N° d'ordre : 490/RS/TCO Année universitaire : 2017 / 2018

UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ANTSIRABE VAKINANKARATRA (IES-AV)

MENTION TELECOMMUNICATION

MEMOIRE

en vue de l'obtention

du diplôme de LICENCE

Domaine : Science de l'Ingénieur

Mention : Télécommunication

Parcours : Réseaux et Systèmes

Par : **ANDRIAMANAMPISOA Ravakiniaina**

ETUDES SUR LA TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE DE LA JIRAMA D'ANTANANARIVO

Soutenu le Mardi 10 avril 2019 devant la commission d'examen composée de :

Président de Jury **:** **M. RANDRIANANDRASANA Marie Emile**

Examinateurs **:**

M. ANDRIANAIVONDRIAKA Nirina Alain

Mme RALAIBOZAKA Tahina Nancy Muriel

Directeur de mémoire : **Mme RAFALINIRINA Haingomalala Sandra**

TENY FISAORANA

Voalohany dia misaotra an'Andriamanitra Lehibe noho ny Fitiavany sy ny Fitahiany izay nanome ahy ny Hery, Tanjaka ary Fahasalamana nahafahako nanatonotosa izao Dingana Lehibe eo amin'ny fianarako izao.

Manarak'izany dia maneho Fisaorana sy Fankasitrahana ihany koa ho anareo Mpanabe sy Tompon'andraikitra rehetra izay nikolo ka nahatontosako izao fanomanana ny boky famaranana ny fianarana izao :

- Atoa RAMANOELINA Panja, Filohan'ny Oniversite an' Antananarivo
- Atoa RAJAONARISON Eddie Franck, Talean'ny IES-AV izay nanaiky nanabe ahy teto amin'ny sekoly niadihadiany nandritra izay telo taona nianarako izay.
- Atoa RANDRIANANDRASANA Marie Emile, Dokotera sady Mpiandraikitra ny sampa-mpampianarana fifandraisan-davitra ao amin'ny Oniversite no sady filohan'ny mpitsara ihany koa.
- Rtoa RAFALINIRINA Haingomalala Sandra, Mpampianatra Mpikaroka izay nanaraka akaiky ny fizotr'izao asa izao sy nanampy tamin'ny lafiny rehetra.
- Rtoa sy Atoa Mpitsara isany izay nanaiky hitsara izao asako izao arakin'ny tokony ho izy :

  Atoa ANDRIANAIVONDRIAKA Nirina Alain, Dokotera amin'ny fifandraisan-davitra
  Rtoa RALAIBOZAKA Tahina Nancy Muriel, Mpampianatra Mpikaroka
- Atoa RANDRIANOAVY Yves, Talen'ny orinasa JIRAMA ao Antananarivo nanaiky nampiofana ahy tao amin'ny Orinasa ka nahafahako nandalina misimisy kokoa ny mikasika ny foto-kevitra ny boky.
- Atoa HERISOA Henri, Tompon'andraikitra ny resaka Tambazotra-mpifandraisana ao amin'ny orianasa JIRAMA, izay niantoka ny fampifiofanana ahy sy nampahafantatra ny mikasika ny foto-kevitra ijoroan'ny boky rehetra.

Isaorako lehibe etoana ireo Ray amandReniko izay niantoka sy nanohana ahy ka nahafahako nahatratra izao tanjona izao.

Tolorana fisaorana manokana ihany koa ireo mpanabe rehetra eto amin'ny Oniversite.

Tsy adino ihany koa ny fianakaviana rehetra amin'ny fanohanana sy fanotronanana.

Ary farany dia tsy hay ny tsy hisotra ireo namana sy tapaka rehetra sy ireo nanaraka akaiky na alavitra tamin'ny fanantontosana izao boky izao.

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à Dieu pour son Amour et sa Bonté, de m'avoir donné la Force et la Santé durant la préparation et la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Je tiens également à adresser mes vifs remerciements aux personnes suivantes sans qui ce travail de mémoire n'aurait pu pas être réalisé :

- Monsieur RAMANOELINA Panja, Président de l'Université d'Anatananarivo
- Monsieu RAJAONARISON Eddie Franck, Maitre de conférence et Directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur Antsirabe Vakinankaratra, de m'avoir accueilli durant mes trois années d'études.
- Monsieur RANDRIANANDRASANA Marie Emile, Docteur et Chef de Département de la mention Télécommunication à l'Institut d'Enseignement Supérieur Antsirabe et Président du jury.
- Madame RAFALINIRINA Haingomalala Sandra, Enseignant Chercheur, sous la direction duquel, ces travaux ont été effectués, pour son aide, sa sympathie, sa pédagogie et son expérience dont elle m'a fait profiter et la confiance qu'elle m'a accordée durant la préparation de ce mémoire.
- Madame et Messieurs les membres de jury, Enseignant au sein du Département Télécommunication qui ont accepté de juger mon travail à sa juste valeur :

  ANDRIANAIVONDRIAKA Nirina Alain, Docteur en télécommunication.

  RALAIBOZAKA Tahina Nancy Muriel, Assistante d'enseignement supérieur et des recherches.
- Monsieur Yves RANDRIANOAVY, Directeur de l'entreprise JIRAMA d'Antananarivo, m'a fait l'honneur d'accepter la réalisation de ce mémoire dans son entreprise.
- Monsieur HERISOA Henri, responsable de département réseau au sein de l'entreprise JIRAMA d'Antananarive qui, malgré ses lourdes responsabilités, m'a toujours prodigué ses conseils et ses critiques constructifs durant l'élaboration de ce travail. Je tiens à lui adresser toutes mes gratitudes.

Mes remerciements vont également à ma très chère famille pour son soutien bienveillant et son encouragement pour ce mémoire, comme toutes en circonstances. Plus particulièrement à mes parents, pour leurs sacrifices durant ces longues années afin que je puisse arriver à ce niveau.

J'exprime aussi toute ma gratitude à tous les Enseignants et les personnels de l'Institut d'Enseignement Supérieur Antsirabe Vakinankaratra en général et ceux du Département Télécommunication en particulier. Sans leurs efforts notre formation n'aurait pas pu atteindre ce stade.

Tous mes remerciements aussi pour les membres de l'entreprise JIRAMA particulièrement aux personnels de la DSI d'Anstahavola qui m'ont beaucoup aidé à la réalisation de ce mémoire. Merci pour leurs disponibilités et leurs dévouements.

Pour terminer, je remercie vivement mes amis et tous ce qui ont contribué de près ou de loin à ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

TENY FISAORANA ..... **i**

REMERCIEMENTS ..... **ii**

TABLE DES MATIERES ..... **iv**

NOTATIONS ET ABREVIATIONS ..... **vii**

LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES ..... **x**

INTRODUCTION GENERALE **1**

CHAPITRE 1 ..... **2**

GENERALITE SUR LA FIBRE OPTIQUE **2**

1.1 Introduction **2**

1.2 Présentation de la fibre optique **2**

1.2.1 Définition **2**

1.2.2 Historique de la fibre optique **3**

1.2.3 Structure de la fibre optique **3**

1.2.4 Les différents types de fibres optiques **4**

1.3 Les phénomènes physiques permettant la transmission de l'information et guidage de la lumière dans une fibre optique **11**

1.3.1 La propagation de la lumière ***11***

1.3.2 Principe de guidage d'un signal dans une fibre optique ***14***

1.4 Le système de transmission sur fibre optique **14**

1.4.1 L'émetteur ***15***

1.4.2 La ligne de transmission ***16***

1.4.3 Le récepteur optique ***16***

1.5 Domaine d'application de la fibre optique **16**

1.5.1 Le domaine des télécommunications ***16***

1.5.2 Dans l'armée ***17***

1.5.3 Autres applications ***17***

1.6 Conclusion **17**

CHAPITRE 2 ..... **18**

LES PROBLEMES ET LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE TRANSMISSION SUR FIBRE OPTIQUE 18

2.1 Introduction 18

2.2 Les différents problèmes de la transmission sur FO 18

2.2.1 Les différentes dispersions 18

2.2.2 Les différentes pertes et atténuations de la fibre optique 21

2.2.3 Les effets de propagation non linéaires 26

2.2.4 Multiplexage en longueur d'onde (WDM : Wavelenght Division Multiplexing) 27

2.2.5 Vieillissement de la fibre 30

2.3 Les caractéristiques techniques de la transmission sur FO 31

2.3.1 Les modulations dans une transmission sur FO 31

2.3.2 La détection 31

2.4 Conclusion 32

CHAPITRE 3 33

SIMULATION D'UNE TRANSMISSION PAR FO : CAS DE LA JIRAMA D'ANTANANARIVO 33

3.1 Introduction 33

3.2 Présentation du MATLAB 33

3.2.1 Démarrer et quitter MATLAB 33

3.2.2 Les espaces de travail 34

3.3 Bilan de liaison par FO 34

3.3.1 Puissance de réception maximale et minimale 35

3.3.2 Atténuation due à la dispersion 35

3.4 Présentation de démarche à suivre 36

3.4.1 Objectifs à l'obtention des résultats 38

3.4.2 Les informations en entrées 38

3.5 Interface de calcul 39

3.6 Etude échantillon fibre de l'entreprise JIRAMA 41

3.7 Les avantages et les inconvénients de la transmission optique 44

3.7.1 Les avantages 44

3.7.2 Les inconvénients 45

3.8 Conclusion 46

CONCLUSION GENERALE **47**
ANNEXES **48**
A1.1 - L'épisurage **48**
A1.2 - L'utilisation des connecteurs **48**
A1.3 - Appareil de mesure pour le raccordement **49**
A2.1 Présentation générale de la société JIRAMA **51**
A2.2 Présentation de la Direction des Systèmes d'Information **52**
REFERENCES **55**
FICHE DE RENSEIGNEMENTS **57**
FAMINTINANA **58**
RESUME **58**

NOTATIONS ET ABREVIATIONS

1. Minuscules latines

C	Célérité de la lumière
G	Paramètre arbitraire positif du profil d'indice
Nm	Nanomètre
$n_1 \; et \; n_2$	Angle incidence
r	Angle de réfraction
S	Seconde
Ps	Picoseconde
v	Paramètre de fréquence normalisé
µm	Micromètre

2. majuscules latines

A	Atténuation
$\boldsymbol{A_{totale}}$	Atténuation totale
$\boldsymbol{A_{absorption}}$	Atténuation d'absorption
$\boldsymbol{A_{dispersion}}$	Atténuation dû à la dispersion
$\boldsymbol{B_{el}}$	Bande électrique
$\boldsymbol{B_{opt}}$	Bande optique
E	Champ électrique
DL	Diode laser
DEL	Diode électroluminescente
Dm	Dispersion matériaux
Dg	Dispersion de guide
F	Fréquence

Fc	Fréquence de coupure
Gbits	Gigabits
N	Nombre de modes
Mbits	Mégabits
Ms	Marge de sécurité
PMD	Polarization mode dispersion
Pin	Puissance d'entrée
Pout	Puissance de sortie
$\boldsymbol{P_{épissure}}$	Perte par épissure
$\boldsymbol{P_{connecteur}}$	Perte par connecteur
R	Rayon de courbure
$\boldsymbol{R_c}$	Rayon de critique
V	Vitesse de propagation des modes dans le cœur de la fibre

2. Minuscules grecques

δ	Débit nominale
Λ	Longueur d'onde
$\boldsymbol{\theta_1}$	Angle d'incidence
$\boldsymbol{\theta_2}$	Angle de réflexion

3. Notations spéciale

$\boldsymbol{\lvert E^2 \rvert}$	Module de champ électrique au carré
$\boldsymbol{\frac{10^{-20}m^2}{w}}$	Ordre de valeur d'indice non linéaire
Log	Logarithme à base 10
Sin	Sinus

Sin_{ilim}	Angle d'incidence limite

4. Abréviations

APD	Avalanche Photodiode
CTL	Câble à tube central
CWDM	Coarse wavelength Division Multiplexing
dB	Décibel
DWDM	Dense wavelength Division Multiplexing
DEL	Diode Eléctroluminescente
FO	Fibre optique
FSI	Fibre multimode à saut d'indice
FGI	Fibre monomode à gradient d'indice
FDM	Frequency Division Multiplexing
Gbits	Gigabits
MTL	Câble multitube
MATLAB	MatrixLaboratory
ON	Ouverture numérique
PIN	Positive Intrinsec Negative
PMD	Polarization Modale Dispersion
Ps	Picoseconde
UIT-T	Union internationale de la Télécommunication
WDN	Wavelength Division Multiplexing
WAN	Wide Area Network

LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES

1. Liste des tableaux

Tableau 1.01 : Comparaison entre les deux types de fibres ..... Error! Bookmark not defined.

Tableau 1.02 : Quelques caractéristiques de fibre optique de transmission 10

Tableau 2.01 : Caractéristiques des modes WDM 30

2. Liste des figures

Figure 1.01 : Fibre optique 2
Figure 1.02 : Structure de la fibre optique 3
Figure 1.03 : Fibre multimode à saut d'indice 6
Figure 1.04 : Phénomène de DISPERTION INTERMODALE 6
Figure 1.05 : Fibre multimode à gradient d'indice 7
Figure 1.06 : Fibre monomode 8
Figure 1.07 : Phénomène de réflexion 11
Figure 1.08 : Phénomène de réfraction 12
Figure 1.09 : Réflexion et réfraction d'un rayon lumineux 13
Figure 1.10 : Condition de guidage de rayon lumineux 14
Figure 1.11 : Schéma synoptique d'une liaison optique 14
Figure 1.12 : Emetteur optique 15
Figure 2.01 : Dispersion intermodale 19
Figure 2.02 : Dispersion matériau en fonction de la longueur d'onde 20
Figure 2.03 : Dispersion chromatique 20
Figure 2.04 : Les différentes pertes dans la fibre optique 21
Figure 2.05 : Perte par absorption moléculaire du verre 22
Figure 2.06 : Perte de couplage dû à la séparation longitudinale 23
Figure 2.07 : Perte de couplage dû au désalignement radial 23
Figure 2.08 : Perte de couplage dû au désalignement angulaire 24
Figure 2.09 : Diffusion de Rayleigh 25
Figure 2.10 : Principe de multiplexage en longueur d'onde 28
Figure 2.11 : Dense WDM 29

Figure 2.12 : Coarse DWM 29
Figure 3.01 : Interface d'accueil 39
Figure 3.02 : Interface de calcul de la caractéristique de la fibre 40
Figure 3.03 : Interface de calcul des équipements utilisés 42
Figure 3.04 : Interface de calcul des équipements utilisés 44
Figure 3.05 : Interface de calcul des équipements utilisés 44
Figure 3.06 : Dispersion chromatique en fonction de la largeur spectrale 43

INTRODUCTION GENERALE

Depuis la nuit des temps, les hommes ont toujours cherché à communiquer à distance. Des techniques diverses jalonnent le long parcours des inventions et les développements des réseaux de télécommunication ne cessent de se croître. De sa naissance à nos jours, l'évolution de ce support physique est impressionnante, poussée sans cesse par la demande des applications requérant des ressources de plus en plus élevée en terme de bande passante.

Actuellement nous entendons beaucoup parler de fibres optiques. Elle fait partie intégrante de nos réseaux de télécommunication et de nos réseaux informatiques. Avec l'utilisation de fibre optique, on arrive désormais à des systèmes de transmission de plus en plus performants, atteignant jusqu'à plusieurs kilomètres de longueurs et assure un débit bien plus élevé, tout en ayant une faible atténuation.
Le rapport de cette étude présente l'architecture et la performance de la transmission par fibre optique dans la grande entreprise d'eau et d'électricité de Madagascar.

Ce mémoire de fin d'étude prend comme thème «ETUDES SUR LA TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE DE LA JIRAMA D'ANTANANARIVO» et son contenue se divise en trois grands chapitres. Dans le premier chapitre, nous débuterons le manuscrit par les généralités sur la fibre optique. Nous décrirons tous ce qui concerne la fibre, sa structure et ces techniques de transmission, ainsi que les différents types de fibre. Nous aborderons de même le système de transmission sur fibre optique et à la fin de ce chapitre, nous parlerons les applications de la fibre optique dans plusieurs domaines.

Dans le deuxième chapitre, on abordera les différents problèmes de la transmission sur fibre optique. Nous allons consacrés ce chapitre pour parler des différentes pertes causées par la FO ainsi que les toutes les effets qui peuvent interrompre la transmission.

Le dernier chapitre consiste à la simulation d'une transmission par FO dans le cas de l'entreprise d'eau et d'électricité malgache d'Antananarivo. En fin, nous terminerons par une conclusion.

CHAPITRE 1
GENERALITE SUR LA FIBRE OPTIQUE

1.1 Introduction

L'apparition de la FO (fibre optique) a totalement révolutionné le monde des télécommunications. La conception de système de transmission à très grande capacité est désormais possible. De plus, les échanges à travers ces systèmes vont être de plus en plus nombreux et la demande de services de plus en plus élevée.

Il en résulte donc un bouleversement des réseaux de télécommunication précèdent et un besoin de mettre en place de nouvelles structures.

1.2 Présentation de la fibre optique

1.2.1 Définition

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission des données et de lumière. Face à des câbles coaxiaux, la fibre optique peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel transit aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques. La grande majorité des fibres optiques sont construites à base de silice et c'est la plus utilisée en télécommunication car elles possèdent les meilleures caractéristiques pour la transmission de signaux lumineux. [1.01]

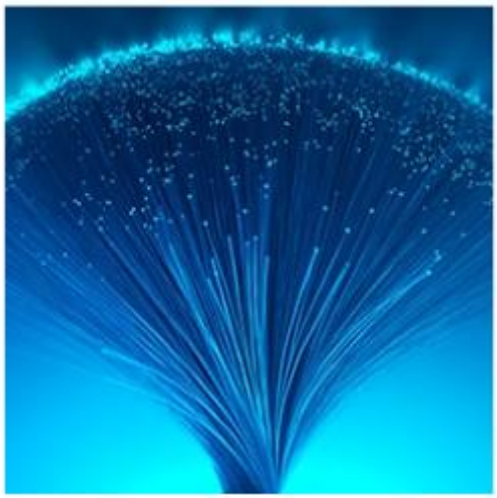

Figure 1.01 : *Fibre optique*

1.2.2 Historique de la fibre optique

Le développement de la FO fût très abordé par différent chercheurs dès le début de 20ème siècle. Nombreux sont les précurseurs mais la première utilisation dans le domaine des télécommunications est attribuée par Alexander Graham Bell ; l'homme qui a inventé le téléphone. C'est en 1927 que l'avènement de la fibre optique arrive avec le duo chercheur Baird et Hansell. Ils ont essayé d'acheminer des images de télévision via les fibres optiques. Puis Heinrich Lamm fut la première personne à transmettre l'image d'un filament d'ampoule dans un faisceau de fibres de quartz en 1930. Son but était de réussir à observer des parties du corps jusqu'à lors inaccessibles. [1.02]

En 1956, Curtis a fabriqué les premiers faisceaux de fibres de verre conduisant la lumière, ensuite les laboratoires Bell a développé le processus de déposition en phase vapeur modifiée en 1973 qui est toujours utilisé aujourd'hui pour fabriquer les fibres optiques.

Pour les télécommunications, la pleine exploitation de la fibre fût rendue possible par l'invention du laser. Ce dernier avait l'avantage de transmettre un signal sans perte sur une grande distance. Charles Kao et George Hockman a attribué la première transmission de donnée avec la FO en 1966. Cependant, les pertes dans cette fibre optique étaient telles que le signal disparaissait au bout de quelques centimètres, non par perte de lumière, mais parce que les différents chemins de réflexion du signal contre les parois finissaient par en faire perdre la phase. [1.02]

1.2.3 Structure de la fibre optique

La fibre optique est constituée de 3 éléments comme montre la figure ci-dessous : [1.03]

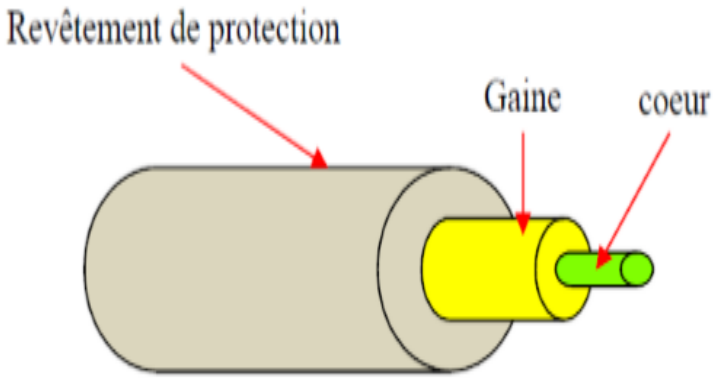

Figure 1.02 : *Structure de la fibre optique*

Le revêtement de protection : c'est une couche plastique qui entoure la fibre optique pour la renforcer, elle aide a absorbé les chocs et permet une protection complémentaire contre des courbures excessives. [1.03]

La gaine : c'est une couche de verre qui entoure le cœur et qui assure sa protection.

Elle est généralement de couleur orange, certains types présentent des couleurs noire ou jaune.

Le cœur : c'est dans cette zone, constituée de verre, que la lumière est guidée et se propage le long De la fibre. [1.03]

Mais il existe différentes structures de câbles optiques qui dépendent comme choix à leur utilisation : [1.04]

-Les câbles à tube central ou CLT : les CTL sont destinés aux applications en intérieur ou extérieur ou seulement en extérieur directement enfouis, dans des conduits ou sur des supports de câblages extérieurs. Elles bénéficient désormais d'une mèche dilatable et longitudinale qui garantit l'étanchéité.

-Les câbles multitubes ou MLT : ils sont destinés à des applications à enfouissement direct ; en conduit, sur support de câblage extérieur aérien. Les modèles standards et supérieurs avec protection contre les rongeurs peuvent contenir jusqu'à 216 fibres.

-Les câbles ruban à tube centrale : l'avantage de ce type de table est de pouvoir souder simultanément la totalité des fibres d'un même ruban. Elle comporte n fibre les unes à côté des autres dans un m rubans dans un tube central.

1.2.4 Différents types de fibres optiques

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée. Il existe deux types de FO :

- les fibres optiques multimodes
- les fibres optiques monomodes

Un mode, c'est un rayon lumineux se propageant au sein du cœur. A certaines longueurs d'onde (850 et 1300 nm) et avec certaines dimensions du cœur (50 et 62,5 µm) plusieurs rayons lumineux traversent la fibre qui porte alors le nom de multimode et à l'inverse, une fibre monomode n'autorise la propagation que d'un seul rayon lumineux.

Seuls les rayons émis contenus dans le cône d'entrée précis, appelé encore cône d'acceptante ou ouverture numérique, peuvent entrer dans la fibre. En d'autre terme, plus le rayon du cœur de la fibre est grand, plus l'ouverture numérique s'élargit et le nombre de rayon lumineux entrant dans la

fibre augmente. Il est préférable d'utilisé une fibre dont le diamètre du cœur est très petit car l'angle d'incidence diminue et le signal de sortie ressemble de plus en plus au signal d'entrée. Le mot « mode » désigne, en général, le nombre de chemin empruntable par les rayons lumineux, mais des fois un rayon lumineux proprement dit. Le guidage de mode varie avec la longueur d'onde.

L'ouverture numérique est définie par la relation suivante :

$$ON = \sin(\theta_0)\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \tag{1.01}$$

1.2.4.1 Fibre multimode

La fibre multimode propage la lumière suivant plusieurs modes c'est-à-dire qu'elle peut suivre plusieurs trajets à l'intérieur du cœur. Le rayon lumineux se propage au sein du cœur à certaine dimension longueurs d'ondes (850 et 1300 nm) et avec certaines dimensions du cœur (50 et 6,25 µm) plusieurs rayons lumineux traversent alors la fibre.

$$N = \left(\frac{v^2}{2}\right) * \left(\frac{g}{g+2}\right) \tag{1.02}$$

v est le paramètre de fréquence normalisé

g est le paramètre arbitraire positif du profil d'indice

a. Fibre multimode à saut d'indice (FSI)

Lorsque l'indice de réfraction du cœur ne varie pas, on parle de profil à saut d'indice et le rayons lumineux ne subit aucune déviation dans le cœur. Son trajet est dévié au niveau de l'interface cœur-gaine là ou l'indice de réfraction change de valeur.

Ces indices sont peu différents et doivent être de l'ordre de 1,5 et le diamètre de son cœur est entre 4 à 100µ et la gaine optique est de 125µm.

Le cœur et la gaine de la fibre multimode à saut d'indice présentent des indices de réfraction différents et constants.

De plus les faisceaux lumineux injectée à l'entrée de la fibre va atteindre la sortie en empruntant des chemins différents ce qui se traduit par des différents propagations des temps et un étalement du signal transmis.

Le passage d'un milieu à un autre est caractérisé par un saut d'indice.

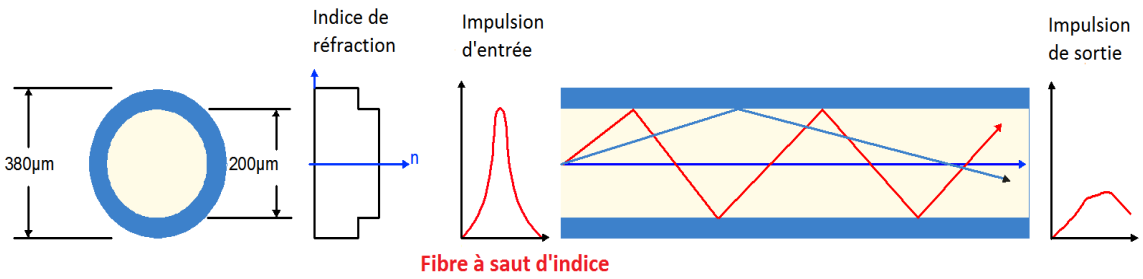

Figure 1.03 : *Fibre multimode à saut d'indice*

La figure ci-dessus montre le diamètre du cœur et la taille de la gaine optique d'une fibre optique à saut d'indice. On voit aussi l'impulsion d'entrée et celle de la sortie ainsi que la propagation du rayon lumineux.

Ce type de profil est peu performants pour les transmissions à haut débit car les rayons lumineux qui s'y propagent suivent des trajets forts différents les uns des autres et se déplacent à différentes vitesses en fonction de leurs longueurs d'onde. Il y a donc l'arrivée d'un étalement de spectre conséquent. Ce phénomène est appelé « DISPERSION INTERMODALE ». [1.05]

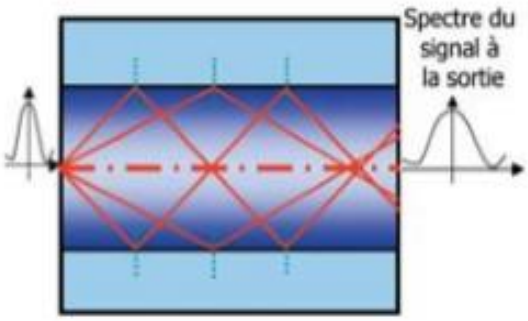

Figure 1.04 : *Phénomène de DISPERTION INTERMODALE*

b. Fibre multimode à gradient d'indice (FGI)

La fibre est dite à gradient d'indice lorsque l'indice de réfraction du cœur décroit radialement depuis le centre vers la gaine. Le cœur peut se représenter comme une superposition de verres d'indice de réfraction différent. Cet indice est très élevé au centre du cœur et diminue jusqu'à la gaine optique grâce aux différent couche de verre.

Le diamètre du cœur de cette fibre est entre 50 et 100 µm et sa bande passante est de l'ordre de 500Mbits/s ou de 1Gbits/s.sa capacité est d'autant plus élevée que celle du saut d'indice car la distance parcourue par les rayons est plus faible. [1.05]

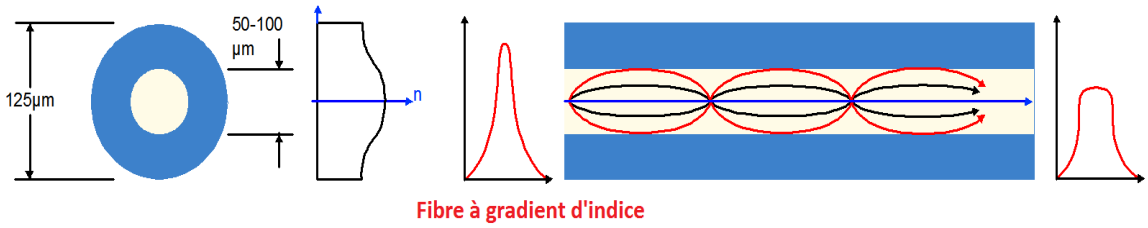

Figure 1.05 : *Fibre multimode à gradient d'indice*

Dans la *figure 1.05*, on voit bien la différence entre l'allure du signal de l'impulsion d'entrée et l'impulsion de sortie ainsi que la trajectoire qui est bien différent de la fibre à saut d'indice.

Les fibres multimodes actuelles sont de type à gradient d'indice car c'est la plus performante. On réduit le phénomène de dispersion intermodale.

c. Applications de la fibre multimode

- Les fibres multimodes ont été les premières utilisées. Elles sont faciles à utiliser mais limitées en bande passante.
- La capacité de transporter une forte puissance
- L'ouverture numérique importante permet d'utiliser une source lumineuse incohérente(DEL)
- Les fibres multimode sont donc recommandées pour les liaisons courtes distances, susceptibles de supporter un grand nombre de point de raccordement : réseaux industriels et locaux, câblage d'immeuble, réseaux informatiques.

1.2.4.2 Fibre monomode

Une fibre monomode n'autorise la propagation que d'un seul rayon lumineux. Elle est dite monomode car elle en raison de très petite taille du cœur (9 µm).

Il porte alors le nom de mode fondamentale car la dispersion intermodale est quasi-nulle. Comme la trajectoire ne change pas, son temps de parcours du rayon lumineux diminue, donc la vitesse de transmission augmente. La bande passante de ce type de fibre est alors plus élevée et son débit théorique le plus poussé peut atteindre jusqu'à 100Gbits/s. [1.05]

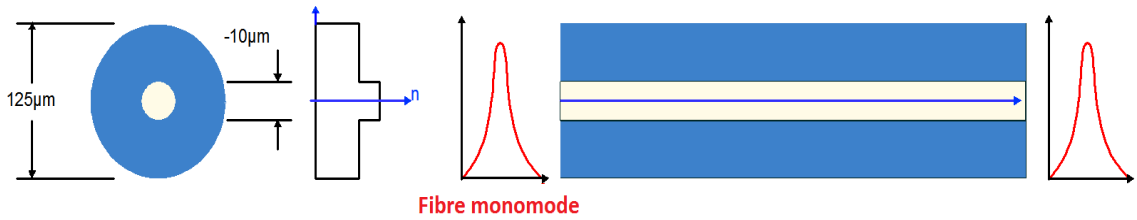

Figure 1.06 : *Fibre monomode*

Comme montre la *figure 1.04*, on voit que le diamètre du cœur d'une fibre monomode est environ de 10µm ainsi son rayon lumineux a un parcours bien droit et le signal de sortie est la même que celle de l'entrée.

C'est grâce à la fibre monomode qu'il est possible d'atteindre des taux d'atténuation très faible sur de longues distances. En effet, par une propagation en ligne droite, il n'y a pas d'atténuation due à la réfraction du signal sur la gaine optique. De plus le phénomène de dispersion modale est absent en fibre monomode.

La fibre monomode est utilisée pour les réseaux métropolitains (WAN) ou les communications à longues distance des opérateurs

a- Applications de la fibre monomode

- la fibre monomode est très performante, sa bande passante permet de transmettre un très grand nombre d'information.
- L'ouverture numérique d'un diamètre nécessite des manipulations relativement délicates ainsi qu'un matériel de haute pression.
- L'ouverture numérique faible, nécessite une source lumineuse cohérente (LASER).
- La fibre monomode est utilisée pour les liaisons à débits importants, pour les grandes distances, ou pour les réseaux nécessitant peu de point de raccordement.

1.2.4.3 Comparaison entre la fibre multimode et monomode

Résumons dans un tableau la différence entre ces différentes fibres :

Tableau 1.01 : Comparaison entre les deux types de fibres

Structures	Avantages	Inconvénients	Applications pratique
Multimode à saut indice	Grande ouverture numérique, connexion facile, faible prix, facilité de mis en œuvre	Pertes, dispersion et distorsion, élevées du signal	Communications courts distances Réseaux locaux
Multimode à gradient d'indice	Bande passante raisonnable et bonne qualité de transmission	Difficile à mettre en œuvre	Communications courts et moyennes distances
Monomode	Bande passante très grande, atténuation très faible, faible dispersion	Prix très élevé	Communications longues distances

Le tableau 1.01 ci-dessus illustre bien les différences entre les trois(3) types de fibre ce qui nous permet de bien choisir quel type de fibre doit on utiliser. [1.01]

Mais l'UIT-T (Union Internationale des Télécommunication) a instauré des normes internationales pour les fibres optiques déployées dans les réseaux de télécommunication. Les recommandations G.650 à G.655 portent les paramètres géométriques, mécaniques optiques des fibres et sur les tolérances admissibles sont mentionnées dans le tableau ci-après qui montre les caractéristiques de la fibre optique de transmission utilisé en réseaux de télécommunication. **[**1.01**]**

Tableau 1.02 : Quelques caractéristiques de fibre optique de transmission

Norme UIT-T		G.652	G.653	G.655 (NZDF)	G.655 (Téralight)
Propriétés géométriques	Diamètre du cœur (µm)	9	9	9	9
	Diamètre fibre (µm)	125	125	125	125
Propriétés optiques	Atténuation (dB/km)	0,25	0,25	0,25	0,22
	Dispersion chromatique (ps/nm/km)	17	0	0,07	8
	Coefficient de non linéarité (W/m^2)	$2{,}7.10^{-20}$	$2{,}7.10^{-20}$	$2{,}7.10^{-20}$	$2{,}7.10^{-20}$
	Section effective (µm^2)	80	57	57	65
	PMD (ps/sqrt/km)	0,05 à 0,08	0,1 max	0,1 max	0,4

1.3 Phénomènes physiques permettant la transmission de l'information et guidage de la lumière dans une fibre optique

1.3.1 Propagation de la lumière

La lumière est une onde électromagnétique que l'on définit habituellement par sa longueur d'onde dans le vide :

$$\lambda = c.\frac{1}{F} \qquad (1.03)$$

La lumière infrarouge est utilisée dans les fibres optiques (0.85µm ; 1,3µm et 1,5µm principale)
Le phénomène physique majeur qui a inspiré la technologie des fibres optiques est ce que l'on appelle «la réflexion totale interne ».
Ceci découle la loi de réfraction voulant qu'une onde traversant une frontière entre deux milieux de densité différente soit déviée.
Mais afin de bien comprendre son propre principe, redéfinissons d'abord deux autres notion simple.

1.3.1.1 Phénomène de réflexion

Lorsqu'un rayon lumineux appelé « rayon incident » tombe sur une surface réfléchissante (exemple : miroir) il subit une déviation dans le même plan suivant un angle de réflexion «θ_2» qui est de même valeur l'angle d'incidence «θ_1» par rapport à un axe appelé axe d'incidence, perpendiculaire à la surface de séparation.
Il y a réflexion quand l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion ($\theta_1 = \theta_2$).

θ_1 : angle d'incidence θ_2 : angle de réflexion

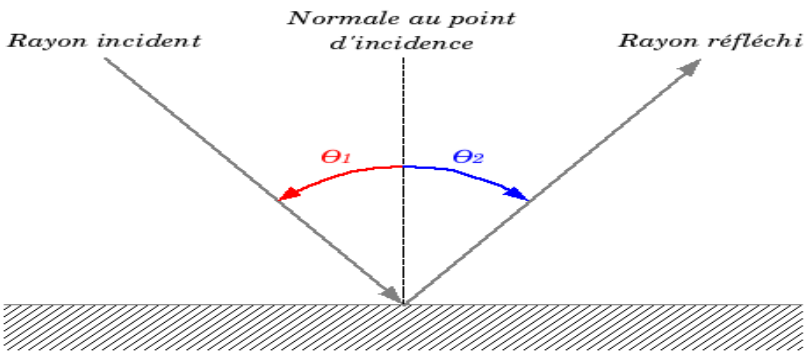

Figure 1.07 : *Phénomène de réflexion*

La figure 1.07 nous montre le phénomène de réflexion ce qui illustre bien l'égalité entre l'angle d'incidence et l'angle de réflexion.

1.3.1.2 Phénomène de réfraction

Le phénomène de réfraction agit lors du passage d'un rayon lumineux incident d'un milieu 1(par exemple : air) vers un milieu 2 (par exemple : eau).
Ce rayon incident va subir une déviation lors de la traversée dans le second milieu. L'angle de réfraction r du rayon réfracté sera différent de l'angle de l'incidence « i » par rapport à l'axe d'incidence déjà définie ci-dessus.

Il y donc réfraction quand : $i > r$ et $n_2 > n_1$

$$\frac{\text{Sin}\, i}{\text{Sin}\, r} = \frac{n_2}{n_1} \tag{1.04}$$

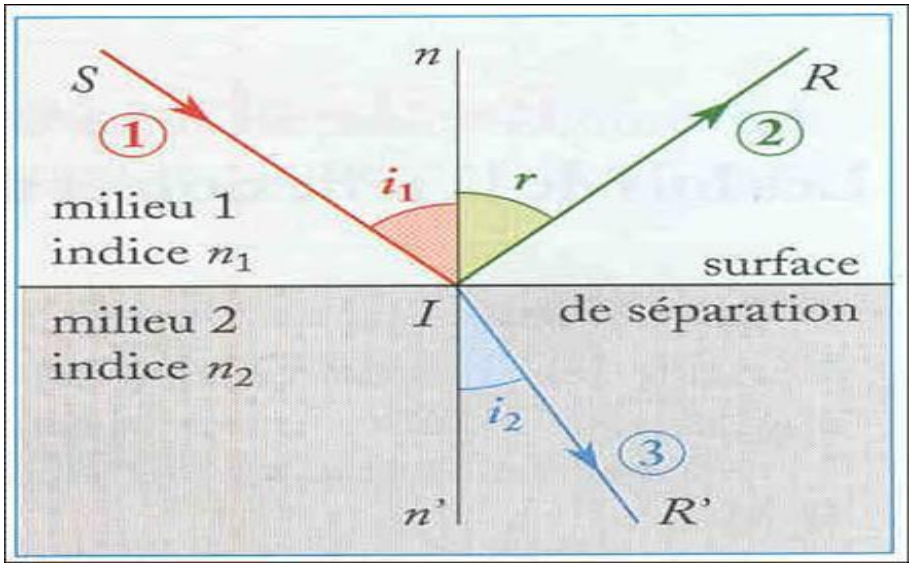

Figure 1.08 : *Phénomène de réfraction*

-Indice de réfraction

L'indice de réfraction est le rapport entre la vitesse de propagation d'un signal lumineux dans le milieu considéré.

$$n_{milieu} = \frac{C_o}{C_{milieu}} \tag{1.05}$$

Cet indice varie donc en fonction des milieux traversés et aussi en fonction de la longueur d'onde du signal lumineux.

1.3.1.3 Réflexion totale

D'après l'étude de ces 2 phénomènes on peut définir la réflexion totale comme suit :
La réflexion totale apparait lorsque l'angle d'un rayon lumineux incident, évoluant d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent, est supérieur à la valeur de l'angle limite ou se propage le rayon incident. Elle résulte donc la loi de réflexion et réfraction, c'est le principe de la loi de Snell-Descartes.

La loi de Snell-Descartes est la suivante :

$$n_1 sin\, i_2 = n_2 \sin i_2 \qquad (1.06)$$

Avec : n_1 et n_2 : indices de réfraction respective des milieux que traverse la lumière.

$i_1\ et\ i_2$ **:** Angle d'incidence et angle de réfraction de la lumière.

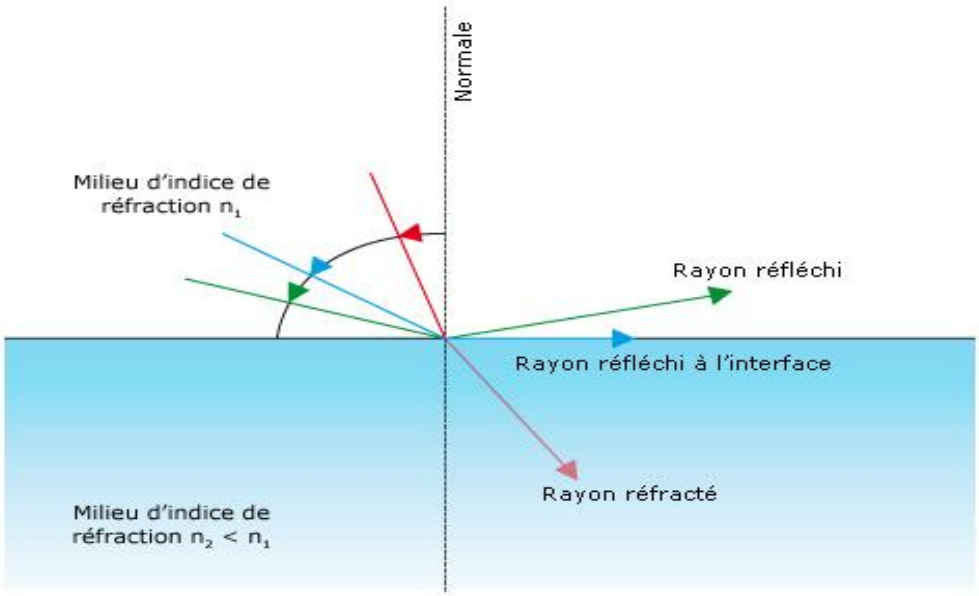

Figure 1.09 : *Réflexion et réfraction d'un rayon lumineux*

La figure ci-dessus montre le chemin d'un rayon lumineux du milieu d'indice plus réfringent vers le milieu d'indice moins réfringent.

1.3.2 Principe de guidage d'un signal dans une fibre optique

La fibre optique est formée de deux milieux transparents, le cœur, cylindrique, d'indice constant ou variable, entouré par la gaine d'indice plus petit. L'ensemble est entouré d'une enveloppe protectrice opaque. **[**1.06]

Lorsque la lumière passe d'un milieu d'indice n_1 dans milieu n_2 $(avec\ n_1 > n_2)$ il existe un angle limite d'incidence, se calculant par : $sin_{ilim} = \frac{n_2}{n_1}$ tel que l'angle de réfraction n'existe plus : il y a donc réflexion totale. Si ce phénomène se produit à l'interface entre le cœur de la fibre et la gaine, la lumière peut être guidée tout au long de celle-ci, avec très peu d'atténuation.

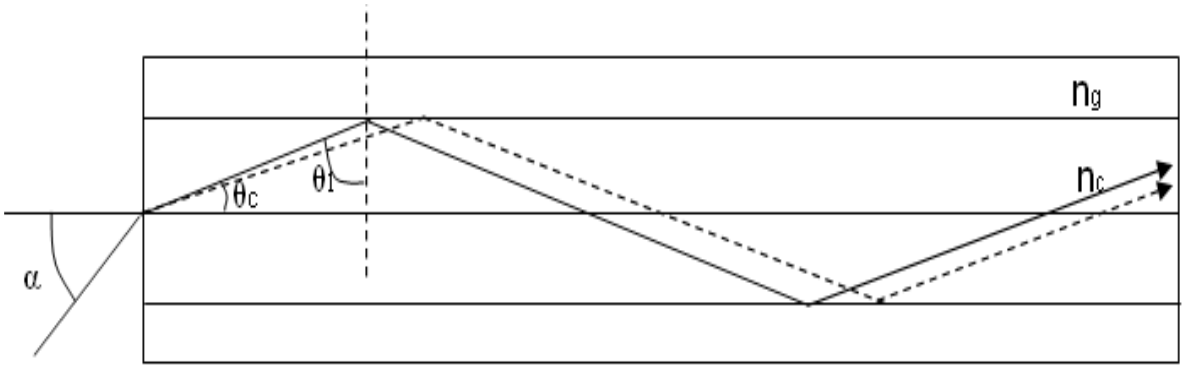

Figure 1.10 : *Condition de guidage de rayon lumineux*

1.4 Système de transmission sur fibre optique [1]

Un système de transmission optique est composé des éléments suivants :

- Une source optique (diode ou laser) : permettant d'imprimer l'information à transmettre sur la porteuse optique.
- Une ligne de transmission (FO, amplificateur).
- Un récepteur (PIN ou APD).

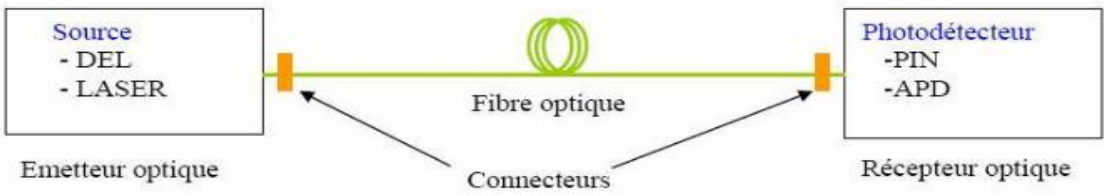

Figure 1.11 : *Schéma synoptique d'une liaison optique*

1.4.1 Emetteur

L'émetteur optique est un dispositif qui a pour rôle de convertir l'énergie électrique en énergie optique avec un rendement satisfaisant et encore plus il assure un bon couplage avec la fibre. Pour être exploitable, avec une certaine qualité, le signal lumineux reçu doit être supérieur à un certain seuil de puissance et doit présenter une largeur de bande minimale.

En système de télécommunication optique, la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus en plus larges impose le choix de sources à spectres réduits telles que les diodes Laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL). Ces deux sources sont réalisées à partir de jonctions polarisée en direct. Le principe d'émission est dû à la recombinaison des pairs électrons trou.

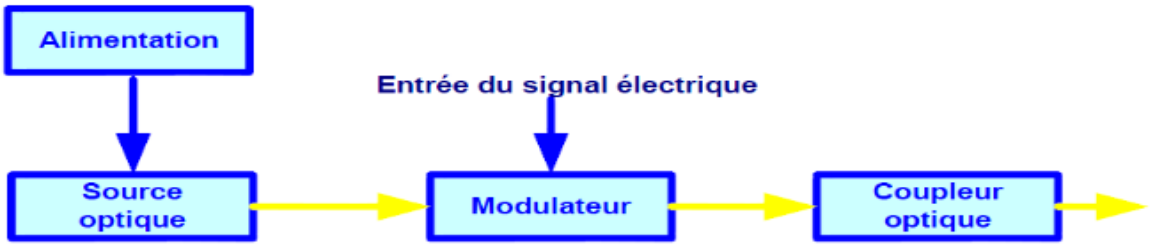

Figure 1.12 : *Emetteur optique*

1.4.1.1 Diode DEL

La diode DEL est une source incohérente et polychromatique. Elle présente un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif, elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grandes bandes passantes.

1.3.2.2 Diode LASER

Le choix des sources optiques s'est porté sur les émetteurs à semi-conducteurs à cause de leurs dimensions en rapport avec celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilitée que l'on a à moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique.

Ainsi la diode laser est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique de la fibre.

1.3.3 Ligne de transmission

La fibre optique représente un support de transmission dont les nombreux avantages justifiant son introduction dans les systèmes de transmission sont les suivants :

-la performance de transmission : très faible atténuation, très grande bande utilisable, multiplexage possible.

-avantages de mis en œuvre : très petite taille grande souplesse et faible poids

-sécurité électrique : isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance

-sécurité électromagnétique : insensible aux parasites et n'en crée pas, inviolabilité presque totale.

1.3.4 Récepteur optique

Le but du récepteur est de restituer de façon fidèle l'information, il doit extraire avec des moyens fiables l'information transmise à partir du signal optique reçu.

Dans notre cas, parlons des photo-détecteurs, les plus utilisé dans les systèmes de transmission par FO qui sont les PIN ou APD.

Un photo-détecteur est bun semi-conducteur de jonction PN polarisé en inverse il permet la conversion du signal optique reçu (les photons) en signal électrique par l'effet photoélectrique.

1.3.4.1 Photodiode PIN

Cette photodiode, polarisée en inverse, est réalisée à partir de trois couches de semi-conducteur. Deux couches fortement dopées P+ et N+ entre lesquels existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque) où il existe très peu de charges mobiles. Les photodiodes PIN sont les plus utilisées car elles sont peu coûteuses et simple à utiliser avec une performance satisfaisante.

1.3.4.2 APD

Lorsque la puissance lumineuse reçue est très faible, les courants détectés sont peu élevés et se superpose au courant d'obscurité, conduisant à un mauvais rapport signal à bruit. Pour augmenter ce dernier, il est nécessaire que le courant détecté soit plus important en utilisant d'autres types de photodiodes, comme les photodiodes à gain interne.

1.4 Domaine d'application de la fibre optique

1.4.1 Domaine des télécommunications

En télécommunication, la fibre optique est utilisée pour la transmission d'informations, que ce soit des conversations téléphoniques, des images ou données. C'est probablement l'un des domaines ou

l'utilisation de la fibre optique est plus important et a le plus d'avenir. Ainsi plusieurs sont les raisons qui expliquent l'emploi croissant de FO en télécommunications comme les bandes passantes élevées, les faibles pertes ; encombrement réduit…. [1.07].

1.4.2 Dans l'armée

L'utilisation de la FO dans ce secteur est très immense. Elles sont plus performantes et offrent un meilleur débit et sécurité supplémentaire pour leurs données. Elles répondent aussi aux besoins des lances missiles optique, des systèmes de radars optiques ainsi que les systèmes de contrôles.

1.4.3 Autres applications

- Les FO sont essentiellement servis au domaine médical pour examiner des secteurs spécifiques du corps humain difficiles à atteindre pour y exécuter des manipulations chirurgicales, ainsi pour fournir une analyse plus rapide et précise du sang.
- Des capteurs comme les gyromètres à fibre est un instrument utilisée par les navires, sous-marins, les avions et les satellites pour donner la vitesse angulaire. Il contient des fibres à maintien de polarisation.
- Les FO est aussi utilisées dans le domaine des systèmes de transport routier qui est un marché croissant du à l'augmentation du trafic via les péages, les feux et les panneaux de signalisations.
- Ses propriétés sont également utilisées dans le domaine des capteurs que ce soit température, pression ou autre, ainsi elles sont beaucoup utilisées dans l'éclairage et même dans les décorations. Et grâce à ces capteurs, on peut calculer la distance d'un objet par rapport à un autre, la vitesse de rotation et les vibrations.

1.5 Conclusion

Ainsi, la fibre optique est la principale technologie de télécommunication et a permis d'améliorer drastiquement ce domaine. Non seulement pour la quantité d'information transmise mais aussi également en qualité. Mais toutefois, elle représente quelques problèmes du point technique et de fabrication. C'est ce que nous allons analyser dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 2

LES PROBLEMES ET LES CARACTERISTIQUES DE TRANSMISSION SUR FIBRE OPTIQUE

2.1 Introduction

Plusieurs sont les problèmes qui peuvent apporter des perturbations lors d'une transmission d'information dans un système de transmission optique. Le système de transmission optique est l'élément majeur le plus indispensable dans n'importe chaîne de transmission. Ce dernier nécessite donc d'un ou plusieurs canaux pour mieux transmettre une information d'une source vers un destinataire final. Il en résulte donc de savoir tous les problèmes que doit avoir ces canaux lors d'une transmission afin d'arrivé au destinataire finale.

2.2 Différents problèmes de la transmission sur FO

2.2.1 Différentes dispersions

Actuellement, ce n'est pas uniquement l'atténuation qui est le facteur majeur de limitation des performances des systèmes de transmission sur fibre à haut débits mais aussi la dispersion. Cette dernière limite d'une part le débit d'un canal mais aussi la distance entre canaux.

Quand on veut transmettre une impulsion sur la fibre optique, on produit l'impulsion avec un émetteur laser, dans la transmission idéale, on espère avoir à la sortie la même impulsion, mais cette impulsion a une durée plus grande que la durée initiale. On voit donc plusieurs types de dispersion :

2.2.1.1 Dispersion intermodale

La dispersion intermodale est la cause principale de l'élargissement des impulsions dans les fibres optiques multimodes. Cet élargissement est provoqué par les différences des temps de parcours dans rayons lumineux. Quand on envoie une impulsion lumineuse infiniment étroite à l'entrée de la fibre, cette impulsion excite tous les modes de propagation de la fibre et à la sortie on constate que l'impulsion s'est élargie dans le domaine temporel. [2.04]

Souvent on voit la dispersion intermodale dans la fibre multimode à saut d'indice car ce type de profil est peu performant les transmissions à haut débit et les rayons lumineux qui s'y propagent suivent les trajets forts différents les uns des autres et se déplace à différents vitesses en fonction de leurs longueurs d'onde.

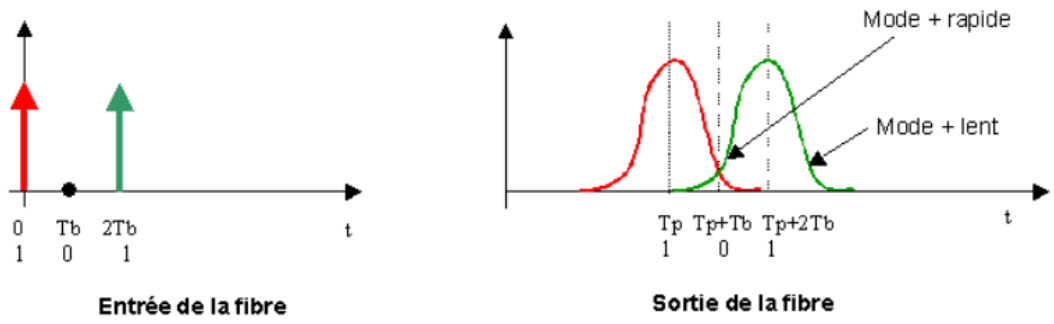

Figure 2.01 : *Dispersion intermodale*

Dans cette *figure 2.02*, on voit bien l'élargissement de l'impulsion lumineuse à la sortie ce qui peut bien éclaircir ce phénomène.

La vitesse de propagation des modes dans le cœur d'une fibre est définie par :

$$V = Csin\frac{\theta}{n_1} \tag{2.01}$$

Avec $\theta = \theta_{\lim} pour\ le\ mode\ lent\ et\ \frac{\pi}{2}\ pour\ le\ mode\ rapide$

Après avoir effectué une distance L, le décalage est défini comme suit :

-pour une fibre à saut d'indice : $\Delta_\tau = \frac{Ln_1}{C}\Delta$ avec $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_2}$ (2.02)

-pour une fibre à gradient d'indice : $\Delta_\tau = \frac{Ln_1}{C}\frac{\Delta}{8}$ (2.03)

2.2.1.2 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique est la cause principale de l'élargissement des impulsions dans les fibres FO monomodes dont le profil est à symétrie de révolution. C'est la somme d'un terme de matériau pur (dispersion matériau) et d'un terme dû au guidage de l'onde (dispersion modale). $D_m + D_g$

-La dispersion matériau D_m : elle est liée à la dépendance de l'indice de réfraction de la longueur d'onde. Son élargissement est causé par le fait que l'indice de réfraction du verre n'est pas le même pour tous les longueurs d'ondes. Cette dispersion existe dans tous les fibres optiques, qu'elles soient

multimodes ou monomodes. Elle est très petite en longueur d'onde d'environ 1300nm.

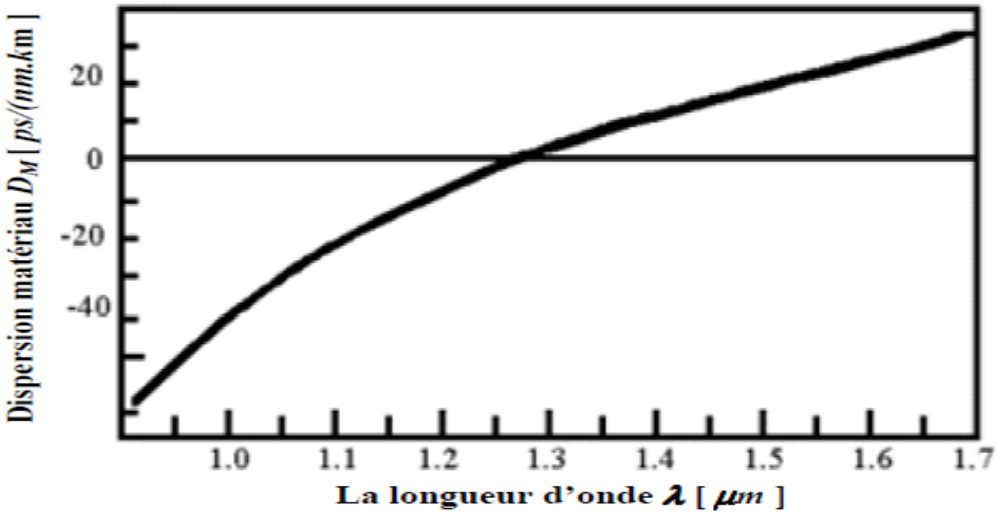

Figure 2.02 : *Dispersion matériau en fonction de la longueur d'onde*

La *figure 2.03* illustre la variation de la dispersion matériau dans la silice pure en fonction de la longueur d'onde.

-La dispersion de guide D_g : elle est liée à la structure géométrique du guide d'onde, elle résulte de la variation de la constante de propagation avec la fréquence normalisé v. La dispersion du guide est toujours négative et dépend des paramètres de la fibre. Il augmente si on accroît la différence d'indice et si on réduit le diamètre du cœur.

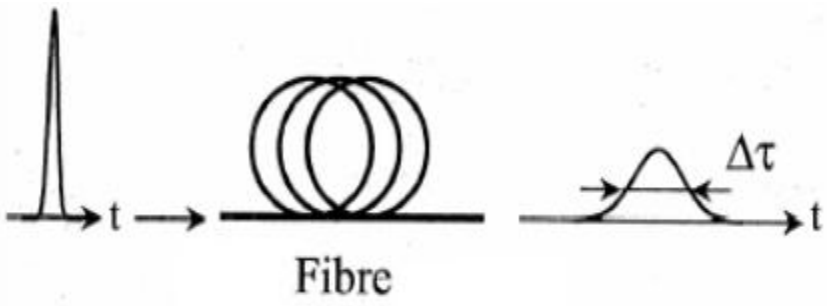

Figure 2.03 : *Dispersion chromatique*

2.2.1.3 Dispersion modale de polarisation

Les défauts de fabrication particulièrement pour les FO monomodes ainsi que les contraintes mécaniques ou thermiques brisent la symétrie transverse la fibre. On entend habituellement qu'elle

autorise la propagation d'un seul mode, mais ce mode est dégénéré, c'est-à-dire qu'il peut se décomposer en deux modes de base indépendants ayant des polarisations orthogonales. On parle donc de la dispersion modale de polarisation (PMD : Polarization Mode Dispersion) qui se modélise comme l'apparition d'une légère biréfringence, se traduisant par une différence d'indice effectif entre les deux axes de polarisation.

Les deux modes orthogonaux qui véhiculent dans la fibre monomode sont :

- Les deux sous modes peuvent se propager à des vitesses différentes si la fibre n'est pas parfaitement circulaire.
- La dispersion qui en résulte est un phénomène aléatoire qui se décrit statiquement dans le temps et dans l'espace.

2.2.2 Différentes pertes et atténuations de la fibre optique

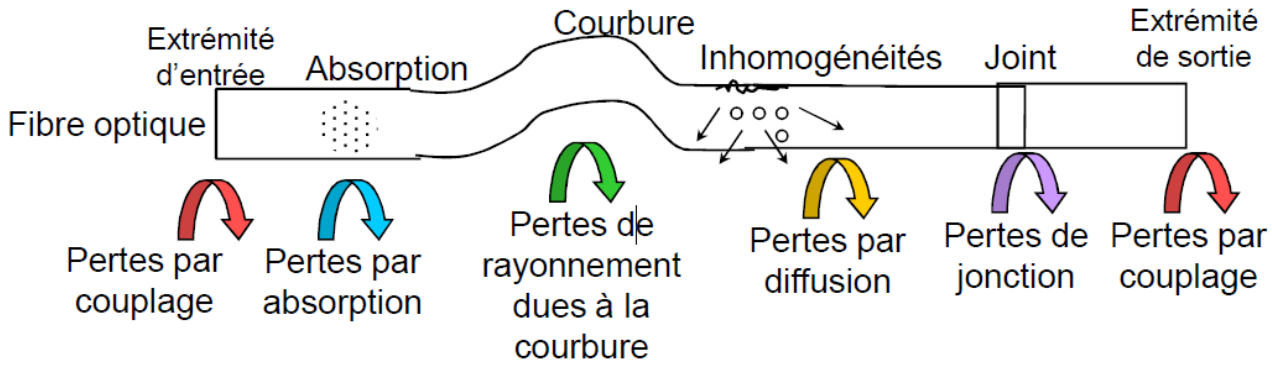

Figure 2.04 *: Les différentes pertes dans la fibre optique*

Nombreux paramètres sont à considérer lors de l'évaluation des performances des fibres optiques. L'atténuation est l'un des paramètres les plus importants pour définir les propriétés de la transmission des fibres optiques. C'est le rapport entre la puissance d'entrée et la puissance de sortie [2.08]:

$$A = 10\ log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right) \tag{2.04}$$

La lumière qui se propage au sein de la fibre optique, subit une perte d'énergie appelée « atténuation ». Elle s'exprime par une valeur en dB/km (décibel par kilomètre) et dépend de la longueur d'onde ℵ c'est-à-dire de la couleur (fréquence) de la lumière.

Comme le montre la figure 2.01 ci-dessus plusieurs sont les pertes que la fibre peut subir durant une transmission.

2.2.2.1 Perte par absorption moléculaire

Sous l'influence d'un photon d'énergie suffisante, un électron peut être porté à un niveau d'énergie supérieur à celui où il se trouvait. Une partie de l'énergie du rayonnement incident est ainsi absorbée par le matériau.

Ce mécanisme d'absorption est lié à la présence inévitable d'impuretés dans le verre. Ces impuretés sont principalement les atomes métalliques et les ions OH^- provenant de trace de l'eau. Les atomes métalliques se trouvent dans le verre sous forme d'ions dont les niveaux d'énergie électroniques sont tels que la lumière utilisée dans les fibres (0,8- 1,55m) peut facilement exciter des transitions électroniques.

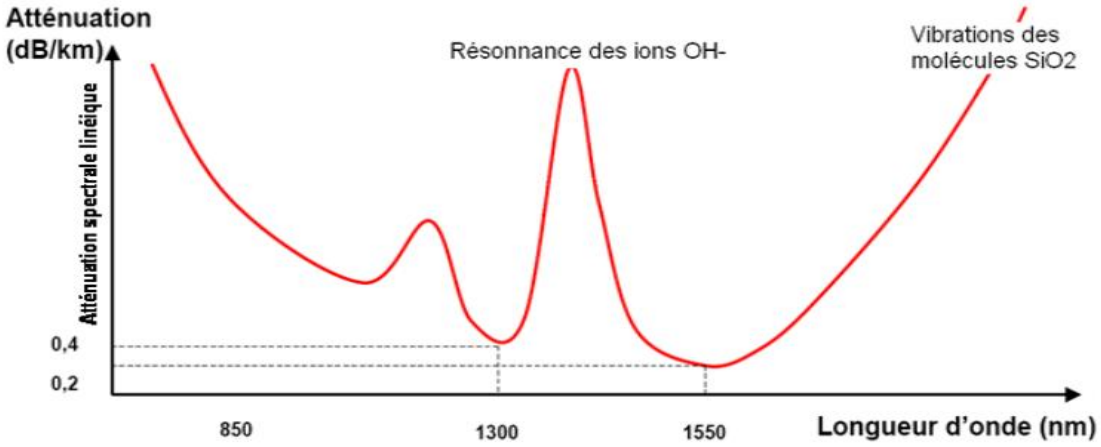

Figure 2.05 : *Perte par absorption moléculaire du verre*

2.2.2.2 Perte de couplage

La perte de couplage est due au défaut d'alignement et à la réflexion dans les épissures, et au niveau des connecteurs optiques aux extrémités de la liaison. Il s'agit de l'ensemble des phénomènes qui entrainent des échanges entre les différentes directions de propagation des rayons.

Une perte de couplage est toujours présente dans tous les cas d'épissure d'une fibre optique.

Les causes de la perte de couplage sont :

- Séparation longitudinale

La séparation longitudinale se traduit par un écartement des deux fibres qui devraient être connectées. (Figure 2.05)

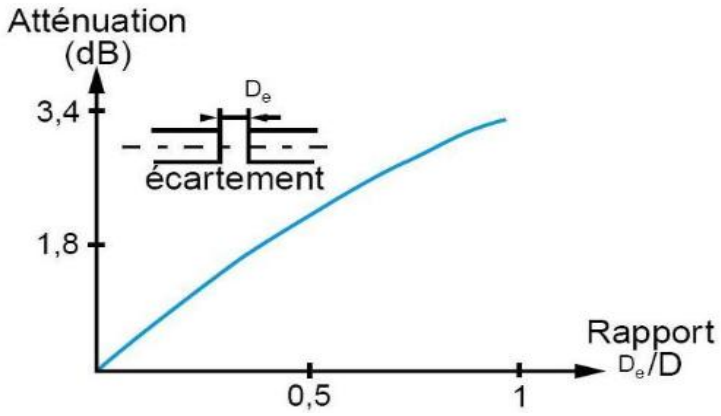

Figure 2.06 *: Perte de couplage dû à la séparation longitudinale*

- Désalignement radial

Le désalignement radial est dû à un désalignement des cœurs et des gaines optiques des fibres à connecter et sa gravité se déduit en fonction du rapport de l'excentrement par le diamètre des fibres

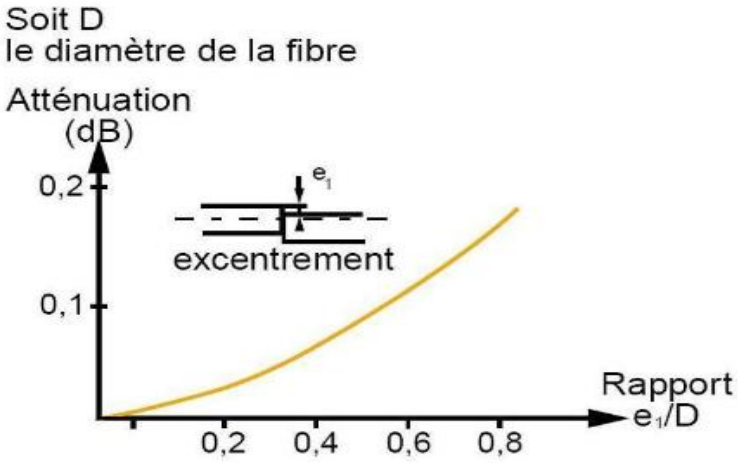

Figure 2.07 *: Perte de couplage dû au désalignement radial*

- Désalignement angulaire

Pour le désalignement angulaire, il y a une présence d'un angle dans le raccord entre deux fibres. Les rayons lumineux qui passent par ce point subissent une déviation qui se traduit par une perte.

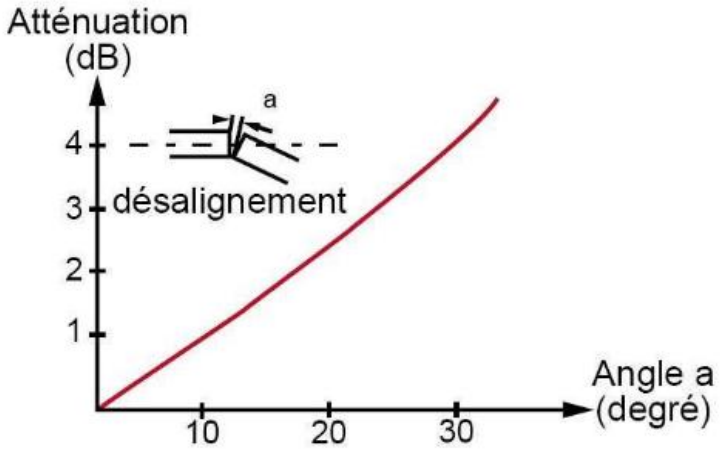

Figure 2.08 *: Perte de couplage dû au désalignement angulaire*

2.2.2.3 Perte de courbure

Lorsqu'on courbe une fibre (déformation globale de l'axe), une partie de l'énergie lumineuse peut s'échapper au guidage, et se perdre dans la gaine. Et c'est ce qu'on appelle «perte par courbure».

Ce phénomène est plus sensible aux grandes longueurs d'ondes. Chaque type de fibre possède un angle de courbure qui lui est propre et pour lequel il y a perte de lumière. Cet angle de courbure peut varier selon la composition des matériaux utilisés à l'intérieur de la fibre.
Mais pour une explication plus pratique, on peut constater que l'effet de cette perte de courbure est négligeable lorsque le rayon de courbure R est grand par rapport au rayon de critique R_c. Ce rayon de critique dépend du type de fibre et se mesure en centimètre. [2.03]

- Pour une fibre multimode :

$$R_c = \frac{2an_1^2}{ON^2} \tag{2.05}$$

- Pour une fibre monomode :

$$R_c = 20\frac{\lambda}{(n_1-n_2)^{32}}\left(2{,}75 - \frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^{-3} \tag{2.06}$$

Pour les deux cas, plus la différence entre le cœur et la gaine optique est grande, moins la fibre est sensible à la perte par courbure. Il est de même pour la fibre qui possède un diamètre de cœur petit.

2.2.2.4 Perte par micro-courbure

La perte par micro-courbure (déformation local de l'axe) apparait lors de la fabrication des câbles optiques lorsque les contraintes mécaniques provoquent des micros déformations de la fibre, entrainant des pertes de lumière. Ces pertes dépendent aussi bien de la fibre elle-même que du revêtement et elles augmentent très vite lorsque le diamètre de la fibre diminue.

2.2.2.5 Perte par diffusion

- Diffusion de RAYLEIGH : cette diffusion provient des variations de l'indice de réfraction du matériau sur des longueurs inférieures à la longueur d'onde de la lumière. Elle se traduit par une perte de puissance lumineuse inversement proportionnelle à la loi de Rayleigh.

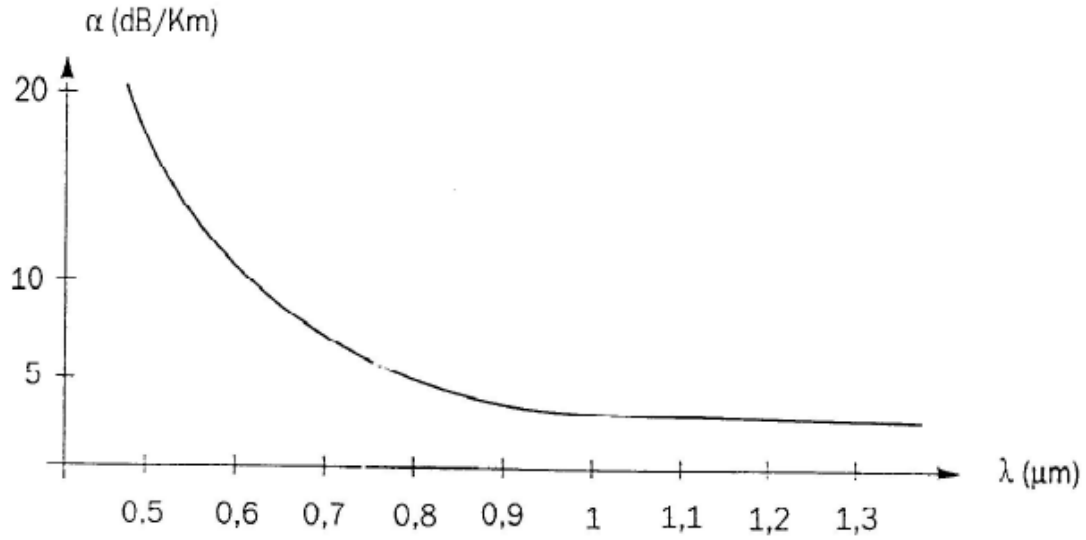

Figure 2.09 *: Diffusion de Rayleigh*

- Diffusion due aux défauts de la fibre et de son support : les variations locales du diamètre du cœur, micro-courbures, vont faire qu'un certain nombre de rayons vont subir une réfraction dans la gaine, entrainant une perte d'énergie. Et cette perte d'énergie est d'autant plus grande que les rayons sont plus inclinés par rapport à l'axe.
- Couplage de mode : il s'agit de l'ensemble des phénomènes qui entraînant des échanges d'énergie entre les différentes directions de propagation des rayons.

En pratique tous les rayons échangent de l'énergie entre eux, en particulier les rayons guidés et non guidés, d'où un facteur d'atténuation supplémentaire.

2.2.3 Différentes effets de propagation non linéaires

Les systèmes de télécommunications sur fibre sont conçus dans l'hypothèse d'une transmission linéaire et les effets non-linéaires qui sont alors les effets parasites qui en dégradent les performances quand les puissances véhiculées deviennent élevées.

Aujourd'hui, les systèmes de transmission à haut débit et grande distance utilisent des amplificateurs de puissance à l'émission, ce qui conduit à des puissances injectées dans la fibre très élevées et des effets non-linéaires non négligeables.

Les structures optique non guide d'onde se prêtent bien à la génération et à l'exploitation d'effets non linéaires.

2.2.3.1 Effet Kerr

L'effet non linéaire prépondérant dans la silice qui vient affecter la propagation est l'effet Kerr, où l'indice de réfraction et la vitesse de propagation varient avec le flux de la puissance.

L'effet Kerr en optique géométrique est une extension de lois de réfraction de la lumière lors de la propagation de cette lumière dans des milieux d'indices variables. L'indice de réfraction n peut alors s'exprimer sous la forme d'une fonction non-linéaire du champ électrique E. [2.01]

$$n = n_0 + n_1|E^2| \tag{2.07}$$

n_0: l′indice linéaire (indice pour des champs éléctriques peu intenses)

n_1: L'indice non linéaire dont la valeur est de l'ordre de $\frac{10^{-20}m^2}{w}$ pour la fibre optique.

Parmi les conséquences de l'effet Kerr, on trouve auto-modulation de phase et mélange à quatre ondes. Cette modulation de phase combinée à la dispersion chromatique conduit à un élargissement temporel des signaux se propageant dans la fibre. L'auto-modulation de phase s'interprète comme une modulation de fréquence parasite avec augmentation, respectivement diminution, de la fréquence instantanée à l'avant, respectivement à l'arrière, de l'impulsion.

2.2.3.2 Auto-modulation de phase

La variation de l'indice de réfraction en fonction de la puissance présente localement dans la fibre, induit une modulation de phase parasite qui croît avec la distance, sous l'effet de la dispersion

chromatique, se traduit par un élargissement de l'impulsion et donc la création d'interférences entre symboles.

2.2.3.3 Effet Raman et Brillouin

L'effet Raman est le plus connu des effets non linéaires. Il s'agit d'une interaction photon-phonon, c'est-à-dire d'échange d'énergie entre d'onde optique et les vibrations du matériau. L'effet Brillouin est de même nature que la diffusion de Raman, mais l'interaction se fait avec des phonons acoustiques, c'est-à-dire avec les vibrations d'ensemble du matériau, se propageant à la vitesse des ondes acoustiques.
Ces effets sont sensibles dès que la puissance injectée dépasse un certain seuil.

2.2.4 Multiplexage en longueur d'onde (WDM : Wavelenght Division Multiplexing)

Les besoins croissants en débit ont amené à rechercher une technique pour augmenter les capacités de transmissions des réseaux optiques. L'une de ces solutions à cette demande est poser plus de câble ; mais cette solution pose des problèmes d'ingénierie. [2.09]
Une autre solution beaucoup plus efficace et meilleure est de multiplier le débit par câble (sur une seule fibre), ce procédé est obtenu par la technologie WDM qui consiste en un multiplexage en longueur d'onde.

2.2.4.1 Principe de WDM

Le multiplexage en longueur d'onde consiste à envoyer dans une seule fibre N porteuses optiques à différentes longueurs d'onde transmettant chacune un débit D.
La bande passante est découpée en plusieurs sous-bandes dont chacune est affectée à une voie. Cette technique permet d'exploiter une plus large bande passante que celle qu'utilise un seul émetteur.
Ainsi, plusieurs transmissions peuvent être faites simultanément, chacune sur une bande de fréquences particulières. Le principe est le même que celui du multiplexage en fréquences (frequency division multiplexing : FDM) dans les transmissions électriques.
Ces deux termes recouvrent la même notion, mais par habitude, on parle de multiplexage en longueur d'onde lorsque la séparation entre deux canaux est relativement grande, tandis que l'on parle de multiplexage en fréquence lorsque cet écart est relativement petit.

En multiplexage en longueur d'onde, il suffit simplement de disposer un émetteur et un récepteur capable de distinguer les différentes longueurs d'onde utilisés.

Ainsi un émetteur pourra multiplexer plusieurs canaux en affectant à chacun une longueur d'onde L'avantage de ce type de multiplexage est qu'il n'est pas tributaire de la vitesse d'équipement électroniques.

Cependant, le nombre de longueur d'onde qu'une fibre peut transporter est borné et en plus la technologie de WDM est une solution beaucoup plus efficace et meilleure pour multiplier le débit par câble sur une seule fibre. [2.09]

La figure ci-dessous nous montre le principe du multiplexage en longueur d'onde.

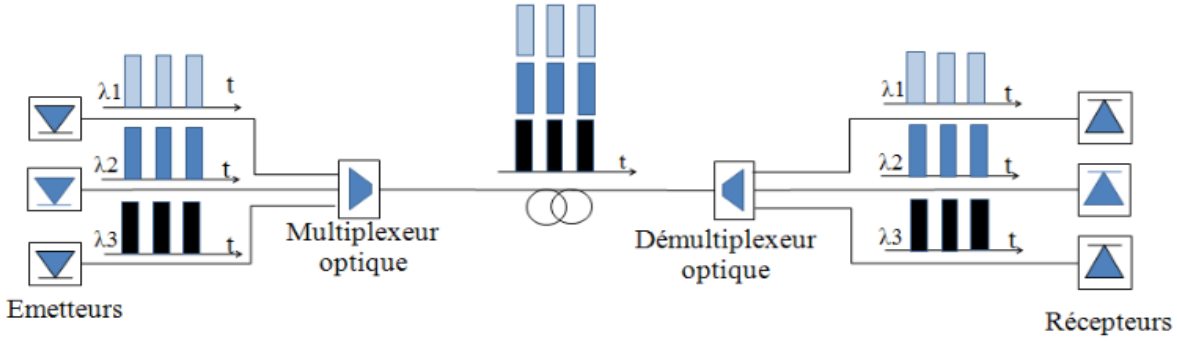

Figure 2.10 *: Principe de multiplexage en longueur d'onde*

2.2.4.2 Application de WDM

Le plus grand intérêt du WDM est de permettre le transport de débits d'informations très importants sur une même fibre, à destination de plusieurs utilisateurs. Les systèmes actuels autorisent 4, 8, 16, 32 et même 64 canaux optiques différents. Mais chacune pouvant supporter jusqu'à 2,5Gbits/s, on obtient alors des débits de 10, 40, 80, et 160Gbits/s.

2.2.4.3 Type de WDM

On rencontre deux principales variantes du WDM :

-DWDM (Dense Wavelenght Division Multiplexing)

Le dense WDM utilise plusieurs longueurs d'ondes faiblement espacée comparée à la solution de CWDM, et elles sont habituellement localisée dans la bande c, dans la gamme de longueur d'onde située entre 1530nm et 1565nm. L'IUT spécifie le centre des longueurs d'ondes du DWDM. Pratiquement, dans les déploiements de DWDM observés à ce jour, les fréquences sont espacées de 100GHz (soit approximativement 0.8 nm), ce qui autorise 40 longueurs d'onde dans la bande C.

Le DWDM requiert des émetteurs optiques, des multiplexeurs/démultiplexeurs qui ont un contrôle strict sur la température et donc sur la longueur d'onde et donc sur la longueur d'onde. Mais un des avantages du DWDM est le gain dans la région de l'EDFA (Amplificateur à fibre dopée erbium) qui correspond à la bande C. Les longueurs d'ondes peuvent être amplifiées pour compenser les pertes dues à la longue distance de transmission des fibres ou les pertes passives élevées (perte du coupleur, du multiplexeur…). [2.09]

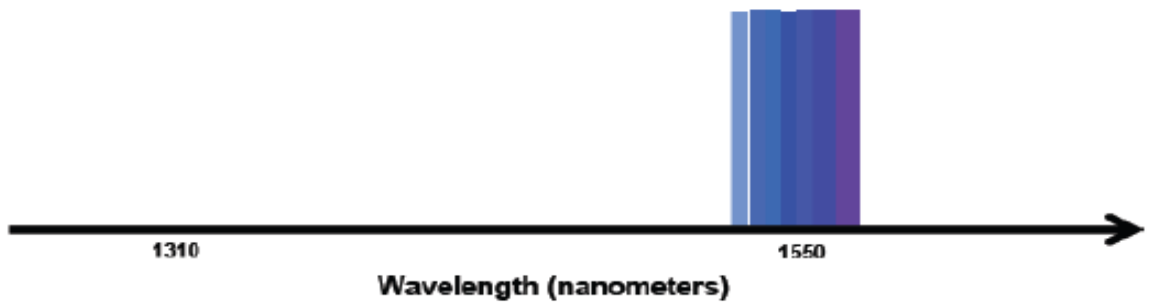

Figure 2.11*: Dense WDM*

-CWDM (Coarse Wavelenght Division Multiplexing)

Le coarse WDM utilise des longueurs d'ondes multiples espacées de 20nm. L'IUT (International Telecommunication Union) spécifie 18 longueurs d'ondes CWDM allant de 1271nm à 1611nm. Les émetteurs, les multiplexeurs optiques et démultiplexeurs sont définis à ces longueurs d'ondes. Ils ne nécessitent pas un contrôle étroit en longueur d'onde, ce qui explique leur coût moins élevé par rapport aux équipements DWDM.

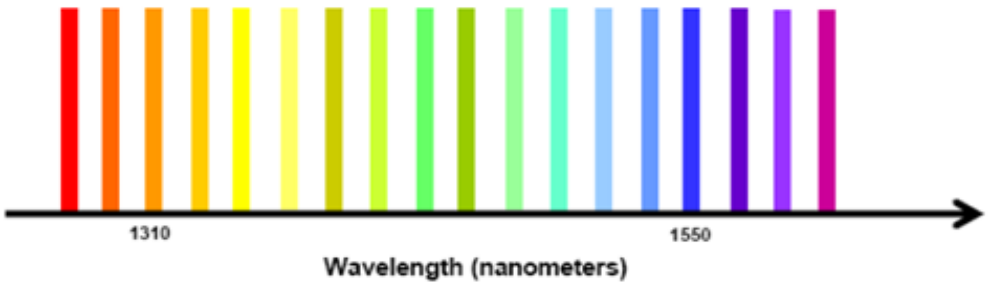

Figure 2.12 *: Coarse DWM*

L'approche WDM s'avère donc la technique de multiplexage préférentielle pour le système de transmission optique, en raison de la transparence, de la flexibilité et extensibilité des canaux WDM.

Le tableau ci-dessous montre le détailles caractéristique des modes WDM les plus répandus :

Tableau 1.01 : *Caractéristiques des modes WDM*

	Coarse-WDM (CWDM)	Dense-WDM (DWDM)
Nombre de longueur d'onde	Jusqu'à 16	8 à 128
Espacement des canaux	20nm à 25nm	0,4nm à 1,6nm
Fenêtre spectrale	~1260nm – 1620nm	~ 1500nm – 1600nm
Débit par longueur d'onde	1,25 – 2,5 Gbits/s	10 – 40Gbits/s

2.2.5 Vieillissement de la fibre

Comme tous les autres supports de transmission filaire, la fibre peut avoir des ruptures en cause des facteurs climatiques comme l'humidité, les pluies etc. Ainsi que les mauvaises installations.
La corrosion par l'humidité d'une fibre de silice non protégée la rend très cassante en quelques heures. En plus la fibre peut être exposée à des matières chimiques qui peuvent la brûler. Le revêtement est donc étudié pour protéger la silice. Le facteur « n » mesure la résistance au vieillissement. [2.03]
Il est mesuré selon des normes internationales :

- n statique, lorsque les charges appliquées sont statiques
- n dynamiques, mesurées sous charge variable

On évalue la variation de la durée de vie en fonction de la charge appliquée et on extrapole dans le temps.
Les règles de l'art actuelles garantissent largement 25 ans de durée de vie. L'expérience montre que la plupart des ruptures effectivement rencontrées (plus de 95%) sont dues à des travaux de Génie Civil.

2.3 Caractéristiques de la transmission sur FO

Ces plusieurs problèmes doit être pallier en connaissant les caractéristiques techniques du canal de transmission (par exemple les équipements utilisés et la nature des signaux véhiculés).

2.3.1 Modulations dans une transmission sur FO

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les imprimer sur le signal à envoyer dans la fibre, c'est ce que l'on appelle une modulation qui est une fonction essentielle de tout système de transmission. On a deux possibilités de modulation pour réaliser une modulation d'émission : [2.01]

2.3.1.1 Modulation directe

On agit sur le courant de jonction qui provoque l'effet laser. La puissance optique délivrée varie linéairement en fonction du courant. Ce type de modulation provoque une modification dynamique du spectre due à la conversion amplitude-fréquence et du diagramme du rayonnement, avec des effets nuisibles aux grandes vitesses de modulation. [2.10]

2.3.1.2 Modulation externe

La modulation externe permet de contourner cette difficulté, l'émetteur est alors constitué d'une source optique émettant une onde pure suivie d'un modulateur externe. Le courant d'injection du laser n'est pas modulé. La modulation externe présente de nombreux avantages. Les est plus rapide et permet d'envoyer des débits plus élevées. [2.01]

2.3.1.3 Comparaison entre les deux modulations

La modulation direct est plus simple a utilisé et moins coûteuse et encore très utilisée si les données à transmises sont à un débit de quelques Gbits/s, selon la qualité du laser.
Mais au plus de 5Gbits/s, la modulation externe est plus indispensable pour maintenir une qualité correcte. Mais cependant, les modulateurs ne sont pas parfaits et peuvent engendrer des défauts mais leur impact est moins important.
La modulation externe est totalement contraire à la modulation directe qui module le signal avant de faire passer par le laser.

2.3.2 Détection

Pour la récupération des informations sur un signal lumineux, deux modes de détection sont envisageables : détection directe (détection incohérente) et détection hétérodyne (ou cohérente).

2.3.2.1 Détection directe (incohérente)

La détection directe consiste à convertir des fluctuations de puissance optique porteuse de l'information en fluctuation de courant électrique. [2.10]

L'extraction du signal qui module en amplitude une onde se réalise par le redressement ou plus généralement de faire passer le signal dans un dispositif non linéaire. Le signal modulant, un signal bas fréquence ainsi que des harmoniques sont alors émis. Dans la mesure où la fréquence de l'onde porteuse est très grande par rapport à la fréquence maximale du spectre du signal modulant, les harmoniques seront éliminés par filtrage.

2.3.2.2 Détection hétérodyne (cohérente)

La détection cohérente consiste à modulée la porteuse optique en amplitude, en phase ou en démodulée dans un détecteur qui réalise une fonction de mélange qui seront abordée. On a deux sortes de détection cohérente : la détection hétérodyne et la détection homodyne.

- La détection hétérodyne est la combinaison linéaire des signaux présents sur les deux entrées, récepteur et oscillateur qui est réalisée par le couplage du signal reçu et un signal issu de l'oscillateur local. [2.10].
- Une des hypothèses dans le développement de l'analyse faite jusqu'ici est basée sur le fait que la fréquence intermédiaire est non nulle. Toutefois, l'utilisation d'un oscillateur local qui soit à la même fréquence que le signal reçu et synchronisé en phase avec la porteuse de celui-ci est encore envisageable, c'est la réception homodyne, un cas particulier de la réception hétérodyne.

2.4 Conclusion

A la lecture de ce chapitre nous avons pu constater que la fibre optique est loin d'être un milieu de transmission idéale mais elle possède des qualités non négligeables pour la transmission de l'information qui lui ont permis de s'imposer dans les réseaux de télécommunications. Elle est un canal de transmission le plus répandu dans les systèmes de télécommunications mais elles possèdent des problèmes qui sont bien tolérable que dans d'autre canal de transmission.

Ainsi il est aussi important de savoir gérer les caractéristiques de la transmission afin de pallier les problèmes et pour que l'information à transmettre soit bien arrivé au destinataire finale.

Chapitre 3

SIMULATION D'UNE TRANSMISSION PAR FO : CAS DE LA JIRAMA D'ANTANANARIVO

3.1 Introduction

Comme tous supports de transmissions, les fibres optiques apportent certaines distorsions aux signaux transmis, limitant par conséquent la portée et la capacité de transmission des systèmes envisagées. La portée est limitée par l'atténuation que subit la lumière porteuse durant sa propagation dans la fibre. La capacité de transmission (ou bande passante de la fibre) qui concerne le signal modulant de la porteuse optique est limitée par les différents dispersions comme la dispersion intermodale et la dispersion chromatique qui sont les plus délicat pour les deux types des fibres.

3.2 Présentation du MATLAB

MATLAB ou « Matrix Laboratory » est un logiciel propriétaire développé par la société Mathworks. Il fonctionne sous plusieurs plateformes comme Windows, Mac, Unix et Linux. MATLAB est reconnu mondialement comme le premier éditeur de logiciels de calcul technique destinés aux ingénieurs et scientifiques des secteurs privés car il permet des visualisations de données rapides et précise en une dimension, deux dimensions ou même trois. Ainsi il permet aussi de piloter des expérimentations et surtout de réaliser facilement des programmes complexes ne nécessitant pas la programmation de routines ou fonctions disant classiques. Et comme son nom l'indique, elle traite donc la matrice comme une simple variable. C'est un langage très efficace pour l'optimisation du traitement des matrices d'où son nom MATrix LABoratory. [3.11]

Généralement, MATLAB contient une interface graphique puissante et une grande variété d'algorithme scientifiques qui peut intégrer des centaines de fonctions mathématiques et d'analyse numérique comme traitement de signal, traitement d'image et les visualisations graphiques.

3.2.1 Démarrer et quitter MATLAB

MATLAB est un système interactif et convivial plus simple à utiliser. Pour le démarrer il suffit de tapez >> MATLAB et pour le quitter on tape tout simplement >> quit ou >>exit.

3.2.2 Espaces de travail

Il existe deux façons de travailler sur MATLAB :

- Exécution à partir de la fenêtre de commande

MATLAB peut être directement exécuté à partir de la fenêtre de commande ou « commande windows » qui est l'un des principaux outils permettant de saisir des données, d'exécuter les fonctions MATLAB et d'autres fichiers et aussi d'afficher les résultats. Dans la suite du document les deux chevrons « >> » indiquent que les instructions sont tapées sous la fenêtre de commande.

- Interface de programmation

Les interfaces permettent de contrôler les applications logicielles avec les commandes de type pointer-cliquer. L'utilisateur n'a pas besoin de connaître un langage ni de saisir dans les commandes pour se servir de l'application. Les commandes sont alors placées les unes après les autres dans le fichier texte de façon à former globalement un programme ou script. Script qui est modifié ou créé à l'aide de n'importe quel éditeur de texte, en particulier le plus pratique est l'éditeur de texte MATLAB. Il important que le nom du fichier comporte l'extension « .m ». [3.11]

3.3 Bilan de liaison par FO

Le bilan de liaison est un calcul par étapes permettant de déterminer la qualité de liaison. On doit considérer certaine condition pour pouvoir minimiser les problèmes de la transmission que l'on connait déjà.

On doit donc considérer la perte maximum permise entre l'émetteur et récepteur et aussi la marge de sécurité que l'on doit prévoir lors d'une transmission.

La perte maximum que l'on parle ci-dessus est la différence entre la puissance émise et la sensibilité du récepteur. Elle est exprimée en décibel (dB). Et la marge de sécurité est la somme de la marge de fonctionnement et la marge de maintenance. La marge de fonctionnement est la marge dans laquelle une transmission peut s'effectuer. C'est donc la différence entre la puissance minimale reçue et le seuil de la réception. Et pour la marge de maintenance, elle correspond aux incidents que peut subir le câble optique.

Cette marge de sécurité doit tenir compte de la variation des caractéristiques des composants avec la température et le vieillissement de la fibre. Elle a une valeur recommandée qui de 3dB.

Les pertes totales en ligne occasionnées par la fibre et ses connexions doivent être inférieures au bilan de liaison compte tenu de la marge de la fibre.

La puissance du signal qui doit être envoyée dans la fibre optique dépend des caractéristiques de bruit de récepteur, de la bande passante de la fibre, des pertes de connecteurs et celle de la transmission dans le câble.

La puissance reçue Pr est donnée par la relation suivante :

$$P_r = P_E - A_{absorption} - A_{dispersion} - P_{Epissure} - P_{Connecteur} \quad (3.01)$$

Avec P_E: $puissance\ émise$

P_r : $puissance\ reçue$

A : atténuation

P : perte

3.3.1 Puissance de réception maximale et minimale

Deux caractéristiques de puissance de réception sont en général indiquées par les fabricants : l'une est la puissance minimale P_{min} , qui correspond à la valeur garantie en fin de vie et l'autre à la puissance maximale P_{max}.

En conséquent, en appelant A_{total} l'atténuation total en incluant si nécessaire un atténuateur de protection, la puissance de réception doit être comprise entre les valeurs :

$$P_{Emax} - A_{totale} > P_{Rmax} - M_S > P_R$$

Avec $A_{total} = A_{Absorption} + A_{dispertion} + P_{Eppisures} + P_{Connecteurs} + P_{Atténuateur}$ (3.02)

3.3.2 Atténuation due à la dispersion

La dispersion chromatique et la dispersion de polarisation modale sont deux caractéristiques particulières de la fibre qui produisent un élargissement temporel de l'impulsion. En supposant une impulsion de densité spectrale gaussienne, les bandes de fréquences électriques $B_{El}\ et\ B_{Opt}$
Occupées par le signal à 50% de la puissance sont données par les relations :

$$B_{El} = 0{,}612\delta \qquad \text{et} \qquad B_{Opt} = B_{El}\sqrt{2} \quad (3.03)$$

Avec δ: *le débit nominale*

Par analogie avec un guide d'onde, on définit une fréquence de coupure F_c en fonction de la dispersion totale D donnée par la relation empirique :

$$F_c = \frac{0,44}{D} \tag{3.04}$$

On peut donc calculer l'atténuation due à la dispersion chromatique à l'aide de cette formule empirique :

$$A_{totale} = 10.log\left[e^{\left(\frac{B_{El}}{F_C}\right)}\right] \tag{3.05}$$

3.4 Présentation de la démarche à suivre

On entend par bilan de transmission, le choix d'un support de transmission qui se base sur les caractéristiques du signal qui y circule. Pour calculer alors les valeurs caractéristiques du signal émis dans une fibre monomode pour une liaison terrestre, on se propose d'utiliser quelques outils mathématiques.

Le logiciel ci-après permet de calculer la performance de la liaison optique.

Nous avons une interface d'accueil qui comporte le choix des calculs à faire, soit les caractéristiques de la fibre soit les caractéristiques des équipements utilisés.

Après avoir effectué le choix des calculs à faire, on clique sur les boutons suivants pour continuer :

- Le bouton OK : permet d'accéder à l'interface de calcul
- Le bouton Quitter : permet de quitter l'interface

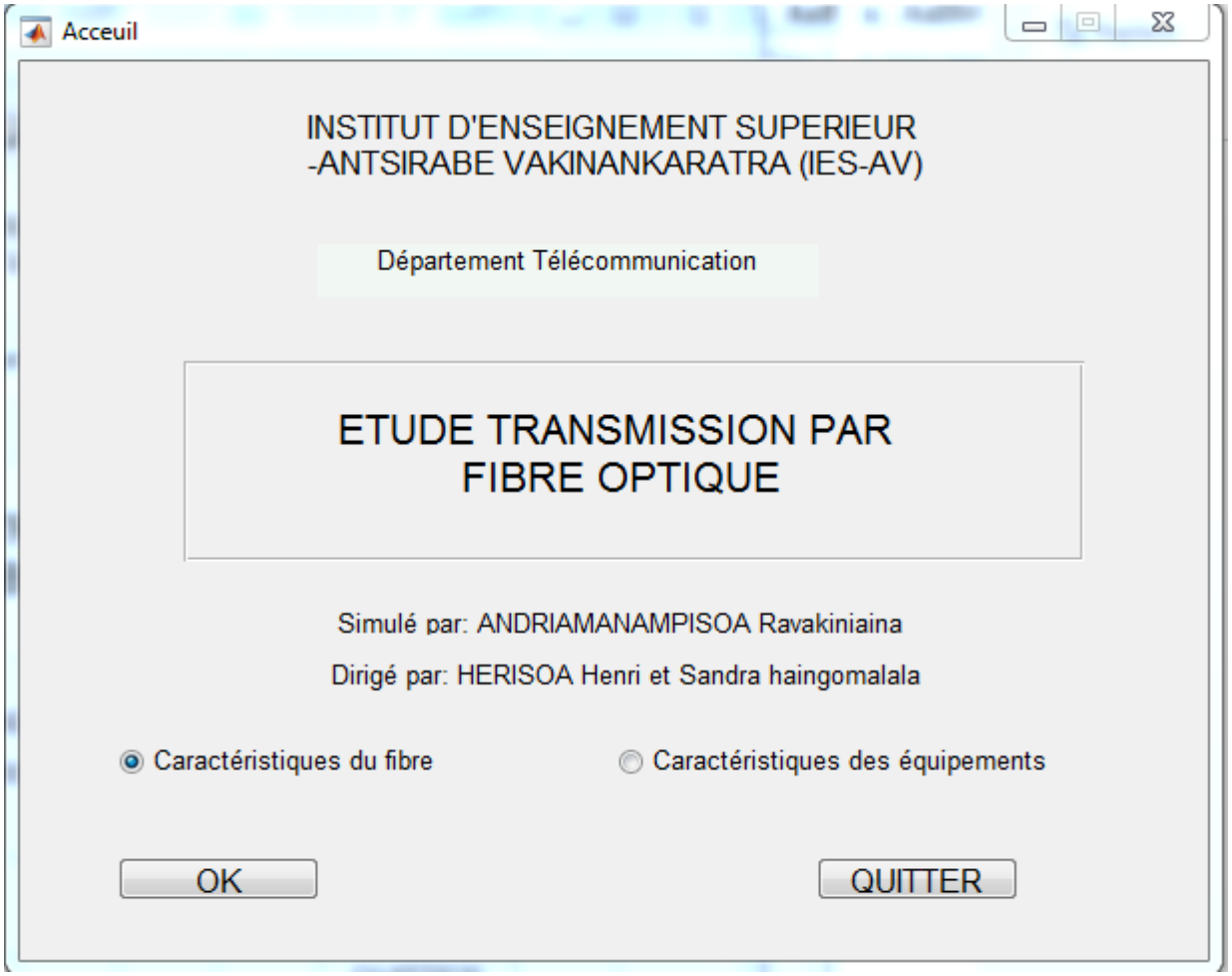

Figure 3.01 : *Interface d'accueil*

Les calculs seront réalisés automatiquement à partir d'une interface et les résultats qui devront être évalués sont les suivants

- Atténuation par la fibre
- L'atténuation due à la dispersion chromatique
- Les pertes de connecteurs
- Dispersion chromatique totale
- L'atténuation totale de la fibre
- La fréquence de coupure
- La marge de fonctionnement
- La marge de sécurité

- La puissance maximale reçue
- La puissance minimale reçue

3.4.1 Objectifs à l'obtention des résultats

Dans les transmissions à haut débits comme celle de la FO, il est avantageux et important de gérer la dispersion chromatique surtout quand il s'agit d'une fibre monomode. L'objectif est donc d'obtenir une dispersion chromatique cumulée sensiblement nulle sur la liaison, de sorte à limiter l'élargissement des impulsions pour que l'information à transmettre ne subisse pas trop de perte jusqu'à son arrivé au destinataire.

Après l'analyse de dispersion chromatique, on peut en déduire si la fibre est de bonne qualité et aussi si elle est bien installée.

3.4.2 Informations en entrées

Pour pouvoir analyser les conséquences sur une transmission, quelques informations sont obligées à l'entrée de l'interface. Ces informations sont subdivisées en deux (2) parties : ceux qui les caractérisent la fibre optique et ceux qui caractérisent les équipements utilisés lors d'une transmission.

3.4.2.1 Caractéristiques de la fibre optique

- La longueur de la fibre : il est important de savoir la longueur pour pouvoir calculer l'atténuation de la dispersion chromatique, la fréquence de coupure et d'autre calcul. Il porte l'unité kilomètre (Km).

- La dispersion chromatique : celle-ci est la dispersion chromatique de la fibre par kilomètre. Il prend pour unité $ps.nm^{-1}.Km^{-1}$

- Atténuation linéique : donnée par le fabricant de la fibre et entre dans le calcul de l'atténuation de la fibre.

- Le nombre d'épissure : nécessaire pour le calcul de l'atténuation due aux épissures. Souvent, il est donné par le fabricant de la fibre.

- La perte par épissure : représente la perte due à une rencontre d'une fibre à une épissure. Son unité est en décibel

Tous ces paramètres de la caractéristiques de la fibre sont donnés par l'entreprise JIRAMA lors du

Visite de la source de l'installation.

3.4.2.2 Caractéristiques des équipements

- Le seuil de réception : c'est une valeur au-delà de laquelle une information ne peut plus être prise en charge par le récepteur

- La dispersion maximale admissible : elle entre dans le calcul de la largeur spectrale du laser. Son unité est la picoseconde par kilomètre « ps/km »

- La puissance maximale d'émission : c'est la puissance maximale que l'émetteur puisse envoyer. C'est le fabricant des équipements qui définit cette puissance.

- La puissance maximale de réception : c'est la plus grande puissance que le récepteur puisse capter.

- La puissance garantie : désigne la puissance qui est sûre d'être envoyée par l'émetteur

- Le débit nominale : c'est la vitesse de transmission que la fibre mène jusqu'au récepteur et qui prend pour unité le picoseconde « ps ».

- Nombre de connecteur : utilisé pour le raccordement des fibres

- Perte par connecteur : désigne la perte au sein des connecteurs

3.5 Interface de calcul

L'interface qui permet de réaliser le calcul du bilan de liaison ci-dessus est représenté sur la figure ci-après. On a représenté l'étude des deux caractéristiques de la transmission sur deux interfaces différentes avec leurs résultats respectifs. Les valeurs à remplir sont à gauche de l'interface et les résultats à droite.

La première interface est pour les caractéristiques de la fibre avec les résultats qui leurs convient.

Et la deuxième interface est pour les caractéristiques des équipements utilisées avec les résultats.

Une fois que tous les champs de valeurs sont remplis, on distingue trois boutons qui sont :

- Le bouton calculer : pour pouvoir effectuer les calculs sur l'interface
- Le bouton courbe : pour tracer la courbe consistant à la performance à calculer
- Retourner : pour quitter l'interface

La deuxième interface ne contient que deux boutons car il n'y a pas de courbe à tracer mais seulement les calculs nécessaires :

- Le bouton calculer pour effectuer les calculs
- Le bouton retourner pour quitter l'interface

Figure 3.02 : *Interface de calcul de la caractéristique de la fibre*

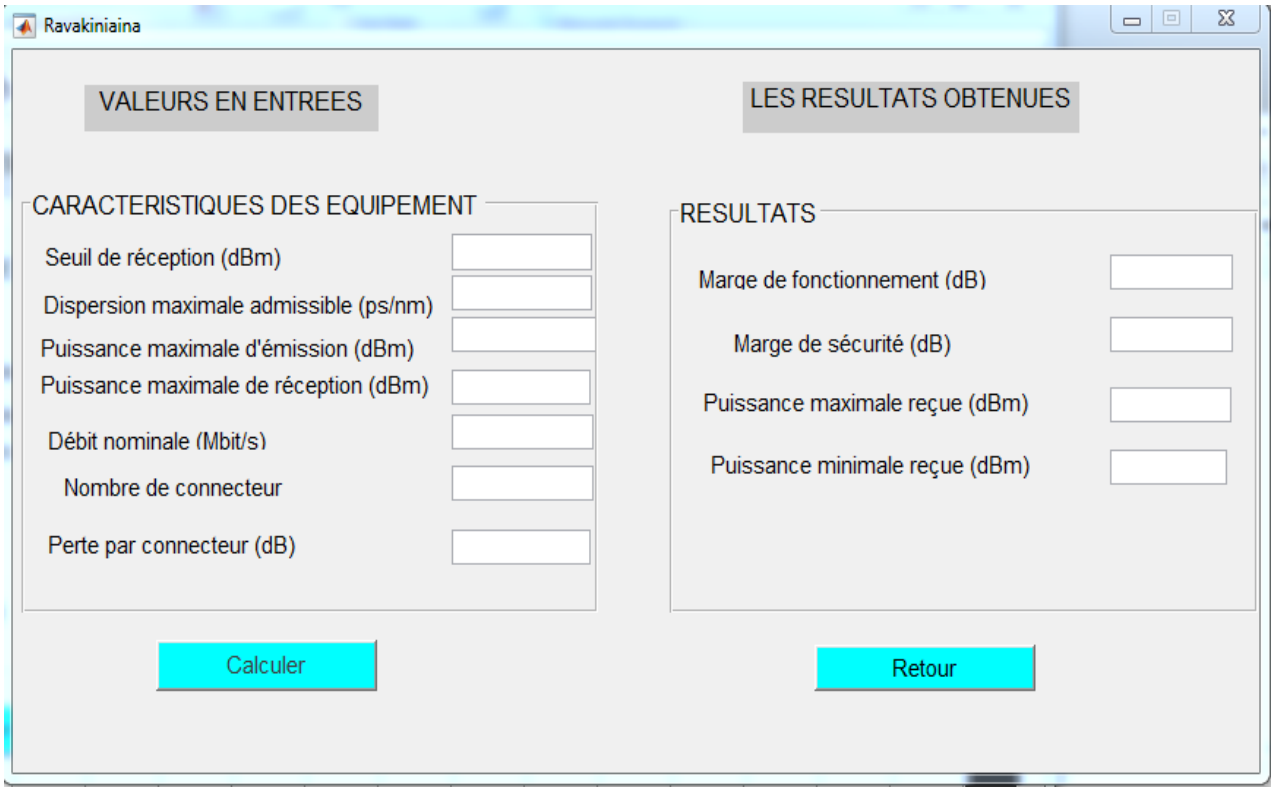

Figure 3.03 : *Interface de calcul des équipements utilisés*

3.6 Etude échantillon fibre de l'entreprise JIRAMA

Pour pouvoir réaliser une étude sur la transmission par FO, un premier test a été effectué avec la fibre optique de la grande entreprise d'eau et d'électricité Malgache à Antananarivo.

L'entreprise utilise la FO comme support de transmission qui relie plusieurs quartiers dans la capitale.

L'entreprise envisage de réinstaller la fibre qui relie le quartier d'Antsahavola jusqu'au quartier d'Andavamamba. On va donc réaliser notre étude sur ce segment de fibre.

Avant la réinstallation, il est préférable d'analyser l'évolution de la dispersion chromatique et les atténuations dans la fibre si elle affecte la transmission ou non.

Une fois que l'analyse est terminée, on peut en déduire si la réinstallation de la fibre est utile ou non.

La fibre est de type monomode G-652 et mesure généralement 5km. Le diamètre du cœur gaine optique est de $9\mu m$. Elle a les caractéristiques suivantes :

- Affaiblissement linéique : 0.32dB
- La dispersion chromatique : 20 $ps.nm^{-1}.km^{-1}$
- Nombre d'épissure : 5
- Perte pour chaque épissure : 0.05dB

Et pour les caractéristiques des équipements utilisées, les valeurs qu'on a prises sont les suivantes :

- Le seuil de réception est de -10dBm
- La puissance maximale d'émission : 15dBm
- La puissance maximale de réception : 9dBm
- La dispersion maximale admissible : 3000ps/nm
- Le débit nominal : 2541Mbit/s
- La perte par connecteur : 0.6dB
- Le nombre de connecteur : 2

Après avoir remplir ces valeurs de caractéristiques, les calculs seront réaliser avec l'interface et les résultats sont affiché à droite.

A l'obtention de ces résultats la courbe de dispersion chromatique sera tracée ci-dessous et c'est à partir de cette courbe qu'on peut déduire si la fibre a besoin de réinstallation ou non.

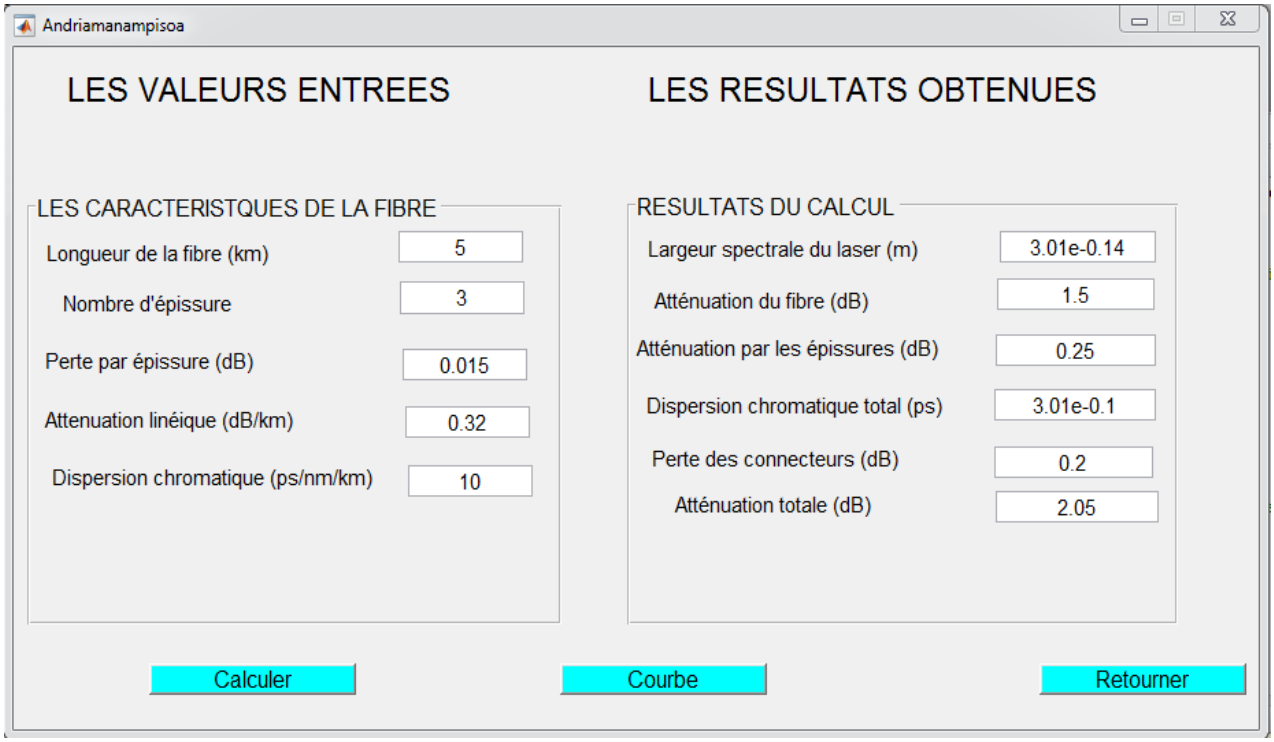

Figure 3.04 : *Affichage des résultats du calcul pour les caractéristiques de la fibre*

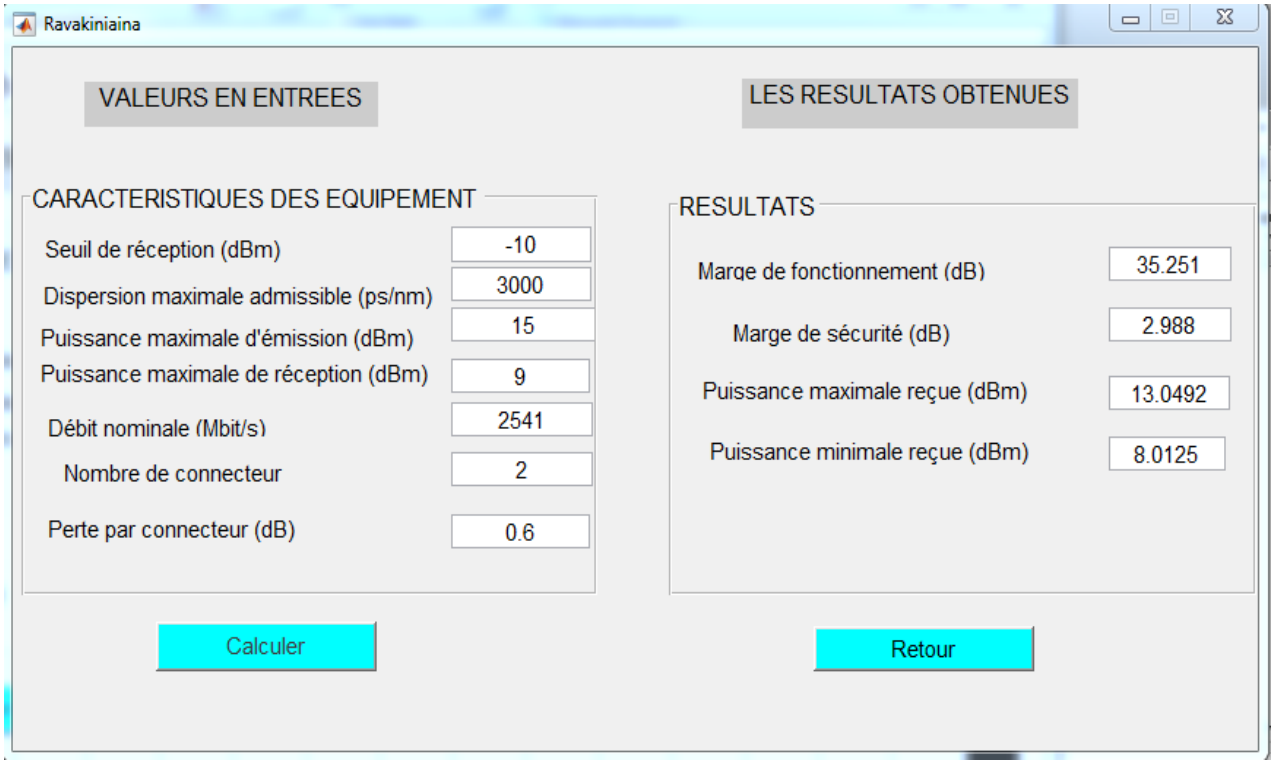

Figure 3.05 : *Affichage des résultats du calcul des équipements utilisés*

D’après ces résultats qu’on a obtenus, on peut remarquer que la puissance minimale reçu est supérieure au seuil de réception avec la marge de fonctionnement est inférieur à la puissance maximale admissible sous l’influence de la marge de sécurité.

La représentation de la dispersion chromatique est donc comme suit :

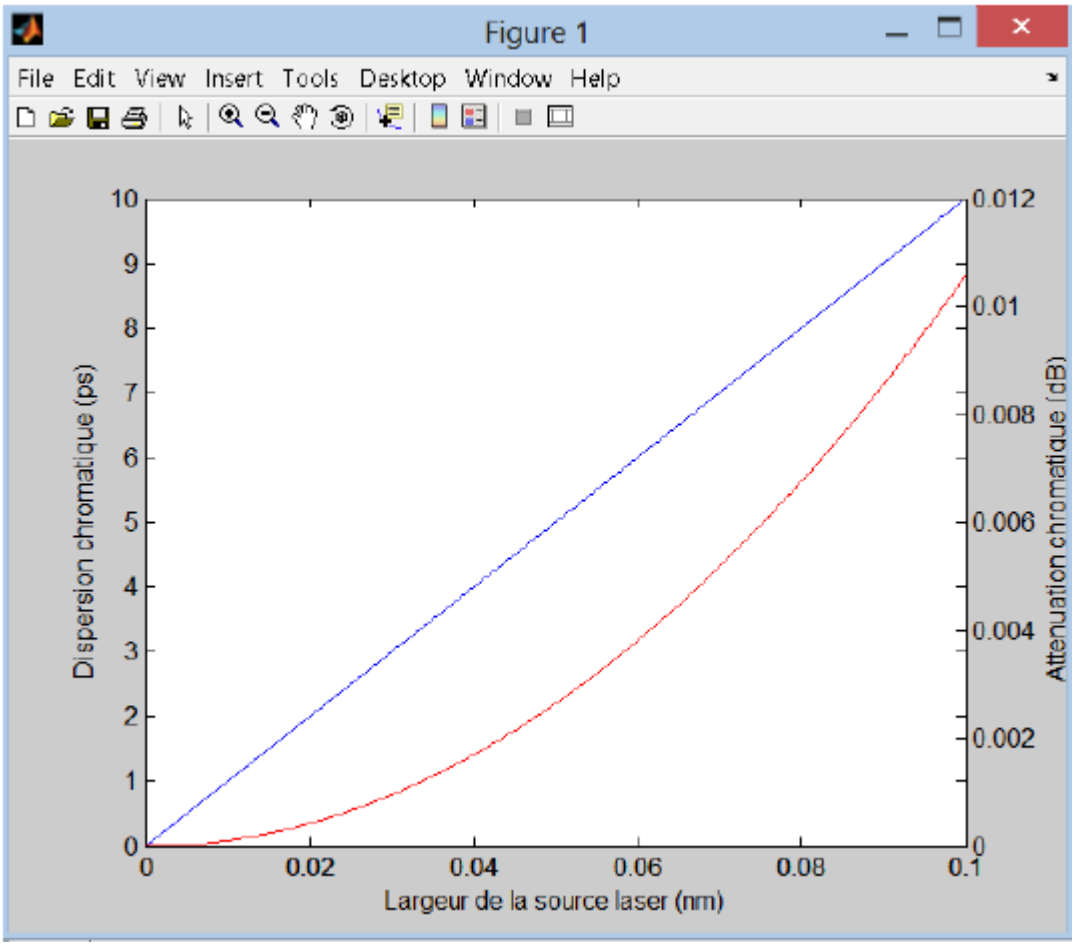

Figure 3.06 *: Performance de la liaison optique*

D’après cette figure, on a pu constater que plus la largeur spectrale n’est grande, plus la dispersion chromatique n’augmente. On peut dire alors que la dispersion chromatique est donc proportionnelle à la largeur spectrale et son évolution reste constant.

D’où pour avoir une faible atténuation, il faut utiliser comme émetteur les lasers de faible largeur spectrale.

Interprétation du résultat

Vu les résultats qu’on a obtenus, on constate que la dispersion chromatique présente dans la fibre

de l'entreprise n'est donc pas favorable à la transmission. On peut dire alors que la fibre est bien installée et aussi de bonne qualité car l'atténuation est faible et les pertes présentes dans la fibre est aussi négligeable. La réinstallation de la fibre entre les deux quartiers est donc inutile.

3.7 Avantages et Inconvénients de la transmission par fibre optique

3.7.1 Les avantage

Nombreux sont les intérêts de ce procédé de cette transmission par fibre optique et c'est pourquoi l'entreprise a accédé à son utilisation. Ces principaux atouts sont les suivantes :

3.7.1.1 Faibles atténuations

La perte du signal sur une grande distance est bien plus faible que lors d'une transmission électrique dans un conducteur métallique. En effet, tous les supports de transmission présentent tous des pertes, mais pour la liaison optique, elle est négligeable grâce aux puissances émettrices et réceptrices.

3.7.1.2 Grandes bandes passantes

La FO permet d'atteindre des capacités de transport plus élevée que la cuivre les bandes passantes typiques sont de 200 à 600 MHz/km pour les fibres multimodes et >10 GHz/km pour la fibre monomode.

3.7.1.3 Vitesse de transmission très élevées

La lumière qui voyage dans la fibre se propage à plus près de 300.000km/s, ce qui crée une vitesse relativement instantanée. La seule restriction sur la vitesse se trouvant à être la dispersion. La rapidité des fibres reste incontestablement plus grande que celle des cuivres. Cette vitesse dépend de l'indice de réfraction du cœur ainsi que la gaine. Elle s'obtient en assurant la réalisation de la relation suivante :

$$V = \frac{c}{n} \tag{3.06}$$

Avec

V : vitesse de l'onde

C : la célérité de la lumière

n : indice de réfraction

3.7.1.4 Taille et poids

La légèreté est importante, aussi bien pour réduire les poids qui s'exercent sur les installations complexes dans les bâtiments, ainsi pour réduire la traction des longs des câbles à leurs

extrémités. Un câble optique pèse beaucoup moins qu'un câble cuivre. Ceci en conjonction avec les types des matériaux utilisés, rend l'utilisation et la manipulation des FO plus faciles et avantageuses.

De plus, la FO est un fil très mince et sa souplesse la rend facile à manipuler. Légère, mince, souple ne veut pas dire fragile. La gaine protectrice du câble accomplit très bien sa tâche en la rendant un peu rigide, pour qu'elle ne soit pas trop molle, et très peu corrosive.

3.7.1.5 Isolation électrique

Les FO permettent d'effectuer des transmissions entre point de potentiels électriques différents, et au voisinage d'installations à haute tension.

3.7.1.6 Insensibilité aux perturbations électromagnétiques

Comme la fibre optique n'utilise pas des signaux électromagnétiques, donc cet atout la rend insensible à ces derniers, contrairement au câble de cuivre. Les différents bruits, quelques soient leurs natures, champs électromagnétiques qui font distordre les signaux en câble cuivré n'ont aucun effet sur la transmission optique.

3.7.1.7 Liaison non détectable

Les câble à FO étant la plus part des cas totalement diélectrique, ils sont transparents vis-à-vis de types détecteurs.

3.7.2 Les inconvénients

3.7.2.1 Atténuation

L'atténuation est la perte de force du signal lumineux. Les ondes voyageant dans la fibre ne sont pas toutes alignées et parallèles. Elles vont toutes dans la même direction, certes, mais ne suivent pas toujours le même parcours.

En effet, chaque onde ne se reflète pas au même moment et il peut donc arriver que, en cas de plis ou courbure du câble, une certaine quantité d'onde lumineuse, ayant dépassé l'angle critique, soit perdu. La force du signal à destination est donc bien inférieure à celle de l'initiale. Cette atténuation porte l'unité de décibel par kilomètre pour une utilisation en télécommunication. Elle peut varier de 0,5 dB/Km à 1000 dB/Km et sera fonction du diamètre du cœur de la fibre.

3.7.2.2 La dispersion

La dispersion peut être définie comme le non parallélisme des ondes voyageant dans la fibre.

Si une onde suit un déplacement en zigzag, en rebondissant d'un coté à l'autre du noyau, son parcours est beaucoup plus long que celle qui voyage en ligne droite. Plus la distance est grande,

plus elle prend du retard par rapport à celle qui circule en ligne droite. Ce qui crée un phénomène d'allongement du signal ou encore appelée dispersion dans le temps.
Dans le cas de l'envoi de deux signaux successifs, il pourrait se créer une superposition où le récepteur ne saurait plus différencier les deux signaux. On appelle largeur de spectre, la fréquence maximale à laquelle on peut émettre deux signaux successifs sans avoir de superposition.
Mais il y en a de possibilité de réduire ce problème en utilisant une fibre de diamètre du cœur plus petit. Plus le diamètre du cœur est petit, plus les signaux lumineux voyageant non rectilignes comme en fibre multimode prennent du retard et dans ce cas la largeur du spectre devient grande. On trouve ce cas dans les fibres monomodes.

3.8 Conclusion

En résumé, la simulation s'est divisée en deux parties. En premier, on a établi l'interface permettant d'effectuer les calculs nécessaires pour les caractéristiques de la fibre et en second, l'interface pour les équipements utilisés. Le bilan de liaison correspond au maximum des pertes permises entre l'émetteur et le récepteur.
On a pu remarquer grâce à ce travail que l'utilisation de la FO dans le système de transmission numérique permet de réduire considérablement la dégradation du signal émis, ainsi que la dégradation due aux bruits et aux affaiblissements linéiques de supports physiques de communication.

Avant d'y mettre fin à ce travail de recherche, résumons tous dans la conclusion générale.

CONCLUSION GENERALE

Le travail s'est fixé comme objectif l'étude de la transmission par fibre optique. Et afin de mettre en œuvre un tel objectif, on a commencé par savoir ce que c'est la fibre en générale, suivi des problèmes et les caractéristiques techniques de la transmission. Par la suite nous avons simulé la transmission en calculant le bilan de liaison d'un échantillon d'une fibre pour connaitre la performance de la liaison optique. Vu les résultats qu'on a obtenu du calcul on peut dire que l'utilisation optimale de cette fibre a reconnu un grand succès au sein de l'entreprise JIRAMA.

On a obtenu une bonne qualité de transmission donc la fibre est bien installée et aussi de bonne qualité. La réinstallation de la fibre qui relie les deux quartiers est donc inutile.

Au cours de ces dernières décennies, la fibre optique est devenue très importante dans le monde de télécommunication. Non seulement, elle est très utilisée pour une transmission à très longue distance mais aussi indispensable pour le transport des signaux à des débits très élevées. Nombreux sont donc les immeubles, les grands bâtiments et les grandes entreprises qui sont à l'obligation d'utiliser la FO comme support de transmission pour accéder à ses nombreux avantages. L'entreprise JIRAMA de Madagascar est l'une de ces sociétés qui utilise la FO.

Et même si la transmission par FO représente parfois quelques problèmes, son avènement apportera un grand changement sur le système de télécommunication dans notre pays et surtout au sein de l'entreprise malgache. De plus une liaison par fibre optique requiert toujours les fonctions fondamentales qui sont respectivement : la génération de signale (émetteur), la propagation (transmission, amplification, et routage des données) et la détection en réception. La fibre optique représente le moyen privilégié des communications à hauts débits, assurant à la téléphonie mobile, ainsi qu'aux autres services une transmission longue distance.

La fibre optique représente assurément le meilleur moyen actuel pour transporter de très hauts débits d'informations numériques, et les besoins dans ce domaine vont probablement augmenter très fortement dans un avenir proche. Il est vraisemblable que la demande concernant un simple accès Internet, d'ici quelques années, sera de plus en plus développée et dans ces mêmes conditions la transmission de l'information aura complètement un grand changement dans le domaine de la télécommunication

ANNEXES

Annexe 1 : RACCORDEMENT FIBRE OPTIQUE

Il existe deux façons de raccorder la fibre optique : soit par épissurage, soit par l'utilisation des connecteurs.

A1.1 - Episurage

Cette opération à raccorder directement les deux fibres par soudure au moyen d'arc électrique, en alignant le mieux possible les deux cœurs de fibre. Elle se fait grâce à un appareil appelé soudeuse ou épissureuse.

- Avantages

Cette méthode de raccordement est rapide et relativement simple à mettre en œuvre ainsi la perte de lumière engendrée par la soudure, due à un alignement des cœurs imparfaits restent très faible.

- Inconvénients

Ce type de raccordement est relativement fragile (malgré une protection de la fusion par un tube thermo rétractable).

C'est raccordement définitif alors il faut investir dans une soudeuse

A1.2 - Utilisation des connecteurs

Dans ce type de raccordement, il faut réaliser le câblage d'un connecteur à chacune des extrémités des fibres à raccorder. On peut alors raccorder les deux fibres en raccordant les deux connecteurs.

- Avantages

L'utilisation des connecteurs est robuste. On peut choisir le type de connecteur et la robustesse de celui-ci en fonction du domaine d'application du système.

De plus ce type de raccordement est amovible. On peut connecter et déconnecter les deux fibres plusieurs centaines à plusieurs milliers de fois sans détérioration.

- Inconvénients

La mise en œuvre est moins rapide que la fusion, et requiert une expérience ainsi que des outillages spécifiques.

La perte de lumière due à la connexion est plus élevée que dans le cas d'une épissure.

A1.3 - Appareil de mesure pour le raccordement

Deux méthodes sont envisageables pour mesurer comment la lumière est acheminée dans la fibre : Utilisation du réflectomètre (la réflectométrie) et la photomètre (la photométrie)

La synthèse des fonctions des deux appareils sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau A1.01 : *Synthèse des fonctions de la photométrie et de la réflectométrie*

	Le photomètre	Le réflectomètre
Principe de mesure	Mesure l'atténuation d'un signal lumineux entre un récepteur et un émetteur, celui-ci émettant une puissance calibrée	Mesure la puissance optique rétrodiffusée vers l'origine de la fibre (le point de test)
Résultats	L'affaiblissement lumineux sur le lien, sans pouvoir dissocier l'origine des pertes, pertes en ligne et pertes connecteurs. L'affaiblissement s'exprime en dB	La longueur de la liaison • L'affaiblissement global de la liaison • L'affaiblissement des différents éléments la caractérisant • La réflectance des éléments • Dresse une cartographie complète de l'installation

Restriction d'usage	• Pour des longueurs inférieures à 10 m • Nécessite un appareil à chaque extrémité de la liaison à tester	• Pour des longueurs supérieures à 10 m • Nécessite une interprétation des résultats, ce qui peut conduire à effectuer des mesures complémentaires pour lever les ambiguïtés

Outillages nécessaires pour le raccordement des fibres optiques

Notons que deux facteurs influent directement sur le coût du point raccordé suivant l'importance de l'installation et la répétition des opérations :

• L'achat de l'outillage et des consommables.

• Le temps passé à réaliser le raccordement.

• Un calibre de polissage.

Cependant, un raccordement traditionnel nécessite :

En outillage

• Un dénudeur de câble.

• Plusieurs pinces à dénuder la fibre.

• Soudeuse

• Une pince à sertir.

• Pince à dégainé

•Cliveuse

En consommables

• Une seringue.

• De la colle.

• Des abrasifs.

• De l'alcool et des chiffons.

Il existe des solutions de colle à froid.

ANNEXE 2

PRESENTATION DE LA SOCIETE D'ACCEUIL

A2.1 Présentation générale de la société JIRAMA

A2.1.1. Localisation et contact

Le siège de la société JIRAMA se situe à Ambohijatovo Antananarivo. On peut le contacter via les numéros : (261) (020) 22 670 31 / (261) (020) 22 674 05 / (261) (020) 22 674 15. Son site web est le ***www.jirama.mg*** et l'adresse électronique du siège est ***dg@jirama.mg*** dont le fax est (261) (020) 22 333 06.

A2.1.2.Organigramme

Etant une société anonyme de droit commun détenue entièrement par l'Etat Malagasy, la JIRAMA est dirigée par un Conseil d'administration auquel répond le Directeur Général. Il est nommé par le Ministère chargé de l'énergie.

Le Conseil d'administration est composé des représentants de l'Etat, notamment des ministères de tutelle et des représentants des employés. L'organisation de la Jirama reflète ses deux grandes activités que sont l'eau et l'électricité. L'entreprise déploie aussi parallèlement une organisation géographique faite de directions interrégionales dans chacune des six ex- provinces de Madagascar. Les membres du conseil d'administration de la JIRAMA ont été nommés par le décret 2009-985 du 22 juillet 2009.

Les principaux personnels cadres qui dirigent maintenant l'entreprise JIRAMA sont

- Direction Générale ou DG : Olivier Aimé JAOMIARY
- Directeur Général Adjoint des opérations : Henri RANDRIAMANANA
- PCA : **Hyacinthe Befeno Todimanana**

Voici l'organigramme représentant l'architecture et l'organisation de la société:

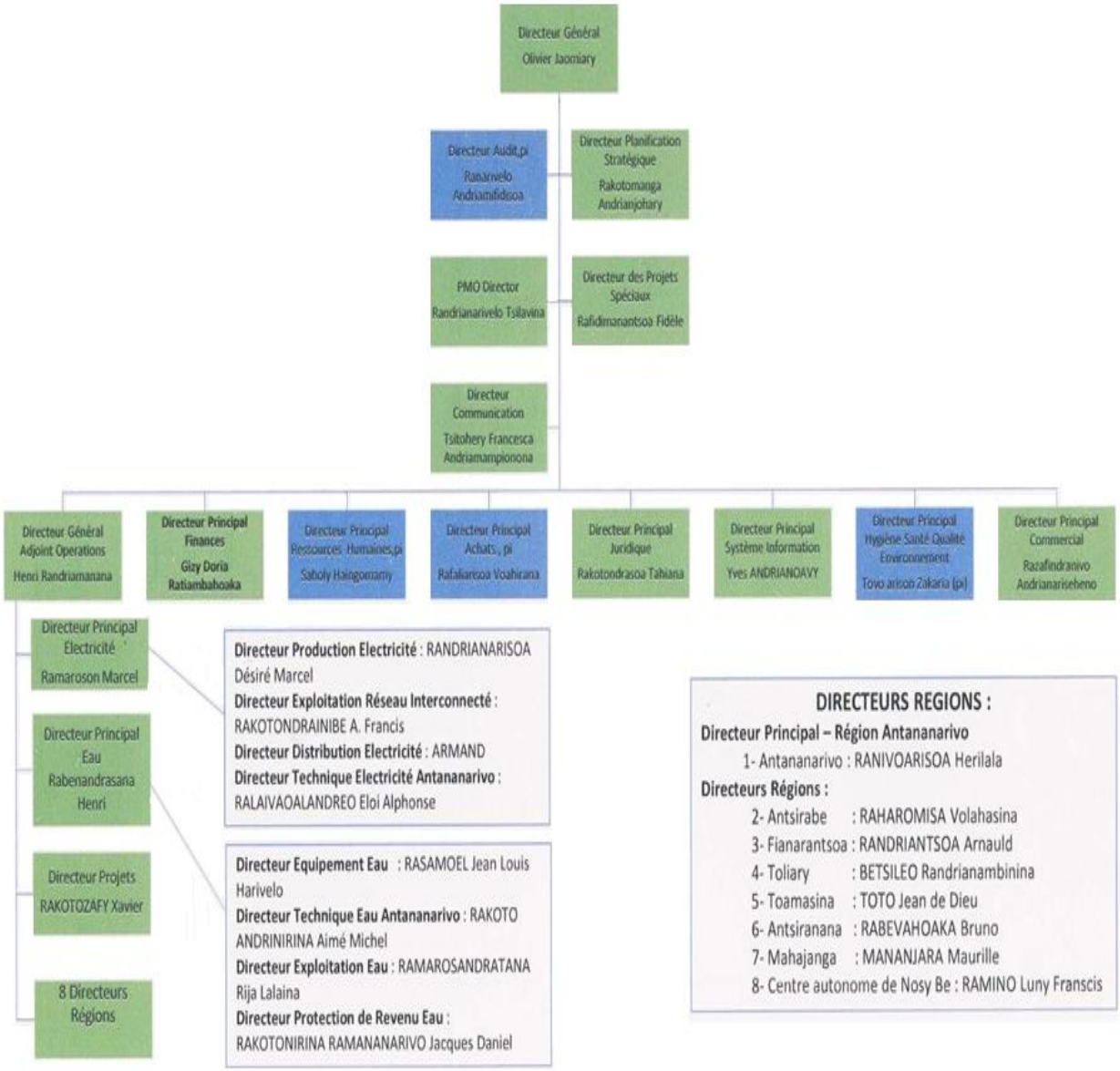

Figure A2.1 - *Organigramme de la JIRAMA*

A2.2 Présentation de la Direction des Systèmes d'Information

A2.2.1 Localisation

Depuis l'année 2009, la DSI et ses Départements a été transféré dans les locaux des bâtiments de Jirama à Antsahavola, qui était auparavant à Ambatomitsangana IVB 33 Ter, Rue Marguerite Barbier.

A2.2.2. Organigramme

L'organisation de la Direction des Systèmes d'Information se présente comme suit :

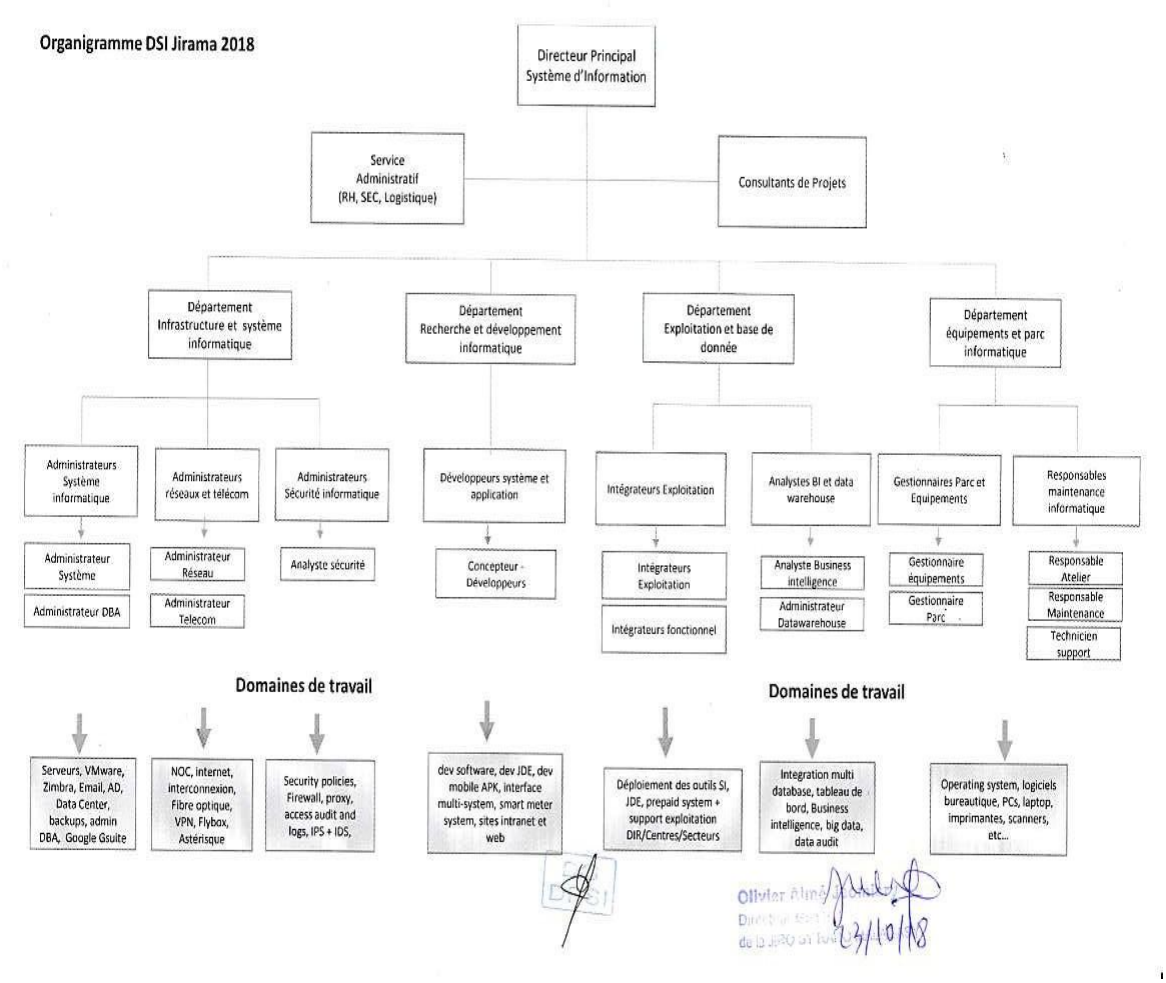

Figure A2.2 - *Organigramme de la DSI JIRAMA*

A2.2.3 Missions

La direction système d'information est rattachée à la direction générale. Elle a pour mission d'organiser et gérer le système d'information de la JIRAMA (applications et infrastructures) Assister la direction générale, les autres services et directions de la JIRAMA dans la définition de leurs besoins et dans la conduite des projets SI. Donc ses principales missions sont :

- Conduire la mise en œuvre et l'exploitation des solutions et infrastructures informatiques au sien du système d'information

- Maintenir en condition opérationnelle et faire évoluer les infrastructures : réseau, serveurs, applications informatiques
- Mettre tous les moyens en œuvre pour garantir la sécurité du système d'information (SSI) Accompagner les usages des nouvelles technologies informatiques par l'assistance, la formation et la veille technologique

A2.2.4 Environnement de travail et défis actuels

La direction des systèmes d'information travaille en étroite collaboration avec les différents directions et départements au sein de la JIRAMA, mais reste aussi en contact avec de multiples intervenants (prestataires, fournisseurs, maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, consultants ...).

Les principaux défis seront principalement :

- De continuer la modernisation du système d'information utilisant la transformation numérique des processus
- D'innover et faire évoluer à long terme le système d'information D'apporter le support et assistance nécessaire à la compagnie et aux
- Collaborateurs. Leur proposer des outils informatiques adaptés simplifiant le mode travail et augmentant la productivité.

REFERENCES

[1.01] JL.VERNEUIL, « *Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits* » 2003

[1.02] Maurice Françon, http://www.Fibre_optique.org/Fibre_Optique_5_html Paris, 1992

[1.03] Thèse IGE.24 : Liaison par Fibre Optique à haut débits

[1.04] P. Lecoy : « *Télécommunications optiques* »: Hermes : Paris 1992

[1.05] Decusatis Casimer. *Fiber. "Optique Data Communication"*. New York 2007

[1.06] Y. Suematsu, K-I. Iga : « *Transmission sur fibres optiques* » : Masson : Paris, 1996

[1.07] C.RATSIHOARANA «*télécommunication par transmission optique*», cours troisième année Licence ès Sciences Techniques, AU : 2012/2013

[1.08] C. Vassalo: « *Fibres optiques pour les Télécommunication* » : Techniques de l'Ingénieur, Traité Eléctronique, E 7 370, Paris 1990

[1.09] K. Moustafa et BH.Benfrech: « *Etude et simulation d'une transmission WDM* » INT&TIC 2003

[1.10] C.Cedric « Bruit Bass et Moyenne Fréquence des amplificateurs » Dunod, 1996

[1.11] AK.DAOUI «*Fibre optique microstructures : Modélisation et optimisation des propriétés optiques* »2009

[2.01] Thèse IGE.24 : Liaison par Fibre Optique à haut débits

[2.02] C.RATSIHOARANA «*télécommunication par transmission optique*», cours troisième année Licence ès Sciences Techniques, AU : 2012/2013

[2.03] Y. Suematsu, K-I. Iga : « *Transmission sur fibres optiques* » : Masson : Paris, 1996

[2.04] JL.VERNEUIL, « *Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits* » 2003

[2.05] Thèse IGE.24 : Liaison par Fibre Optique à haut débits

[2.06] AK.DAOUI «*Fibre optique microstructures : Modélisation et optimisation des propriétés optiques* »2009

[2.07] Y. Suematsu, K-I. Iga : « *Transmission sur fibres optiques* » : Masson : Paris, 1996

[2.08] Decusatis .C « *Fiber.Optique Data Communication* ». New York 2007

[2.09] JL.VERNEUIL, « *Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits* » 2003

[2.10] JL.VERNEUIL, « *Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits* » 2003

[3.11] M.Curie : « *Outils Mathématiques et Utilisation MATLAB* » Paris 6 2013

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Nom : ANDRIAMANANPISOA

Prénoms : Ravakiniaina

Adresse de l'auteur : 1116N101 Mahazoarivo Sud Antsirabe 110

Téléphone : 034 39 014 89 / 032 41 608 26

E-mail : ainaandriamanampisoa@gmail.com

Titre du mémoire : Etudes sur la transmission par Fibre Optique de la JIRAMA d'Antananarivo

Nombre de pages : 60

Nombre de tableaux : 3

Nombre de figures : 30

Directeur de mémoire : RAFALINIRINA Haingomalala Sandra

Téléphone : 034 79 172 15

Mail : sandrahaingomalala@gmail.com

FAMINTINANA

Mizara telo (3) mazava tsara ny firafitrin'ny asa ato anatin'ny boky. Miresaka ny momba ny fibatra opitika amin'ny ankapobeny ny fizarana voalohany izay mampisongadina ireo karazany fibatra misy sy endrikendrikin'ny fampitana hafatra amin'ny alalan'ny fibatra, eo ihany koa ny tombontsoa sy ny voka-dratsy amin'ny fampiasana ny fibatra ho fitaovana fampitana hafatra. Ny fizarana faharoa kosa dia mampisongadina ireo olana rehetra mety ho hita ao anatin'ny fibatra rehefa mampita hafatra maro samihafa. Ary fizarana fahatelo farany dia mampiseho ny fanantanterahana ny fampitana hafatra amin'ny alalan'ny fibatra izay nontontosana tamin'ny MATLAB 8.5 mba ahafahana mijery ny fizotran'ny hafatra alefa amin'ny fibatra.

RESUME

On a également présenté dans ce mémoire les généralités sur la fibre optique qui a montré comme détail les types de propagations, le système de transmission ainsi que les différentes applications dans plusieurs domaines. On a cité aussi les avantages et les inconvénients de l'utilisation de la fibre.

Le multiplexage est également important pour bien exploiter la capacité de la fibre.

Afin de donner une grande valeur à notre étude, une vision très explicite de l'utilisation de cette nouvelle technologie est réalisée au sein de l'entreprise d'eau et d'électricité malgache à l'aide de l'application du logiciel crée à partir de MATLAB 8.5. Ce logiciel a permis de simuler et de calculer le bilan de liaison d'une fibre optique pour illustrer l'analyse et la performance des transmissions optiques.

Mots clés : Fibre optique, multimode, monomode, dispersion; atténuation

ABSTRACT

This memory presents generalities about optical fibers by noticing all different types, characteristics of propagation, troubles relating optical transmission, deployment and optical transmission on a local network.

Advantages and inconvenients of optical fibers using have also been treated. Multiplexing is also important so as we can exploit fiber's capacity and supply the network as well as possible.

However, in order to have an explicit vision of the use of this new technology, the application created with Matlab 7 allowed us to simulate and calculate the link statement of optical fiber illustrating analysis and performance of transmission optics.

Keywords : Fiber optic, multimode, singlemode, dispersion, attenuation