc un élargissement des impulsions de lumière émises par une source non monochromatique.

La dispersion chromatique est donnée par :

$$D_{CGM} = \frac{\tau_t}{L d\lambda}$$

$$D_{CGM} = D_{CG} + D_{CM}$$

D_{CM} : Dispersion chromatique du matériau.

D_{CG} : Dispersion chromatique du guide.

τ_t : Temps de transit.

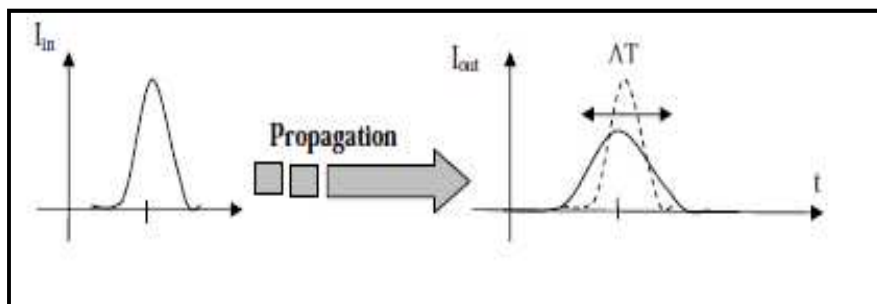


Figure 1.10 : La dispersion chromatique.

a) Dispersion chromatique du matériau :

$$D_{CM} = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_1(\lambda)}{d\lambda^2} \text{ (ps/nm km)}$$

b) Dispersion chromatique du guide :

Son expression est donnée par :

$$D_{CG} = -\frac{n_1 \Delta}{c \lambda} V \frac{d^2 V b}{dV^2}$$

Avec :

Δ : Différence d'indice

V : Fréquence normalisée

b : La constante de propagation normalisée a comme expression :

$$b = 1 - \frac{u^2}{V^2} = \frac{(\beta/k_0)^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \text{ Avec } 0 < b < 1$$

5 - 1 - 1 - 1 - 2 - La dispersion modale (dispersion intermodale) :

Dans une fibre multi-mode, la lumière peut se propager suivant les différentes directions, qui correspondent à des modes différents. La distance parcourue entre les extrémités de la fibre dépend évidemment de la direction de propagation.

a) Cas d'une fibre a saut d'indice :

$$\Delta\tau = L \left(\frac{n_1\Delta}{c} - \frac{ON^2}{2cn_1} \right)$$

b) Cas d'une fibre a gradient d'indice :

$$\Delta\tau = L \frac{n_1\Delta^2}{c \ 8}$$

5 - 1 - 2 - Atténuation d'une fibre optique :

Pour être détectable, l'intensité de la lumière qui arrive sur le détecteur doit toujours dépasser un certain seuil. Or, entre l'émetteur et le récepteur, l'intensité diminue. Dans une transmission par fibre optique, la perte d'intensité intervient au niveau des connecteurs aux extrémités de la fibre, ainsi que dans la fibre elle-même.

5 - 1 - 2 - 1 - Définition du coefficient d'absorption :

Considérons une fibre de longueur L. Soit I_0 et I_L l'intensité de la lumière à l'entrée et à la sortie de la fibre, respectivement. S'il y a atténuation dans la fibre, on a $I_L < I_0$.

α : est une constante, appelée coefficient d'atténuation.

$$\alpha(\text{db/km}) = \frac{10 \log(I_L/I_0)}{L(\text{km})}$$

5 - 1 - 3 - Fenêtres de transmission optique :

Compte tenu de l'atténuation et la dispersion des fibres et des caractéristiques des composants optoélectroniques, on définit trois fenêtres de transmission :

- La région des 800nm.
- La région des 1330 nm.
- La région des 1550 nm.

Ces fenêtres sont séparées par des pics d'absorptions provenant des ions OH^- qui proviennent des molécules d'eau intervenant lors de la fabrication de la fibre.

Les fibres peuvent être utilisées pour la transmission essentiellement dans deux fenêtres en longueur d'onde, qui correspond à la fenêtre du minimum d'atténuation :

- La « fenêtre à 1300 nm » qui a une largeur de bande de 50 nm et une atténuation moyenne d'environ 0,4 dB/km. Les composants optoélectroniques (lasers et récepteurs) sont peu coûteux à cette gamme des longueurs d'onde (1300nm) et qui présente une atténuation importante. Cette fenêtre est utilisée pour les systèmes de télécommunications de courte portée (quelques dizaines de kilomètres) ou de faible capacité.
- La « fenêtre à 1550 nm » qui a une largeur de bande de 100 nm et une atténuation moyenne d'environ 0,2 dB/km. Une utilisation universelle pour les télécommunications de longues distances et à haut débit, grâce à la faible atténuation dans la fenêtre de (1550nm), elle permet d'espacer bien davantage les coûteux régénérateurs et/ou amplificateurs nécessaires pour la compensation de l'atténuation dans la fibre de ligne. D'où l'intérêt pour les amplificateurs optiques à base de fibre optique dopée Erbium.

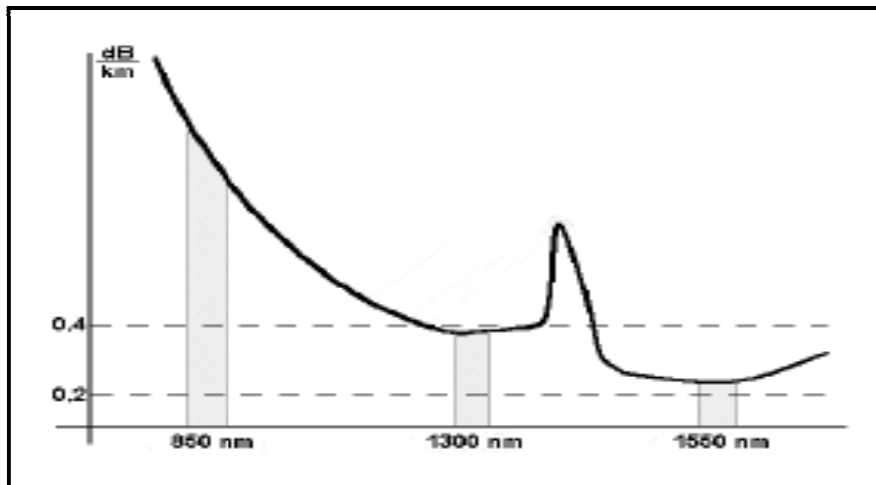


Figure 1.11 : Fenêtres de transmission optique.

5 - 1 - 4 - Les pertes dans la fibre optique :

5 - 1 - 4 - 1 - Pertes dues à la diffusion :

La silice est un matériau amorphe: les molécules de SiO_2 sont connectées entre elles dans une structure aléatoire. Cela produit des fluctuations de l'indice de réfraction, sur des longueurs de l'ordre de $0,1 \mu\text{m}$ ou moins. Chaque fois que la lumière rencontre une irrégularité de dimension inférieure à sa longueur d'onde, elle est diffusée, c'est-à-dire qu'elle est renvoyée dans toutes les directions. Cette diffusion est appelée diffusion de Rayleigh. Certaines des directions de diffusion ne satisfaisant pas la condition de réflexion totale à la surface entre le cœur et la gaine, une partie de la lumière est donc perdue dans la gaine suite à la diffusion de Rayleigh.

Il n'est pas possible d'éviter complètement les pertes par diffusion, car la diffusion de Rayleigh est due à la nature même du verre qui a une structure amorphe. Le coefficient d'atténuation due à la diffusion de Rayleigh varie comme λ^{-4} ; il diminue donc très vite lorsque la longueur d'onde augmente.

5 - 1 - 4 - 2 - Pertes dues à l'absorption :

Le verre peut absorber une partie de l'énergie de la lumière et cette absorption est due aux transitions des électrons entre la bande de valence et la bande de conduction. Elle est réalisable que pour les rayons électromagnétiques qui ont l'énergie de photons supérieure à E_g , ce qui correspond à des longueurs d'onde inférieures à $\lambda_c = h c / E_g$

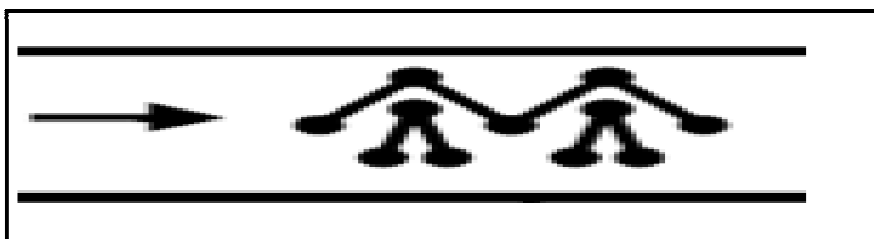


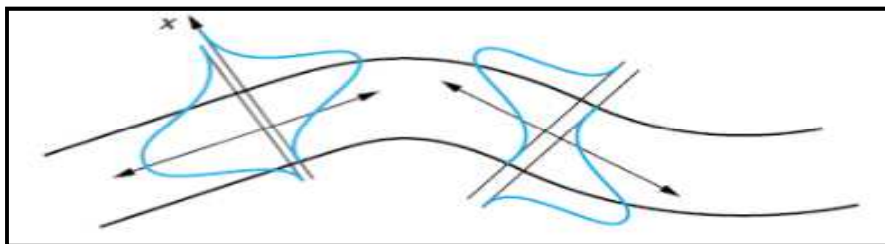
Figure 1.12 : Pertes par absorption.

Exemple de perte par absorption :

| Types d'absorptions | λ de la lumière absorbée | La cause |
|-------------------------|--|---|
| Ultra-violet | $< 140 \text{ nm}$ | Excitation des électrons de BV vers la BC |
| Infrarouge | $> 1.55 \mu\text{m}$ | Vibration du réseau formé les atomes du matériau (oscillation de la liaison entre les atomes) |
| Radicaux hydroxyle (OH) | $1.38 \mu\text{m}$ et $0.95 \mu\text{m}$ | La présence d'impuretés (ions d'OH) dans le verre |

Tableau 1.1 : résume les pertes par absorption.**5 - 1 - 4 - 3 - Pertes dues au guidage :****a) Pertes dues aux courbures :**

Si la fibre est courbée, l'angle de réflexion n'est plus constant d'une réflexion à une autre. Dans certains cas, il peut y arriver que la condition de réflexion ne soit pas satisfaite, la lumière va se pénétrer dans la gaine, donc Il y a perte de la lumière. Selon l'optique ondulatoire, chaque mode a une partie d'énergie qui se propage dans la gaine. Pour un mode donné, à cause de la courbure, l'énergie qui se propage dans la gaine parcourt une distance plus grande que celle propageant dans le cœur et pour que le mode subsiste, l'énergie doit se propager dans la gaine à une vitesse plus grande que celle dans le cœur (de plus en plus l'énergie propageant loin du cœur sa vitesse de propagation augmente). Cependant, l'énergie ne peut se propager à une vitesse supérieur à celle de la lumière, si la courbure impose à l'énergie du mode à se propager dans la gaine avec une vitesse supérieur à celle de la lumière, la propagation ne s'effectuera pas, le mode va disparaître, provoquant ainsi des pertes qui dépend de rayon de courbure.

**Figure 1.13 :** Pertes par courbure.**b) Pertes dues aux micro-courbures :**

Les micro-courbures représentent des irrégularités à l'interface cœur-gaine, qui sont dues aux techniques de fabrication, provoquant ainsi le changement de l'angle de propagation de la lumière. Elles induisent donc un couplage de mode c'est-à-dire la transformation d'un mode en un autre mode ou vers d'autres modes, il peut que certains de ses modes ne pourront plus se propager puisque ils ne satisferont pas la condition de la réflexion totale. Donc le couplage de mode induit des pertes.

5 - 1 - 4 - 4 - Pertes dues au couplage et au raccordement :

a) Couplage fibre-détecteur :

Le couplage fibre-détecteur a pour but de faire en sorte que toute la lumière qui sort de la fibre entre dans le détecteur. Les surfaces de ses deux dispositifs et la réflexion influent sur cette procédure.

- 1) **Influence des surfaces :** A l'extérieur de la fibre, la lumière sort suivant un cône semblable au cône d'admission. Si on considère que, A_f : la surface du cœur de la fibre, d : la distance entre la fibre et détecteur, A : la surface du spot lumineux à la distance d et A_D la surface du détecteur avec

$$A = \pi(d \operatorname{tg} \theta_{ac} + a)^2$$

a : Le rayon du cœur de la fibre et $\sin \theta_{ac} = 0,5 N$

Deux cas se présentent :

- ❖ La fibre en contact direct avec le détecteur ($d = 0$)

Si $A_f > A_D \Rightarrow P = 10 \log \frac{A_D}{A_f}$ et si $A_f < A_D \Rightarrow P = 0$

- ❖ Le détecteur est éloigné de la fibre ($d \neq 0$)

Si $A > A_D \Rightarrow P = 10 \log \frac{A_D}{A}$ et si $A < A_D \Rightarrow P = 0$

- 2) **Influence de réflexion :** La lumière doit traverser deux interfaces pour passer de la fibre au détecteur, il y a donc une perte de réflexion à l'interface fibre-air qui est donnée par

$$P = 10 \log(1 - \rho) \text{ Avec } \rho = \left(\frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0} \right)^2$$

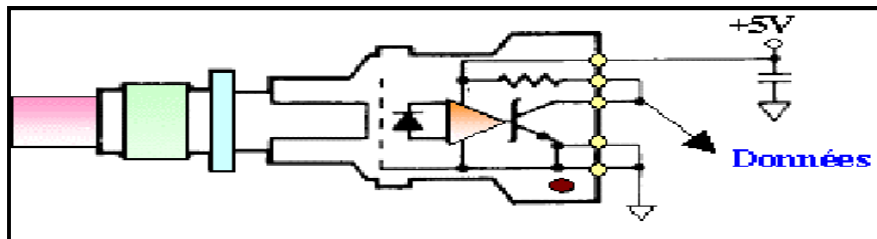


Figure 1.14 : Couplage fibre-détecteur.

b) Couplage émetteur-fibre

Les pertes dans cette liaison dépend à la fois des paramètres de l'émetteur (surface, profil d'indice), des caractéristiques de la fibre (diamètre de cœur, section du cœur profil d'indice, ouverture numérique) et de milieu séparant l'émetteur de la fibre (indice de réfraction et distance émetteur-fibre). Comme, dans le couplage fibre-détecteur.

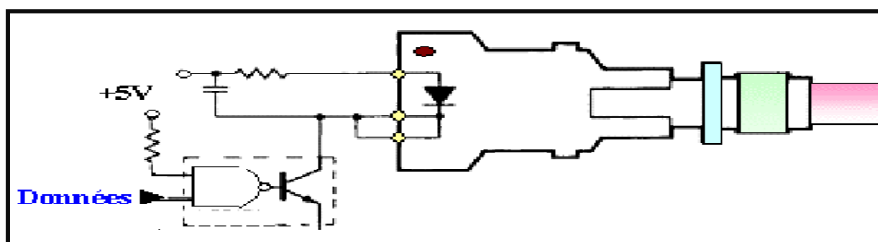


Figure 1.15 : Couplage émetteur-fibre.

c) Couplage entre deux fibres

Chaque fibre a ses propres particularités et lorsqu'on joint deux fibres de caractéristiques différentes, il y aura donc des défauts de continuité dans le mécanisme de propagation, ce qui peut entraîner des pertes

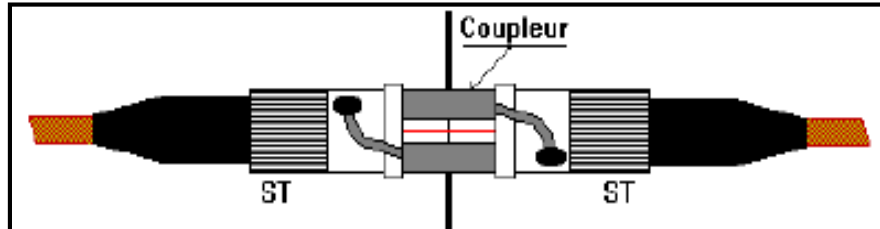


Figure 1.16 : Couplage entre deux fibres.

5 -1 - 4 - 5 - Pertes intrinsèques :

Pertes intrinsèques dues aux :

a) **Variation de diamètre de cœur** : les sections des cœurs des deux fibres sont différentes si la propagation se fait d'une fibre de cœur a_1 vers une fibre a_2 on aura les deux cas suivant :

- ❖ Si $a_1 > a_2$ $P_s = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{S_2}{S_1} = 10 \log \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2$
- ❖ Si $a_1 < a_2$ $P_s = 0$

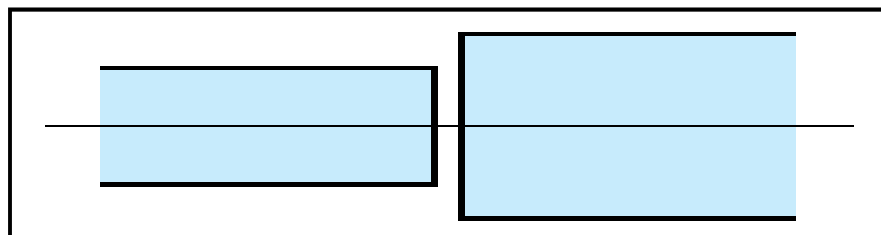


Figure 1.17 : Variation de diamètre de cœur.

b) **Variation de l'ouverture numérique** : dans le cas où la fibre (2) a une ouverture numérique inférieure à celle de la fibre (1), tout le flux énergétique émis par la fibre (1) n'est pas couplé à la fibre (2), la perte est :

- ❖ Si $ON_2 < ON_1$ $P_{ON} = 10 \log \left(\frac{ON_2}{ON_1}\right)^2$
- ❖ Si $ON_2 > ON_1$ $P_{ON} = 0$

c) **Variation du profil d'indice** : Dans une fibre à gradient d'indice, la répartition de mode dans la fibre dépend du paramètre α si on couple deux fibres ayant des profils d'indice différents, les modes qui se propagent dans la première ne pourront pas se propager dans la deuxième. Il en résulte des pertes, qui sont données par :

- ❖ Si $\alpha_1 < \alpha_2$ $P_\alpha = 10 \log \frac{\alpha_2(2+\alpha_1)}{\alpha_1(2+\alpha_2)}$
- ❖ Si $\alpha_1 > \alpha_2$ $P_\alpha = 0$

5 - 1 - 4 - 6 - Pertes extrinsèques :

Pertes extrinsèques sont dues aux :

- a) **Désalignement axial** : l'axe du cœur d'une fibre est décalé par rapport à l'axe du cœur de l'autre fibre, mais les deux axes ne sont pas dans le prolongement l'un de l'autre. Le transfert d'énergie ne se fait que pour les portions de surfaces de cœurs qui se coincident.

$$P = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{A}{A_f}$$

A : La surface du contact entre les fibres.

A_f : La surface du cœur de la fibre.

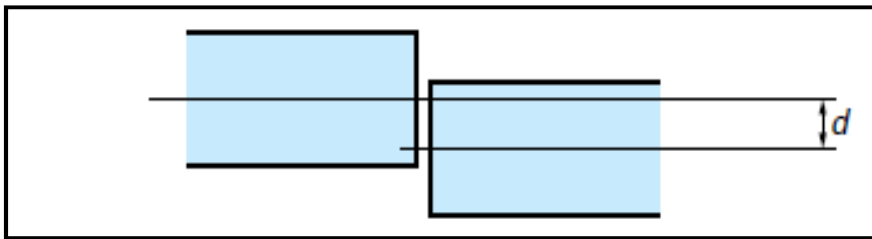


Figure 1.18 : Désalignement axial.

- b) **Désalignement angulaire** : les axes des deux fibres forment un angle θ , cet angle produit une variation de l'ouverture numérique puisque, les rayons issus de la sortie de la fibre (1) arrivent à la face d'entrée de la fibre (2) avec un angle supérieur à l'angle d'acceptance θ_{ac} de la fibre. De ce fait, seuls les rayons qui arrivent avec un angle $\theta_{ac} - \theta$ à la surface de la fibre (2) vont se propager dans cette fibre, donc on peut dire que :

$$P = 10 \log \frac{2\pi[1 - \cos(\theta_{ac} - \theta)]}{2\pi[1 - \cos \theta_{ac}]}$$

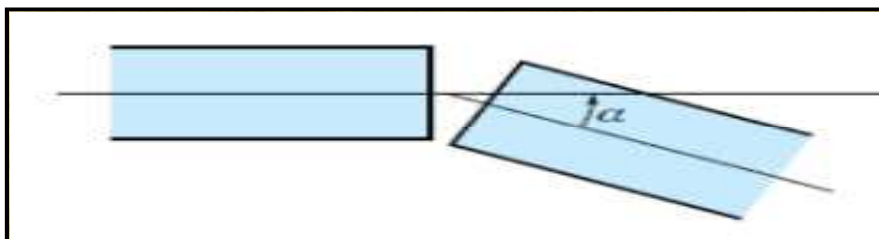


Figure 1.19 : Désalignement angulaire.

- c) **La distance entre les deux fibres** : le problème de couplage entre deux fibres identiques, est le même que celui, entre une fibre et un détecteur.

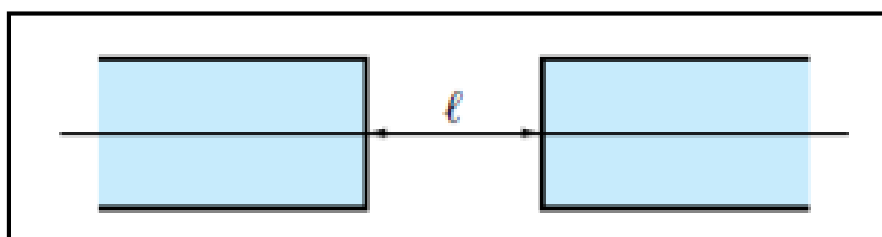


Figure 1.20 : La distance entre les deux fibres.

d) Réflexion : lorsque la lumière passe d'une fibre à une autre, elle traverse deux interfaces, chacune introduit des pertes de réflexion. Ces pertes sont d'environ -3dB par interface.

5 - 2 - Les effets non linéaires dans la fibre optique [5.L] [7.T] [8.T] [9.T] :

Une onde optique de forte intensité se propageant dans une fibre optique uni-modale, peut générer un grand nombre d'effets non linéaires, Parmi ceux-ci, nous pouvons citer :

- l'effet de Kerr,
- l'effet de Brillouin,
- l'effet de Raman.

5 - 2 - 1 - Effets de Kerr :

L'effet de Kerr interprète la variation (l'augmentation) de l'indice de réfraction de la fibre sous l'action d'une onde électromagnétique (intensité du champ optique)

$$n = n_L + n_2 I$$

$I = |E|^2$: L'intensité optique du champ

5 - 2 - 2 - Effet Brillouin et effet Raman :

La classe des effets non-linéaires résultant de diffusions stimulées inélastiques consiste à un transfert d'une partie de l'énergie du champ optique vers le milieu non-linéaire. Deux importants effets font partie de cette catégorie, et ils sont reliés aux modes d'excitations des vibrations de la silice. Ces phénomènes, connus sous les noms de diffusion Raman stimulée (SRS : Stimulated Raman Scattering) et diffusion Brillouin stimulée (SBS : Stimulated Brillouin Scattering).

Ce qui les différencie est : la participation de phonons optiques dans la diffusion Raman et de phonons acoustiques dans la diffusion Brillouin.

a) Effet Raman :

1) Description :

Lorsqu'une onde pompe (photons incidents) traverse un matériau elle est annihilée, certains de ces photons perdent une partie de leur énergie en faveur d'un phonon, particule associée à la vibration qui apparaît dans la matière, avec une certaine fréquence $\delta\nu$. Ils sont alors diffusés avec une énergie plus faible constituent une onde appelée (onde Stokes) de fréquence :

$$\nu_s = \nu_p - \delta\nu$$

$\delta\nu$: dépend que du matériau

En sens inverse, lorsque les phonons vont céder leur énergie à des photons qui vont diffuser sous forme d'une onde (anti- Stokes) de fréquence :

$$\nu_a = \nu_p + \delta\nu$$

b) La diffusion Brillouin :**1) Description :**

Sous l'effet de la température, les molécules constituant le milieu, subissent l'agitation thermique et effectuent de petits déplacements autour de leur position d'équilibre. Les phonons créés se couplent entre eux et modifient l'indice de réfraction du milieu créant des ondes acoustiques de très faibles amplitudes. Par conséquent, lorsqu'une onde électromagnétique se propage, elle est diffusée dans toutes les directions.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a vu les différentes classes de la fibre optique et les caractéristiques qui spécifient chaque une d'elles, on a décrit les événements qui régissent sur la propagation de la lumière dans un milieu quelconque et on a présenté les phénomènes qui influent sur la transmission du signal lumineux lors de ça propagation dans la fibre optique.

CHAPITRE 2 :

*LA CHAÎNE DE
TÉLÉCOMMUNICATION
OPTIQUE.*

Introduction :

La transmission optique est l'acheminement de l'information (données) sous forme de la lumière d'un point d'émission vers un point de réception, elle est assurée par une chaîne de télécommunication optique qui comporte trois bloques : un bloc d'émission, un bloc de transmission et un bloc de réception.

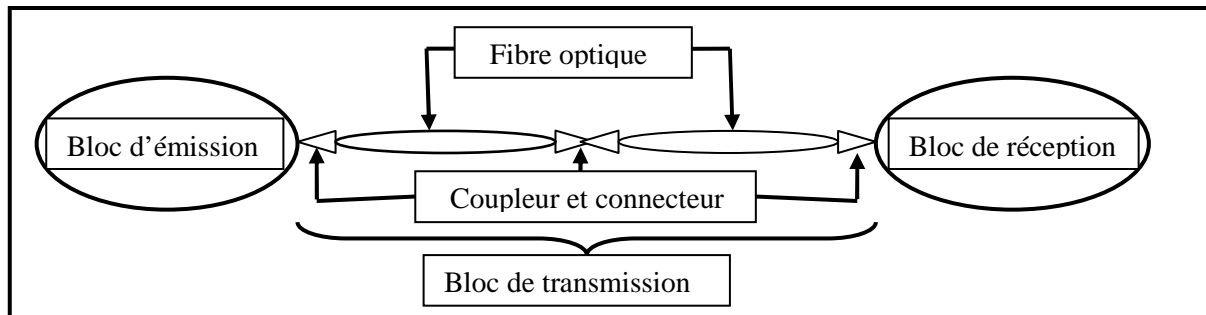


Figure 2.1 : Schéma représentatif d'une chaîne de télécommunication optique.

1 - Présentation d'une chaîne de télécommunication optique [1.T] [2.T] [3.T] :

1 - 1 - Bloc d'émission :

Son rôle consiste à délivrer à la fibre optique un signal sur lequel les données sont inscrites. Elle comprend notamment une source lumineuse (généralement un laser) et un système de modulation.

1 - 1 - 1 - Sources optique :

Dans le domaine des télécommunications optiques, deux types de sources lumineuses sont utilisées : les diodes électroluminescentes (DEL) et les diodes LASER.

1 - 1 - 1 - 1 - Diodes électroluminescentes (LED, Light Emission Diode) :

Une LED est une jonction PN polarisée en direct. Les électrons ou les trous, qui constituent les porteurs majoritaires sont injectés dans le voisinage de la jonction. Leurs recombinaisons donnent lieu à une émission de la lumière.

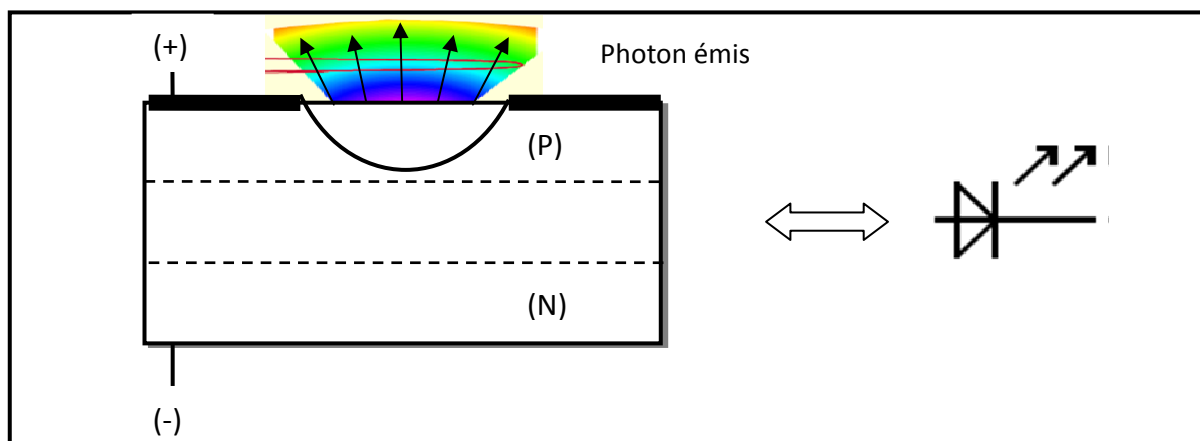


Figure 2.2 : La diode LED.

1 - 1 - 1 - 2 - La diode LASER :

La diode LASER se base sur trois processus fondamentaux pour effectuer la génération de la lumière. Ces processus sont l'absorption, l'émission spontanée et l'émission stimulée. Pour obtenir l'effet LASER, il est nécessaire de favoriser l'émission stimulée ou empêcher les deux autres processus. Deux conditions doivent être réalisées pour favoriser cette émission stimulée et ainsi obtenir l'effet LASER:

1. Il faut avoir suffisamment d'électrons dans l'état d'énergie supérieure. Dans un semi-conducteur, ceci est réalisé par une opération dite de pompage électrique qui consiste à promouvoir un maximum d'électrons dans la bande de conduction : c'est ce qu'on appelle une inversion de population.
2. Il faut favoriser l'émission stimulée : il faut donc avoir suffisamment de photons incidents (excitateurs). Pour cela, on enferme le semi-conducteur dans une cavité résonante.

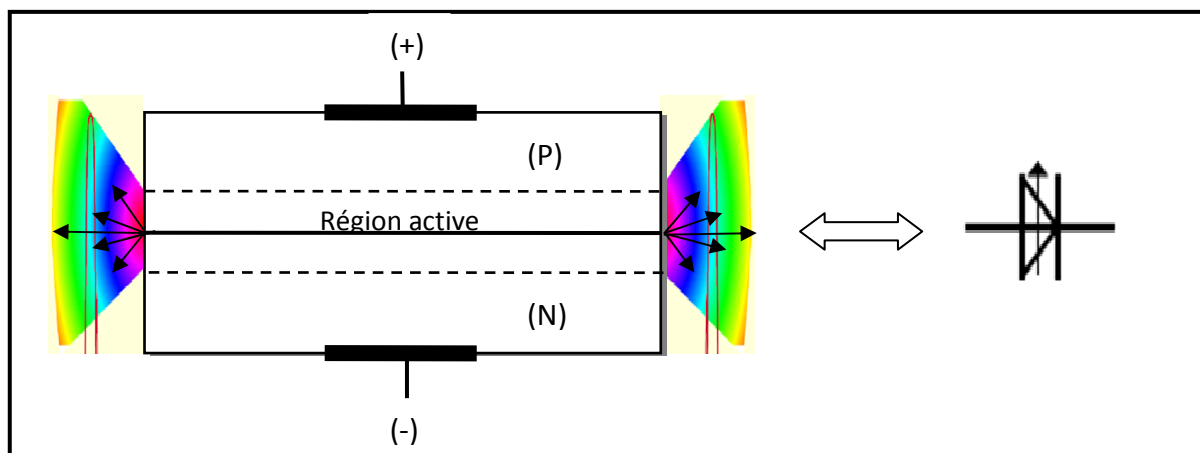


Figure 2.3 : La diode LASER.

1 - 1 - 2 - Les techniques de modulation optique :

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les graver sur le signal lumineux à envoyer dans la fibre. Pour cela, il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques. Le dispositif optique qui module le faisceau LASER continu est appelé un modulateur. En fonction de la technologie et du taux de modulation, on utilise en général trois techniques : la modulation dite 'OOK', la modulation directe et la modulation externe.

1 - 1 - 2 - 1 - La modulation par la technique du 'OOK' (On-Off-Keying) :

Dans cette technique, on utilise un obturateur rapide qui agit sur le faisceau LASER. Quand l'obturateur s'ouvre, il permet à la lumière de passer à travers la fibre ; quand il est fermé, la lumière est bloquée. L'obturateur optique affecte la puissance optique du faisceau LASER.

1 - 1 - 2 - 2 - La modulation directe :

La méthode consiste à faire varier le courant de la source. Il en résulte une variation proportionnelle de la puissance émise qui suit le signal modulateur. Pour les communications optiques à moindre coût, ce type de modulateur est privilégié, car il utilise peu de composants.

1 - 1 - 2 - 3 - La modulation externe :

La modulation externe consiste à graver les données électriques sur un signal optique continu en utilisant un modulateur. Ainsi, les défauts de la modulation directe qui sont liés au LASER ne seront plus présents sur le signal optique. Le modulateur est commandé par une tension externe $v(t)$. Cette tension appliquée au modulateur a pour propriété de modifier le facteur de transmission en sortie.

En traversant le modulateur, il subit les modifications du facteur de transmission et le signal de sortie se trouve modulé selon $v(t)$. Un driver est souvent présent entre les données et le modulateur afin de fixer les niveaux de $v(t)$ et choisir les modifications du facteur de transmission.

Dans l'industrie des télécommunications optiques, on utilise principalement deux types de modulateurs externes :

- ❖ Le modulateur à électro-absorption
- ❖ Le modulateur de Mach-Zehnder

1 - 2 - Le bloc récepteur

Le récepteur est chargé de convertir au mieux le signal optique en signal électrique en lui apportant le minimum de dégradation. Ce module est composé de plusieurs blocs fonctionnels :

1. Le bloc de "premier étage" composé du photo-détecteur. Il peut être accompagné d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photo-courant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photo-détecteur.
2. Le bloc "linéaire", composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre, réducteur de bruit.
3. Le bloc "récupération des données", correspondant au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation.

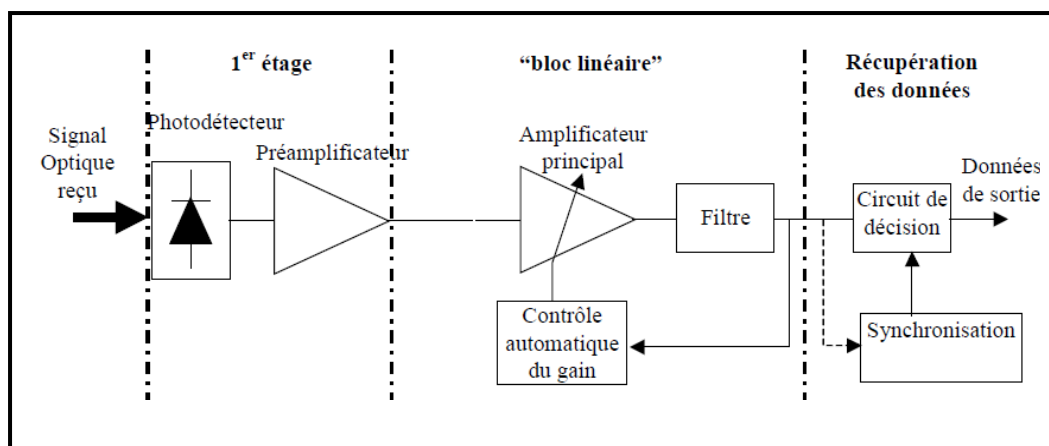


Figure 2.4 : Le bloc de réception.

1 - 2 - 1 - Le bloc de premier étage [1.T] [2.L] [3.L] [4.L] :**1 - 2 - 1- 1- Photo-détecteur :**

Photo-détecteur son rôle est de convertir le signal lumineux en signal électrique, il se comporte comme un générateur de courant (photo diode PN, photo diode PIN, photo diode à effet d'avalanche PDA).

1 - 2 - 1- 1- 1 - Photo diode PN :

Photo diode PN est une jonction PN polarisée en inverse, lorsque elle est exposée à la lumière, les électrons minoritaire de P absorbent les photons lumineux et vont passer vers N puis ils seront extrais à l'extérieur par le champ électrique de générateur, créant ainsi un faible courant électrique.

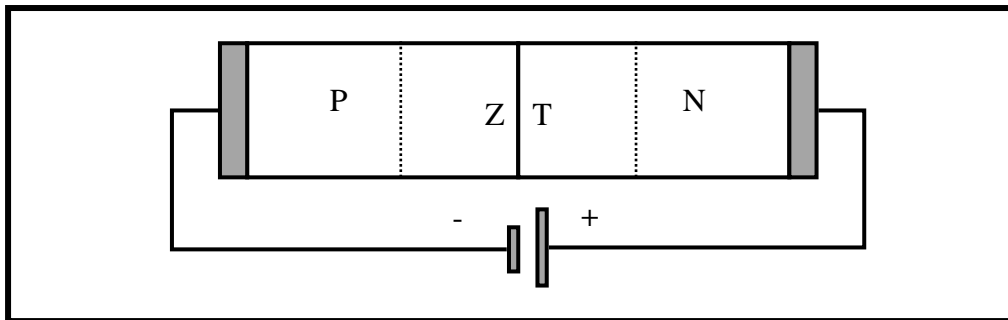


Figure 2.5 : Photo diode PN.

1 - 2 - 1- 1- 2 - Photo diode PIN :

Photo diode PIN est une jonction PN intercalée par une couche intrinsèque I, dans le but de diminuer le dopage de N pour augmenter d'avantage le courant électrique générer par la jonction.

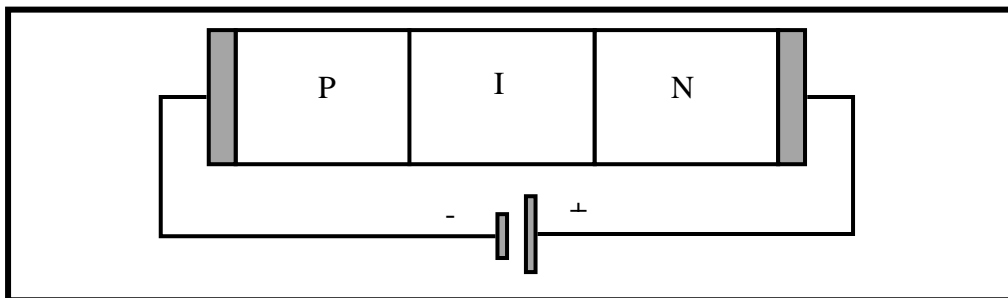


Figure 2.6 : Photo diode PIN.

1 - 2 - 1- 1- 3 - Photo diode à effet d'avalanche PDA :

Photo diode à effet d'avalanche PDA est une jonction PN polarisée en inverse, d'une manière à ce que, la tension de polarisation soit proche à celle de claquage de la jonction, créant ainsi un champ électrique important à la zone de charge d'espace, qui y accélère les électrons passant par la zone de recombinaison, créant à leur tour d'autre électron dans la région N

1 - 2 - 2 - Le bloc linéaire :**1 - 2 - 2 - 1 - L'amplification électrique :**

Le courant émis par le Photo-détecteur, malgré la présence d'un préamplificateur, reste souvent assez faible. Il est donc nécessaire d'utiliser un amplificateur en sortie de photorécepteur.

1 - 2 - 2 - 2 - Circuit de filtrage :

Afin de minimiser le bruit à la sortie du récepteur, il faut filtrer le signal numérique dans une bande, qui soit la plus petite possible.

1 - 2 - 3 - Le Circuit de décision :

On doit assurer au récepteur une qualité d'information parfaite. Pour cela, une remise en forme du signal détecté est réalisée grâce au bloc de décision.

1 - 3 - Le bloc de transmission :

Assure la liaison entre le bloc de transmission et le bloc de réception, il comporte :

1 - 3 - 1 - Les Amplificateur et les répéteurs optiques :

Lors de la transmission d'un signal optique, il peut y arriver que le signal transmis se dégrade et pour le régénérer, il faut utiliser des amplificateurs et des répéteurs optiques.

1 - 3 - 2 - Le câble de transmission :

Qui est la fibre optique.



Figure 2.7 : Un bout de fibre optique.

1 - 3 - 3 - Les coupleurs et les connecteurs

Leurs rôle est de lie l'émetteur et le récepteur avec la fibre optique, comme ils assurent les connexions entre les fibres optiques.

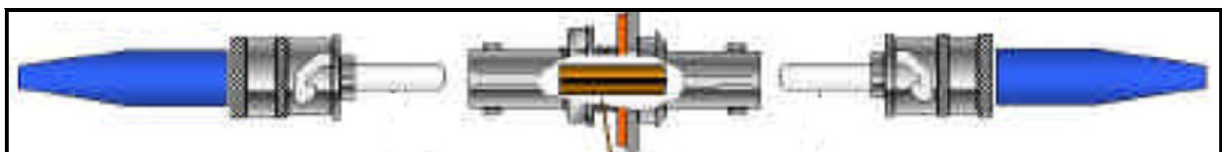


Figure 2.8 : Un connecteur optique.

2 - Techniques de compensation :

Les Techniques de compensation se contribuent à l'amélioration des performances d'un système de communication optique à longue distance.

2 - 1 - Amplification optique [1.T] [4.T] [9.T] :**2 - 1 - 1 - Le régénérateur optique :****a) Description :**

Appelés aussi des répéteurs optoélectroniques sont insérés à des intervalles réguliers pour booster le signal optique qui tend à se dégrader. Un répéteur est constitué d'un récepteur, un support électronique et d'un émetteur.

b) Fonctionnement :

Le signal optique arrive à l'entrée du répéteur ; il est convertit en impulsion électronique qui est ensuite amplifiée dans un circuit de décision et réutilisée dans l'émetteur. Lorsqu'ils sont destinés à travailler à des débits très élevés, ils ont comme inconvénient un coût de fabrication plus élevé.

2 - 1 - 2 - Amplificateurs optiques :

Les amplificateurs optiques sont des dispositifs qui assurent l'amplification du signal tout en restant dans le domaine optique.

2 - 1 - 2 - 1 - Types d'amplificateurs optiques :**1) Amplificateur optique à fibre dopée d'erbium :****a) Description :**

Il comporte un morceau de fibre optique monomode dopée d'erbium, de longueur d'environ 10 - 20 m, diode LAZER (source d'excitation), multiplexeur et des isolateurs.

b) Fonctionnement :

La diode LAZER pompe une lumière de longueur d'onde de 980 nm ou de 1480 nm (ces deux longueurs d'onde sont les mieux adaptées pour exciter les ions Er^{3+} au niveau d'énergie supérieur, ce qui permet de réaliser l'inversion de population et de plus les diodes lasers à ces longueurs d'onde sont disponibles), qui sera couplé avec le signal à transmettre à l'aide du multiplexeur, celui-ci doit présenter une perte d'insertion faible aux deux longueurs d'onde afin d'optimiser le rendement optique du système. Il est nécessaire de placer deux isolateurs, l'un à l'entrée et l'autre à la sortie afin que le dispositif n'engendre pas un effet LASER.

c) Caractéristiques :

- ❖ Un gain se situant dans la fourchette 25 à 45 dB
- ❖ Puissances de saturation allant de 1 à 10 mW (0 à 10 dBm).
- ❖ Le gain diminue avec la puissance d'entrée du signal, alors qu'il augmente avec la puissance de pompe.
- ❖ Le rendement, défini comme le rapport du gain (dB) à la puissance de pompe injectée dans la fibre (en mW).

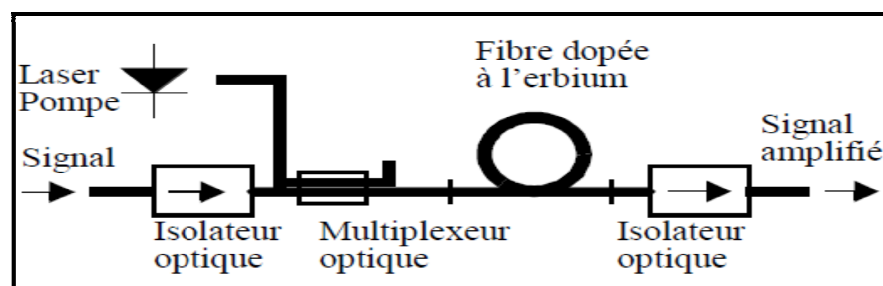


Figure 2.9 : Amplificateur optique à fibre dopée d'erbium.

2) Amplificateur optique à semi-conducteurs :

a) Description :

Sont à base des LAZERS à semi-conducteurs, qui n'ont pas de miroirs aux extrémités, mais ils ont un revêtement antireflet dans le but de diminuer les réflexions de la lumière vers l'intérieur du circuit. De plus ils sont traversés par une lumière fournie par une source externe.

b) Fonctionnement :

La lumière incidente entre dans le circuit, elle est amplifiée, puis elle sort par l'autre bout pour être couplée dans la fibre. Idéalement, il n'y a pas de réflexion du signal vers l'amplificateur. Les pertes de couplage du faisceau incident dans l'amplificateur sont très élevées, car le diamètre du faisceau est supérieur à l'épaisseur de la couche active. En plus, le gain de l'amplificateur dépend de la polarisation de la lumière incidente.

c) Caractéristiques :

- ❖ Un gain élevé (jusqu'à 30 dB) selon le semi-conducteur, la longueur d'onde, le courant injecté et la puissance du signal incident.
- ❖ Une puissance de saturation en sortie autour de 5 - 10 mW.
- ❖ Une bande passante optique, de l'ordre de 5 THz (soit environ 40 nm autour de 1550 nm).
- ❖ Les pertes de couplage du faisceau incident dans l'amplificateur sont élevées, en raison de la supériorité du diamètre du faisceau sur l'épaisseur de la couche active du semi-conducteur.

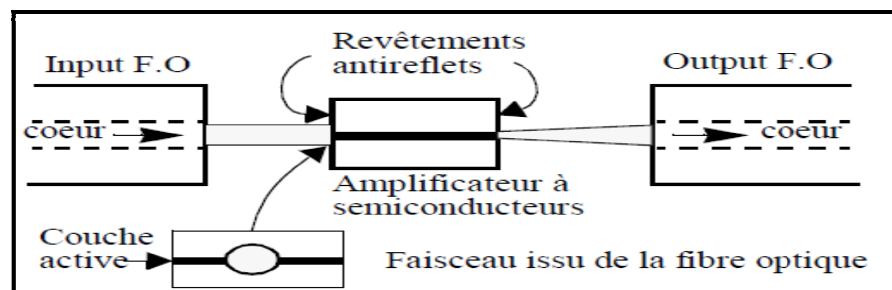


Figure 2.10 : Amplificateur optique à semi-conducteurs.

3) Amplificateur de Raman :

a) Fonctionnement :

Il est basé sur l'utilisation d'un laser émettant un signal de forte puissance dont la direction et la longueur d'onde sont choisies, qui permet de provoquer les transferts d'énergie et conduit à la réalisation d'amplificateurs

b) Caractéristiques :

- ❖ Le gain peut atteindre quelques dizaines de décibels
- ❖ une saturation qui s'accompagne d'une forte dégradation du rapport signal sur bruit (l'émission spontanée continuant à être amplifiée) peut apparaître.
- ❖ La limite en puissance est due à la génération d'une onde autre que l'onde signal lors de la diffusion Raman.

2 - 2 - Le multiplexage [4.T] [11.T] :

Les fibres optiques possèdent, dans la fenêtre spectrale généralement utilisée, une bande utilisable très importante (environ 15 THz autour de la longueur d'onde 1,55 μm).

Aujourd'hui le nombre et la taille des informations échangées sont de plus en plus importants et pour les transmettre il faut utiliser des canaux à débits extrêmement élevés, qui n'existent pas réellement. C'est pourquoi diverses solutions ont été imaginées pour profiter des capacités de la fibre optique et donc augmenter le transfert d'informations sur un même canal. Dans la plupart des cas, le principe reste identique : utiliser N signaux au débit D équivalent en termes de capacité à un signal au débit $N \cdot D$, irréalisable à l'heure actuelle. C'est ce qu'on appelle le multiplexage

2 - 2 - 1 - Le multiplexage temporel (TDM) :

Le multiplexage TDM (Time Division Multiplexing, multiplexage à répartition temporelle (MRT)) consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant, ceci 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.

Un intervalle de temps fixe (IT) est successivement assigné à une source.

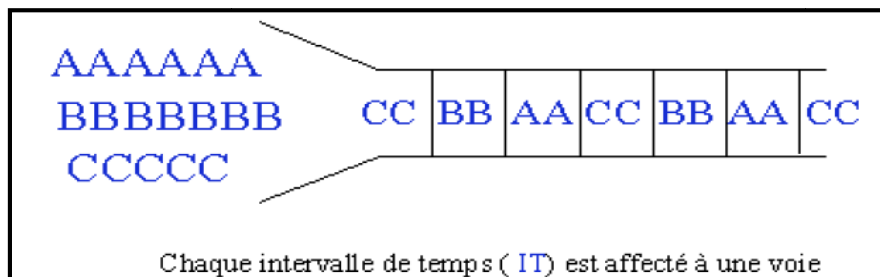


Figure 2.11 : Répartition des périodes dans le cas de multiplexage TDM.

2 - 2 - 2 - Le multiplexage en longueur d'onde (WDM) :

a) Principe :

Le multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing, WDM), consiste à envoyer dans une seule fibre N porteuses optiques à différentes longueurs d'onde transmettant chacune un débit. Ce n'est plus l'axe du temps qui est découpé en périodes pour chaque utilisateur mais la bande passante qui est découpée en sous-bandes et chaque sous-bande est affectée à une voie. 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).

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.

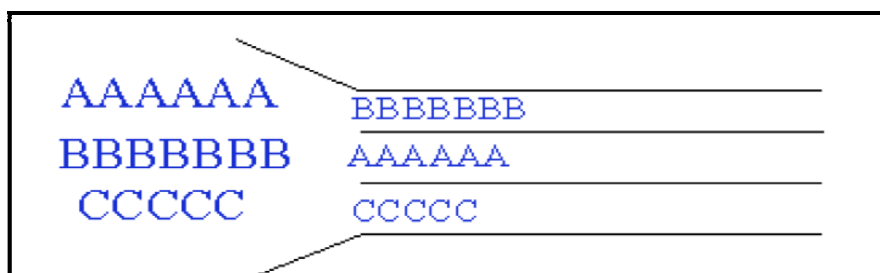


Figure 2.12 : Répartition des sous-bandes dans le cas de multiplexage WDM.

2 - 2 - 3 - Le multiplexage en longueur d'onde combiné au multiplexage temporel :

Il est à noter que rien n'empêche à chaque signal de modulation d'une diode laser issu d'une étape de multiplexage temporel dans le domaine électronique, d'être ensuite multiplexé avec d'autres signaux à d'autres longueurs d'onde. Associer TDM et WDM est d'ailleurs la situation la plus fréquente. Dans ce cas, après démultiplexage optique et photo-détection, une étape de démultiplexage temporel permet la restitution des signaux temporels (bas débit).

2 - 3 - Usage de fibres compensatrices [5.L] [12.T] [13.T] [11.T] :

2 - 3 - 1 - Fibres à réseaux de Bragg compensatrices de dispersion (DCF) :

Une des solutions au problème de la dispersion est l'utilisation des réseaux de Bragg. Un réseau de Bragg présente une périodicité de modulation de l'indice du cœur qui diminue progressivement le long de la fibre. Ainsi, différentes longueurs d'onde sont réfléchies par le réseau à différents endroits: les premières arrivées doivent traverser tout le réseau avant d'être réfléchies, tandis que les dernières sont directement réfléchies permettant ainsi de comprimer l'impulsion initialement étalée. Il est considéré comme un filtre sélectif en longueur d'onde.

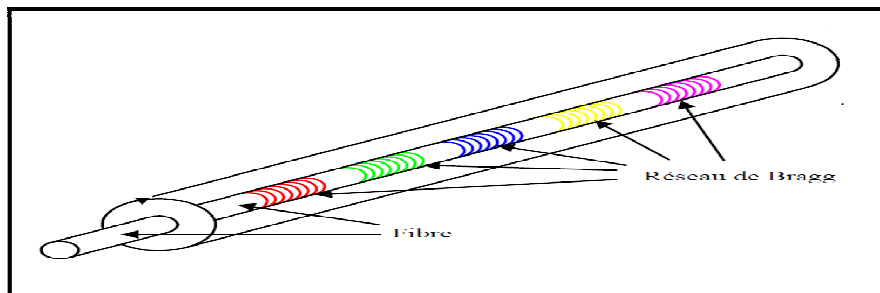


Figure 2.13 : Fibre à réseau de Bragg.

2 - 3 - 2 - Fibres compensatrices de dispersion chromatique:

Ce sont des fibres qui sont conçues pour avoir de fortes dispersions négatives (très faible) grâce à des modifications de leurs paramètres opto-géométriques. Comme les fibres optiques à deux cœurs concentriques, caractérisées par un profil d'indice de réfraction particulier d'où, elles présentent un cœur central de faible rayon, dont l'indice de réfraction est important, et un cœur externe plus large entourant le premier et d'indice beaucoup plus faible.

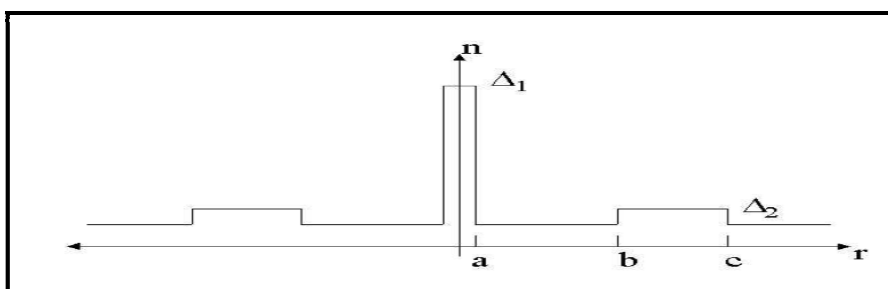


Figure 2.14 : Profil d'indice d'une fibre à deux cœurs.

2 - 3 - 3 - Fibres compensatrices de dispersion de polarisation :

Deux types de fibres de maintien de polarisation sont utilisés, qui ont une forte biréfringence, et ne guident qu'une seule polarisation, donc elles peuvent contrôler la polarisation au cours de la transmission.

- 1) **Fibre à contrainte interne :** le cœur de cette fibre est soumis à une contrainte asymétrique, entraînant par la suite une asymétrie du profil d'indice. Ceci est réalisé en introduisant des régions à fort dopage autour du cœur (comme la fibre banda).
- 2) **Fibre à cœur non circulaire :** les caractéristiques de guidage du cœur de cette fibre sont modifiées par l'altération de sa géométrie, en cassant sa symétrie circulaire (la fibre à cœur elliptique).

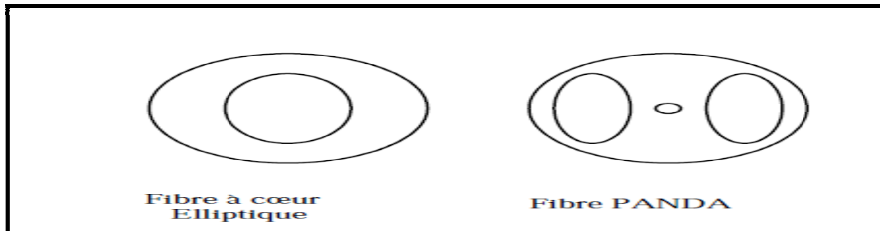


Figure 2.15 : Sections de deux fibres compensatrices de polarisation.

- ❖ On peut aussi compenser les pertes de polarisation par un traitement électrique du signal, en utilisant un système électrique, qui peut capter le signal et après analyse, il va émettre le signal comme à son origine.

2 - 4 - Réduction de l'absorption des hydroxyles OH :

La diminution de la concentration en groupement d'hydroxyle peut être obtenue par une purification des matériaux de la fibre. Cette diminution peut être également réalisée par un échange hydrogène-deutérium. Dans le premier cas, il est possible d'obtenir des concentrations conduisant à des atténuations de 3.2 dB/km à 1390 nm. La réaction d'échange hydrogène-deutérium consiste, quant-à-elle, à supprimer les bandes d'absorption des groupements hydroxyle en le remplaçant par celle des groupements O-D. ceci permet d'obtenir des atténuations d'ordre de 1.5dB/km. La réaction d'échange s'effectue dans une atmosphère de deutérium à des températures élevées (>150°C).

3 - protection des liaisons optique [6.L] [7.L] :

Le tableau suivant résume quelques techniques utilisées pour la protection des liaisons optiques :

| Types de protection | Techniques utilisées |
|------------------------------------|--|
| Contre les vibrations | La mise des composants en boîtier |
| | Le collage |
| Contre les poussières | Le nettoyage préalable de la fibre |
| | ----- |
| Contre les fluctuations thermiques | L'isolation |
| | Modules Peltier sur le LASER |
| Contre les signaux parasites | Blindage type cage de Faraday |
| | Filtrage des alimentations par capacités de découplage |

Tableau 2.1 : Quelques techniques utilisées pour la protection des liaisons optiques.

Conclusion :

On a vu dans ce chapitre les trois blocs, que comporte la chaîne de télécommunication optique et on a présenté l'essentiel sur les éléments de chaque bloc.

Ce chapitre nous a permis de tirer des conclusions sur la démarche à mettre en œuvre pour la réalisation d'une liaison par fibre optique d'où :

L'atténuation de la fibre doit être compensée périodiquement par des amplificateurs optiques (AOSC, EDFA), la dispersion chromatique doit être également compensée par (réseau de Bragg, fibre à deux cœurs concentriques) ainsi que les effets non linéaires.

D'autres techniques, telles que le multiplexage sont mises en œuvre pour augmenter le débit dans une liaison optique et améliorer la qualité de service, ainsi que la conception de nouvelles fibres pour la compensation de la dispersion de polarisation.

CHAPITRE 3 :

SIMULATION.

Introduction :

Pour mieux choisir les composants d'une chaîne de télécommunication optique, on a besoin de calculer le bilan de la liaison optique.

1 - Calcul Du Bilan d'une Liaison optique [5.L] [1.W] [2.W] :**1 - 1 - Présentation d'une liaison par fibre optique :**

Une liaison par fibre optique est constituée généralement d'une source lumineuse (DL ou DEL) qui convertit le signal électrique en signal lumineux. Ce signal injecté dans une fibre (SI ou GI) se propage avec certaine atténuation et une certaine dispersion. A la sortie de la fibre, le signal optique est converti en un signal électrique à l'aide d'un photo-détecteur (PIN ou APD).

1 - 2 - Les exigences à prendre en considération pour calculer la liaison optique :

- ❖ Le type du signal à transmettre (analogique ou numérique).
- ❖ La quantité d'information à transmettre (largeur de la bande passante pour un système analogique ou le débit binaire pour un système numérique).
- ❖ La longueur de la liaison.
- ❖ La qualité du signal à récupérer à l'arrivée (rapport signal sur le bruit pour une transmission analogique et le taux d'erreur sur les bits pour la transmission numérique).

1 - 3 - Calcul du bilan de la liaison optique :

Le calcul du bilan de la liaison optique se résume dans le calcul du bilan énergétique et du bilan de la bande passante de la liaison.

1 - 3 - 1 - Le calcul des différents temps de monter de la liaison :**1 - 3 - 1 - 1 - Temps de monté total de système :**

$$T_T = 1.1[T_{SO}^2 + T_{FO}^2 + T_{DO}^2]^{1/2}$$

D'où :

T_{SO} : Temps de monté de la source.

T_{FO} : Temps de monté de la fibre.

T_{DO} : Temps de monté de détecteur.

a) Temps de monté de la source (photoémetteur).

Le tableau suivant résume les différentes plages du temps de montés et de fréquences de deux types de photoémetteurs.

| Les photoémetteurs | Les plages du temps | Les plages de fréquences |
|--------------------|--|---|
| LED | $7_{\text{ns}} \leq T_{SO} \leq 70_{\text{ns}}$ | $5 \text{ Mhz} \leq B_p \leq 50 \text{ Mhz}$ |
| LASER | $350_{\text{ps}} \leq T_{SO} \leq 2_{\text{ns}}$ | $200 \text{ Mhz} \leq B_p \leq 1 \text{ Ghz}$ |

Tableau 3.1 : les différentes plages du temps de montés et de fréquences de deux types de photoémetteurs.

b) Temps de monté de récepteur (photorécepteur).

$$T_{DO} = 1.1 \sqrt{T_C^2 + T_{Tr}^2}$$

$T_C = 2.2 R_S \cdot C$ (Temps dû à la capacité du photorécepteur).

$T_{Tr} = \frac{0.35}{f_c}$ (Temps de transit des porteurs de fréquence de coupure f_c).

c) Temps de monté de la fibre.

$$T_{FO} = 1.1 \sqrt{T_{DM}^2 + T_{DC}^2}$$

T_{DM} : La dispersion modale :

❖ Pour une fibre optique à saut d'indice : $T_{DM} = \frac{n_1}{c} \Delta L$

❖ Pour une fibre optique à gradient d'indice : $T_{DM} = \frac{n_1}{8.c} \Delta^2 L$

T_{DC} : La dispersion chromatique qui est donnée par:

$$T_{DC} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \frac{1}{c} \left[\lambda_0^2 \left(\frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} \right) \right] L$$

1 - 3 - 2 - Le calcul du bilan de la bande passante de la liaison optique :

La connaissance du temps de monté total de système nous permet de calculer la bande passante de la liaison qui est donnée par :

$$B_{PL} = \frac{1}{T_T} \text{ en Hz}$$

Selon le bilan de la bande passante, on cherche à ce que le temps de monté total du système soit inférieur ou égal au temps de monté du signal à transmettre, qui est donné par la formule suivante : $T_S = \frac{0.35}{B}$ B : c'est la bande pas sante requise. Le bilan de la bande passante nos renseignent si la liaison est capable de transmettre la quantité d'information désirée.

1 - 3 - 3 - Le calcul du bilan énergétique de la liaison optique :

Le calcul du bilan énergétique de la liaison optique, se réside dans la supputation du rapport signal sur le bruit (S/N) pour un système analogique, ou dans l'estimation du taux d'erreur par bit (TEB) pour un système numérique.

1 - 3 - 3 - 1 - Le flux énergétique émis par la source :

❖ Pour un système analogique le flux énergétique est donnée par :

$$P = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{m}{m+1} P_M$$

m : Indice de modulation.

P_M : Le flux énergétique crête émis par la source.

❖ Pour un système numérique flux énergétique est donnée par :

$$P = 0.5 \cdot P_M$$

P_M : Le flux énergétique émis par un état « haut ».

1 - 3 - 3 - 2 - Seuil de détection (P_{OM}) :

❖ Pour un système analogique

1-Dans le cas au le récepteur est une photodiode intrinsèque (PIN) le seuil de détection est donné par :

$$P_{OM} = \frac{2 e B (S/N)}{m^2 S_d} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \pi K T F (C + C_e) m^2}{e^2 (S/N)}} \right]$$

2-Dans le cas au le récepteur est une photodiode à effet d'avalanche (PDA) le seuil de détection est donne par :

$$P_{OM} = \frac{B e^{\frac{1}{1+x}}}{S_d} \left[\frac{2(2+x)}{m^2} (S/N) \right]^{\frac{2+x}{2(1+x)}} \left[\frac{8 \pi K T F (C + C_e)}{x} \right]^{\frac{x}{2(1+x)}}$$

B : La bande passante.

m : Le coefficient de modulation.

F : Facteur de bruit du préamplificateur.

C_e : Capacité d'entrée de préamplificateur.

C : Capacité du photo-détecteur.

S_d : Sensibilité du phot-détecteur.

T : Température en Kelvin.

K : Constante de Boltzman.

x : Coefficient de bruit pour PDA.

e : La charge d'électron.

(S/N) : Le rapport signal sur le bruit.

❖ Pour un système numérique.

1-Dans le cas au le récepteur est une photodiode intrinsèque (PIN) le seuil de détection est exprimé par :

$$P_{OM} = \frac{e Q}{2 S_d} B_r \left[Q + \frac{\sqrt{8 \pi K T F (C + C_e)}}{e} \right] \approx \frac{Q}{S_d} B_r \sqrt{2 \pi K T F (C + C_e)}$$

2-Dans le cas au le récepteur est une photodiode à effet d'avalanche (PDA) le seuil de détection est exprimé par :

$$P_{OM} = \frac{x+1}{2x} \frac{B_r}{S_d} \left[Q^{2+x} e x (8 \pi K T F (C + C_e)^{\frac{x}{2}}) \right]^{\frac{1}{(1+x)}}$$

B_r : Débit binaire.

Q : Coefficient de qualité, relié au taux d'erreur par bit par la fonction suivant :

$$TEB = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) = \frac{\text{nombre de bits erronés}}{\text{nombre de bits reçus}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\left(\frac{S}{N} \right)}{2\sqrt{2}} \right)$$

1 - 3 - 3 - 3 - Les pertes :

Deux types de pertes, qui influent sur le bilan énergétique de la liaison optique, elles sont présentées par :

1) Les pertes dues à l'atténuation de la fibre, données par :

$$A_{(dB)} = \alpha_{(dB/Km)} \cdot L_{Km}$$

α : Coefficient d'atténuation.

L : Longueur de la fibre.

2) Les pertes de couplage, ont comme expression : $D_T = D_S + D_{ON}$

D_S : Pertes de couplage survenues lorsque la surface de la source est supérieure à la surface du cœur de la fibre, d'où $D_S = 10 \log \frac{A_f}{A_s}$

A_s : Surface effective de la source.

A_f : Surface effective de la fibre

D_{ON} : Les rayons qui arrivent sur le cœur avec un angle supérieur à l'angle d'acceptance θ_{ac} sont perdus. Voici ses expressions pour les deux types de fibre.

❖ Pour une fibre optique à saut d'indice

$$D_{ON} = 10 \log[1 - (\cos\theta_{ac})^{m+1}]$$

❖ Pour une fibre optique à gradient d'indice :

$$D_{ON} = 10 \log[1 - (\cos\theta_{ac})^{m+1}] + 10 \log \left(1 - \frac{2}{2 + \phi} \right)$$

A travers le bilan énergétique, on cherche à vérifier si le flux énergétique du signal à la réception soit équivalent ou supérieur au seuil de détection.

$$P_{\text{émise par la source}} - \sum \text{Pertes} \geq P_{OM}$$

$$P_{\text{émise par la source}} - (D_T + A) \geq P_{OM}$$

Si on rajoute une marge de sécurité M qui porte généralement ses valeurs entre 2 à 5 dB, on aura donc :

$$P_{\text{émise par la source}} - (D_T + A + M) \geq P_{OM}$$

2 - Simulation

Dans la partie simulation nous allons établir un simple simulateur du bilan de la liaison optique on se référant aux données théoriques du bilan énergétique d'un système numérique, qu'on a présentées précédemment.

2 - 1 - Présentation d'une interface graphique d'utilisateur (GUI) :

Le simulateur est réalisé à l'aide de l'interface graphique de matlab qui permet de contrôler une application interactivement avec la souris, plutôt que par lancement des commandes au clavier. Il est affiché dans l'éditeur de disposition, qui est le panneau de contrôle pour tous les outils de guide, a la forme d'une fenêtre composée des éléments suivant :

- La barre de titre
- La barre de menu
- La barre d'outils
- La zone de travail qui comprend une zone de disposition et une palette de composants incluant des boutons poussoirs, des boutons de bascule, des boutons radio, des cadres de contrôle, des édites cadres, des cadre de liste, menu, des glisseurs, des trames, gisement des textes, les éléments de menu, menu de contexte, hache, qui sont déplaçables à la zone de disposition et programmables selon les besoins de l'utilisateur

2 - 2 - Comment procéder pour créer une interface graphique d'utilisateur (GUI):

- 1- Un double clique sur l'icône de matlab qui se trouve dans le bureau, permet d'ouvrir l'espace de travail de matlab.
- 2- Dans l'espace de travail matlab on écrit la commande guide puis on clique sur entrée ↵, ou on va directement sur l'icône guide situé dans barre d'outils d'espace de travail, avec un simple clique, une petite fenêtre s'ouvre porte le nom Guide Quick start, qui fournit des descripteurs pour plusieurs types de base de GUI.

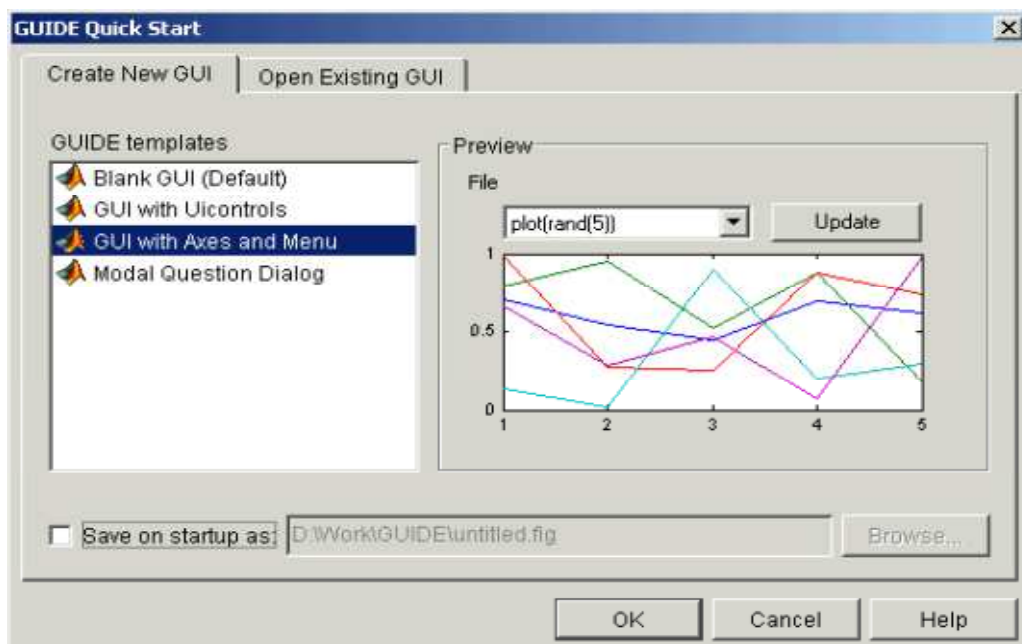


Figure 3.1 : Guide quick start.

- 3- Une fois que le Guide Quik start est ouvert on sélectionne Blanc GUI (Default) puis on clique sur OK, un éditeur de disposition s'affiche à l'écran.

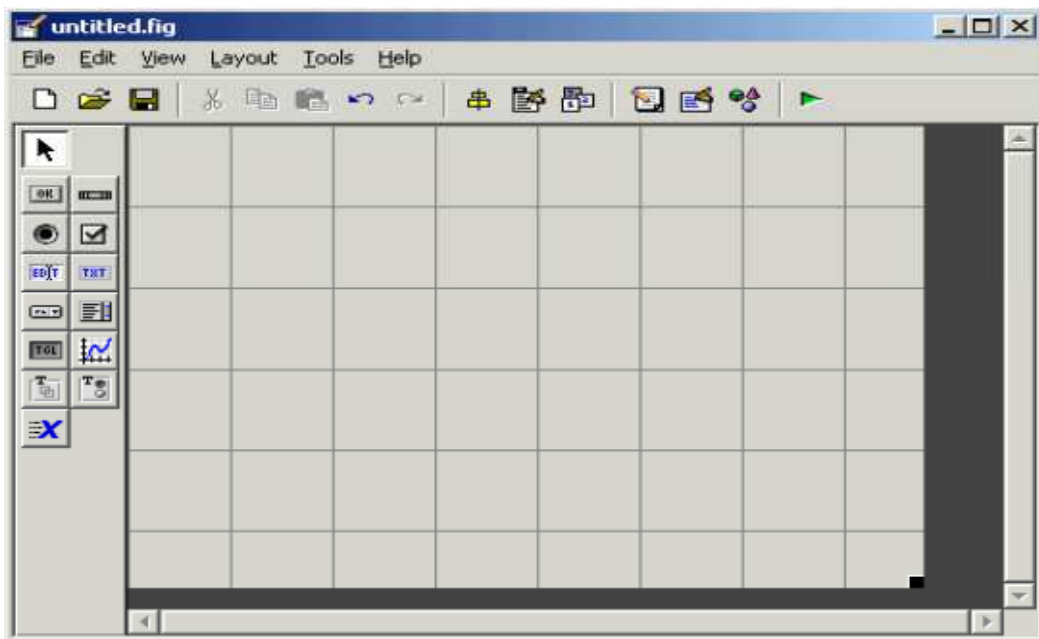


Figure 3.2 : L'éditeur de disposition.

- 4- Lorsque l'éditeur de disposition est apparu, on peut présenter notre GUI, en trainant les éléments de la palette de composants vers la zone de disposition, des fonctions seront créées automatiquement pour chaque élément dans un fichier script de matlab.
- 5- Une fois que la présentation de GUI est terminée on procède au paramétrage et à la programmation des composants de GUI.

2 - 3 - Simulation :

2 - 3 -1 - Les énoncés de la simulation :

On va faire notre simulation sur un système numérique de transmission par fibre optique fonctionnant à 565 Mbit/s utilisant les équipements suivants :

Fibre optique monomode (10/125) :

- Diamètre du cœur : $a_c = 10 \mu\text{m}$.
- Diamètre de la gaine : $a_g = 125 \mu\text{m}$.
- Indice de réfraction du cœur : $n_c = 1,48$.
- Indice de réfraction de la gaine : $n_g = 1.46$.
- Atténuation linéique : $\alpha_L = 0.4 \text{ dB/Km}$.
- Ouverture numérique de la fibre : $ON = 0,25 \Rightarrow \theta_{ON} = 14,08^\circ$.
- Longueur 50 Km.

Emetteur LASER :

- Puissance émise : $P_E = -2$ dBm.
- Largeur spectrale : $\Delta\lambda = 2$ nm.
- Coefficient de modulation : $m = 22$.

Récepteur à PDA au germanium :

- Puissance minimum reçue : $P_{Rmin} = -38$ dBm.
- Puissance maximum reçue : $P_{Rmax} = -10$ dBm.
- Résistance de la jonction : $R_d = 500$ M Ω .
- Capacité de la jonction : $C = 5$ pF.
- Courant d'obscurité : $I_{ob} = 8$ nA.
- Paramètre du matériau : $x = 0,7$
- Sensibilité : $S_d = 0,61$ (A/W) dépende de type de matériau utilisé.

Amplificateur :

- Facteur du bruit $F = 3$ dB.
- Résistance d'entrée : $R_E = 15$ M Ω .
- Capacité d'entrée : $C_E = 3$ pF.

Autres paramètres :

- Le rapport signal sur le bruit : $S/N = 13,17$ dB.
- Coefficient de qualité relie au taux d'erreur par bit : $Q = 6,585$
- La température 27°
- Marge de sécurité = 5 dB.

On concéder que la surface de la fibre est identique à celle de la source. Et les résultats de la simulation sont les suivant :

Atténuation = 20 dB

Perte de couplage FO_S = 0 dB

Perte de couplage ON = -2.974 dB

Energie émise = -2 dB

Seuil de détections = -38.7661 dB

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF

2 - 3 -2 - Présentation de paramètres :

- * **Coefficient de modulation** : le rapport entre l'amplitude de signal porteur et l'amplitude de signal à transmettre.
- * **Courant d'obscurité** : est le courant fournit par la photodiode à effet d'avalanche, lorsque elle se trouve à l'abri de la lumière.
- * **coefficient de bruit en excès**: c'est paramètre qui dépend du matériau lie à la puissance du bruit quantique, qui est provoquée par les multiplications de porteurs par effet d'avalanche.
- * **Sensibilité** : est le rapport entre le courant fournit par le détecteur et le flux énergétique reçu par lui-même (taux d'énergie transformé en courant).

- * **Facteur du bruit** : il est défini comme la dégradation du rapport du signal sur le bruit entre l'entrée et la sortie de l'amplificateur.
- * **Le rapport signal sur le bruit** : le rapport de la puissance optique de la porteuse sur le bruit à la réception.
- * **Taux d'erreur par bit** : le taux de bits erronés sur le nombre de bits reçus.
- * **Perte de couplage FO_S** : perte de couplage fibre optique-source.
- * **Perte de couplage ON** : perte de couplage due à l'ouverture numérique.
- * **d₅** : prene la chaine de caractères « bilan du système est positif » si cette condition est satisfaite $P_{\text{émise par la source}} - (D_T + A + M) \geq P_{OM}$, si non elle prene la chaine de caractères « bilan du système est négatif »

2 - 3 - 3 - But de la simulation :

Le but de la simulation consiste à étudier l'influence de certains paramètres sur le bilan de la liaison optique.

2 - 3 - 4 - Les paramètres influant sur le bilan énergétique :

a) La longueur de la liaison :

❖ Pour une longueur de : 50 Km.

Atténuation = 20 dB
 Perte de couplage FO_S = 0 dB
 Perte de couplage ON = -2.974 dB
 Energie émise = -2 dB
 Seuil de détections = -38.7661 dB
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF

❖ Pour une longueur de : 86.5 Km.

Atténuation = 34.6 dB
 Perte de couplage FO_S = 0 dB
 Perte de couplage ON = -2.974 dB
 Energie émise = -2 dB
 Seuil de détection = -38.7661 dB
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF

❖ Pour une longueur de : 87 Km.

Atténuation = 34.8 dB
 Perte de couplage FO_S = 0 dB
 Perte de couplage ON = -2.974 dB
 Energie émise = -2 dB
 Seuil de détection = -38.7661 dB
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ **Pour une longueur de : 120 Km.**

Atténuation = 48 dB

Perte de couplage FO_S = 0 dB

Perte de couplage ON = -2.974 dB

Energie émise = -2 dB

Seuil de détection = -38.7661 dB

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF

La longueur de la liaison optique influe sur la qualité du signal transmis, de plus elle est longue l'atténuation augmente et la qualité du signal se dégrade. Dans l'exemple précédent, on aura un bilan énergétique négatif pour les mêmes paramètres à partir d'une longueur autour de 87 Km.

b) La température et de la longueur de la fibre :❖ **Pour T =300 K et L=87 Km.**

On a les résultats précédents

❖ **Pour T =600 K et L=87 Km.**

Atténuation = 34.8 dB

Perte de couplage FO_S = 0 dB

Perte de couplage ON = -2.974 dB

Energie émise = -2 dB

Seuil de détection = -38.589 dB

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF

❖ **Pour T =237 K et L= 87 Km.**

Atténuation = 34.8 dB

Perte de couplage FO_S = 0 dB

Perte de couplage ON = -2.974 dB

Energie émise = -2 dB

Seuil de détection = -38.8263 dB

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF

❖ **Pour T =237 K et L=90 Km**

Atténuation = 36 dB

Perte de couplage FO_S = 0 dB

Perte de couplage ON = -2.974 dB

Energie émise = -2 dB

Seuil de détection = -38.8263 dB

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF

La variation de la température entraîne la variation du seuil de détection, mais elle n'influe pas sur la qualité du signal, sauf dans le cas où la longueur de la liaison prend ses valeurs autour de 87 Km.

d) Le débit binaire :**❖ Pour un débit binaire de 100 Mbit/s.**

Atténuation = 40.8 dB.
Perte de couplage FO_S = 0 dB.
Perte de couplage ON = -2.974 dB.
Energie émise = -2 dB.
Seuil de détection = -39.5182 dB.

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF.

❖ Pour un débit binaire de 492 Mbit/s.

Atténuation = 40.8 dB.
Perte de couplage FO_S = 0 dB.
Perte de couplage ON = -2.974 dB.
Energie émise = -2 dB.
Seuil de détection = -37.8262 dB.

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF.

❖ Pour un débit binaire de 493 Mbit/s.

Atténuation = 40.8 dB.
Perte de couplage FO_S = 0 dB.
Perte de couplage ON = -2.974 dB.
Energie émise = -2 dB.
Seuil de détection = -37.8253 dB.

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF

❖ Pour un débit binaire de 565 Mbit/s.

Atténuation = 34.8 dB
Perte de couplage FO_S = 0 dB
Perte de couplage ON = -2.974 dB
Energie émise = -2 dB
Seuil de détection = -38.7661 dB

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ Pour un débit binaire de 1000 Mbit/s.

Atténuation = 34.8 dB
Perte de couplage FO_S = 0 dB
Perte de couplage ON = -2.974 dB
Energie émise = -2 dB
Seuil de détection = -38.5182 dB

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ Pour un débit binaire de 10000 Mbit/s.

Atténuation = 40.8 dB.
Perte de couplage FO_S = 0 dB.
Perte de couplage ON = -2.974 dB.
Energie émise = -2 dB.
Seuil de détection = -37.5182 dB.

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

L'augmentation du débit binaire provoque la croissance du seuil de détection et vis versa, le baissement du débit binaire engendre la décroissance du seuil de détection et l'amélioration du bilan énergétique dans le cas où la longueur de la liaison prend des valeurs autour de 87 Km.

Dans l'exemple précédent, le bilan devient positif si on utilise un débit qui prend des valeurs inférieures à un débit autour de 492 Mbits/s.

e) La sensibilité de photorécepteur :

❖ **Pour une sensibilité de 0,61 A/W.**

Atténuation = 34.8 dB.

Perte de couplage FO_S = 0 dB.

Perte de couplage ON = -2.974 dB.

Energie émise = -2 dB.

Seuil de détection = -38.7661 dB.

d5 = LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ **Pour une sensibilité de 0,7 A/W.**

Atténuation = 34.8 dB.

Perte de couplage FO_S = 0 dB.

Perte de couplage ON = -2.974 dB.

Energie émise = -2 dB.

Seuil de détection = -38.8259 dB.

d5 = LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ **Pour une sensibilité de 0,71 A/W.**

Atténuation = 34.8 dB.

Perte de couplage FO_S = 0 dB.

Perte de couplage ON = -2.974 dB.

Energie émise = -2 dB.

Seuil de détection = -38.832 dB.

d5 = LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF.

❖ **Pour une sensibilité de 0,8 A/W.**

Atténuation = 34.8 dB

Perte de couplage FO_S = 0 dB

Perte de couplage ON = -2.974 dB

Energie émise = -2 dB

Seuil de détection = -38.8839 dB

d5 = LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF

La longueur de la liaison dépend de la sensibilité du photorécepteur. L'augmentation de la sensibilité de photorécepteur entraîne la diminution du seuil de détection, les signaux atténués sont détectables lorsque le seuil de détection est faible.

Le bilan énergétique est positif à partir d'une sensibilité autour de 0.71 A/W.

e) coefficient de bruit en excès:❖ *Pour un coefficient de bruit en excès de 0,8.*

Atténuation = 34.8 dB.
 Perte de couplage FO_S = 0 dB.
 Perte de couplage ON = -2.974 dB.
 Energie émise = -2 dB.
 Seuil de détection = -35.9985 dB.
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF.

❖ *Pour un coefficient de bruit en excès de 0,7.*

Atténuation = 34.8 dB.
 Perte de couplage FO_S = 0 dB.
 Perte de couplage ON = -2.974 dB.
 Energie émise = -2 dB.
 Seuil de détection = -38.7661 dB.
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ *Pour un coefficient de bruit en excès de 0,6.*

Atténuation = 34.8 dB.
 Perte de couplage FO_S = 0 dB.
 Perte de couplage ON = -2.974 dB.
 Energie émise = -2 dB.
 Seuil de détection = -41.8798 dB.
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF.

❖ *Pour un coefficient de bruit en excès de 0,3.*

Atténuation = 34.8 dB.
 Perte de couplage FO_S = 0 dB.
 Perte de couplage ON = -2.974 dB.
 Energie émise = -2 dB.
 Seuil de détection = -54.1204 dB.
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF.

Dans ce cas on peut augmenter la longueur de la liaison d'environ 38 Km.

L'atténuation du coefficient de bruit en excès provoque l'affaiblissement du seuil de détection, imposant ainsi l'augmentation de la longueur de la liaison.

A partir d'une valeur de coefficient de bruit en excès autour de 0.7, le bilan énergétique de la liaison est positif.

f) Le facteur d'amplification :❖ *Pour un facteur d'amplification de 3dB.*

Atténuation = 34.8 dB.
 Perte de couplage FO_S = 0 dB.
 Perte de couplage ON = -2.974 dB.
 Energie émise = -2 dB.
 Seuil de détection = -38.7661 dB.
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ **Pour un facteur d'amplification de 1dB.**

Atténuation = 34.8 dB.
 Perte de couplage FO_S = 0 dB.
 Perte de couplage ON = -2.974 dB.
 Energie émise = -2 dB.
 Seuil de détection = -39.0468 dB.
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF.

Si on a un facteur d'amplification très faible on va y voir un bilan énergétique positif, donc on peut gagner quelques Kilomètre en longueur de la liaison.

g) Les capacités des éléments photo-électriques :❖ **Pour une capacité totale des composants photo-électriques de 9 pF.**

Atténuation = 34.8 dB.
 Perte de couplage FO_S = 0 dB.
 Perte de couplage ON = -2.974 dB.
 Energie émise = -2 dB.
 Seuil de détection = -38.6191 dB.
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ **Pour une capacité totale des composants photo-électriques de 8 pF.**

Atténuation = 34.8 dB.
 Perte de couplage FO_S = 0 dB.
 Perte de couplage ON = -2.974 dB.
 Energie émise = -2 dB.
 Seuil de détection = -38.7661 dB.
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ **Pour une capacité totale des composants photo-électriques de 7 pF.**

Atténuation = 34.8 dB.
 Perte de couplage FO_S = 0 dB.
 Perte de couplage ON = -2.974 dB.
 Energie émise = -2 dB.
 Seuil de détection = -38.9733 dB.
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ **Pour une capacité totale des composants photo-électriques de 2 pF.**

Atténuation = 34.8 dB.
 Perte de couplage FO_S = 0 dB.
 Perte de couplage ON = -2.974 dB.
 Energie émise = -2 dB.
 Seuil de détection = -40.1498 dB.
 d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF.

On peut y avoir un bilan positif on augmentant la longueur de la liaison, si on minimisant d'avantage les capacités des composants photo-électriques de cette liaison.

Dans l'exemple précédent on aura un bilan positif pour des valeurs inférieures à la valeur de la capacité qui est autour de 8 pF.

h) Le flux énergétique émit par la source :❖ *Pour un flux énergétique émit par la source de - 2dB.*

Atténuation = 34.8 dB.

Perte de couplage FO_S = 0 dB.

Perte de couplage ON = -2.974 dB.

Energie émise = -2 dB.

Seuil de détection = -38.7661 dB.

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ *Pour un flux énergétique émit par la source de 0.5dB.*

Atténuation = 34.8 dB.

Perte de couplage FO_S = 0 dB.

Perte de couplage ON = -2.974 dB.

Energie émise = 0.5 dB.

Seuil de détection = -38.7661 dB.

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF.

Lorsque, on augmente le flux énergétique, il y a une forte chance pour que le signal arrive au détecteur avec une énergie supérieure ou égale au seuil de détections.

i) coefficient de modulation :❖ *Pour un indice de modulation de 22.*

Atténuation = 34.8 dB.

Perte de couplage FO_S = 0 dB.

Perte de couplage ON = -2.974 dB.

Energie émise = -2 dB.

Seuil de détection = -38.7661 dB.

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST NEGATIF.

❖ *Pour un indice de modulation de 19.*

Atténuation = 34.8 dB.

Perte de couplage FO_S = 0 dB.

Perte de couplage ON = -3.4038 dB.

Energie émise = -2 dB.

Seuil de détection = -38.7661 dB.

d5 =LE BILAN DU SYSTEME EST POSITIF.

La diminution de l'indice de modulation abaisse les pertes qui sont dues à l'ouverture numérique, influant ainsi sur le bilan énergétique de la liaison optique.

Conclusion :

Pour réaliser une liaison optique qui transfère de l'information avec une bonne qualité, il est nécessaire de choisir ses composants, en se basant sur leurs paramètres. Il est préférable de choisir des composants qui fournissent un seuil de détection très faible et produire un flux énergétique important.

CONCLUSION GÉNÉRAL

Conclusion Générale

Une liaison de télécommunication par fibre optique requiert trois fonctions fondamentales qui sont respectivement: la génération du signal, la propagation et la détection en réception. Elles sont assurées par les éléments suivant :

L'interface optique d'émission qui a pour le 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. L'interface contient également des circuits d'adaptation et de protection ; il est relié au câble soit par des connecteurs, soit par une fibre amorce qu'il faut raccorder. La modulation est en générale une modulation d'intensité lumineuse obtenue par la modulation du courant qui traverse la diode d'émission.

L'interface optique de réception qui contient une photodiode qui convertit le signal optique reçu en signal électrique. Elle est suivie par un préamplificateur, dont la réalisation doit être soignée car c'est en général le bruit de celui-ci qui limite la puissance optique minimale détectable, et donc la portée de système, on trouve ensuite les circuits de filtrage.

L'interface de transmission qui véhicule les informations entre les deux interfaces précédentes, comporte la fibre optique qui est le support de transmission, regroupée en trois familles ; fibre optique monomode, fibre optique à saut et à gradient d'indice, et pour des liaisons à longues distances, un ou plusieurs répéteurs sont insérés.

Des techniques de multiplexages et d'amplifications sont utilisées dans le but d'améliorer les performances des systèmes de télécommunication optique.

La description des composants qui constituent la liaison optique facilite la modélisation des systèmes de transmission par fibre optique. Toutefois, le nombre de paramètres et leurs influences sur la performance des liaisons optiques rendent la conception assez complexe. On utilise de plus en plus les outils de simulations qui permettent des gains en temps en évitant les expériences itératives.

Références bibliographiques



***** Livres *****

- [1.L] : Polarisation De La Lumière. Serge HUARD P^r à l'école nationale supérieur de physique de Marseille. Masson Paris, Barcelone, Milan, 1994.
- [2.L] : Les Fibres Optiques : Supplément D'électromagnétisme Appliqué, Pierre-André Bélanger, Université Laval, Canada
- [3.L] : Télécommunications Optique. D^r SIDI ALI Mebarrek. Office des publications universitaire, Alger 2001.
- [4.L] : Optique Et Télécommunication. Alain COZANNET ingénieur au C.N.E.T, Henri MAITR maître assistant à E.N.S.T, Jacques FLEURET P^r à E.N.S.T, Michel ROUSSEAU ingénieur à la compagnie lyonnaise de transmission optique. Eyrolles, paris 1983.
- [5.L] : Télécom Sur Fibres Optiques. (2^{ème} édition revue et augmentée), Pierre LECOY Hermès, Paris, 1992, 1997.
- [6.L] : Les Fibres Optiques. Jean Pierre NEROU. Le Griffon D'argile INC.
- [7.L] : Thèmes Actuels En Optique. Maurice FRANCON P^r émérite à l'université Pierre et Marie CURRIE . Masson Paris, New York, Barcelone, Milan, Mexico, Saopaulo 1986.

***** Thèses *****



- [1.T] : Simulation De Systèmes De Télécommunications Par Fibre Optique à 40 Gbits/s Jean-Louis VERNEUIL, université de Limoges, Le vendredi 21 novembre 2003.
- [2.T] : Communications Optique A Très Haut Débit, Jérôme LAURENT, Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris Département STIC, 2004.
- [3.T] : Etude Et Optimisation D'une Chaîne De Transmission Numérique Sur Fibre Optique Nassima BOUDRIOUA, Université Paul Verlaine – Metz, 25 octobre 2007.
- [4.T] : Optimisation D'un Banc De Test Amplifié À 10 Gb/s Pour L'étude Des Technologies Avancées De Transmission Par Fibre optique, FOGNO OUAMBO, Baudelaire, Montréal, Le 15 Janvier 2008.

[5.T] : Etude En Bruit De Systèmes Optiques Hyperfréquences : Modélisation, Caractérisation Et Application à La Métrologie En Bruit De Phase et à La Génération De Fréquence
Houda BRAHIMI, Université Paul Sabatier – Toulouse III, Le 13 octobre 2010.

[6.T] : Propagation Et Caractérisation Des Fibres Optiques, CHERBI (épouse BAZI) LYND,
École nationale polytechnique, Le 18 octobre 2007.

[7.T] : Propagation Non-linéaire D'impulsions Ultracourtes Dans Les Fibres Optiques De Nouvelle Génération, Bertrand KIBLER, Université de Franche-Comté, École doctorale sciences physiques pour l'Ingénieur et microtechniques, le 28 juin 2007.

[8.T] : La Diffusion Brillouin Dans Les Fibres Optiques Microstructures, Jean-Charles BEUGNOT. Université de Franche-Comté, école doctorale Sciences physiques pour l'ingénieur et microtechniques, le 12 Décembre 2007.

[9.T] : Etude De La Diffusion De Brillouin Stimulée Dans La Fibre Monomode Standard Application Aux Capteur De Température Et De Pression, Sébastien Le Floch, Université de Bretagne occidentale, Le 3 Décembre 2001.

[10.T] : Étude Sur L'amplification En Ligne Des Systèmes De Communication Optique
A. Boyoguéno Bendé, M. A. Duguay, P. Fortier Département de génie électrique,
Université Laval, Ste-Foy (Québec) Canada.

[11.T] : Système De Communication Optique À Accès Multiple Par Répartissons De code À Saut Rapide De Fréquence, LOUIS-PATRICK BOULIANNE, Université Laval Québec, NOVEMBRE 2001.

[12.T] : Étude De La Propagation Optique Dans Une Structure De Fibre Optique En Présence De Microdéformations Périodiques, BERKANE DYA, Université de Batna.

[13.T] : Étude Et Caractérisation D'une Fibre Optique Amplificatrice Et Compensatrice De Dispersion chromatique, Julien MAURY, université de limoges,
Le 26 novembre 2003.

***** Sites Web *****



[1.W] : Www.olivier.Sigwarth.free.fr

[2.W] : Www.Labopc.Fesch.fr