

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : TECHNOLOGIE
Filière : GENIE ELECTRIQUE
Spécialité : Télécommunications

Thème

Etudes Des Propriétés Des Fibres Optiques Utilisées En FTTH

Présenté Par :

- 1) **SEDDIK YAMINA KHEIRA**
- 2) **SEGHIUER HOUDA**

Devant le jury composés de :

Pr Ayache Choukria	Professeur	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
Dr Ferouani Souheyla	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrante
Dr Debbal Mohammed	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Co-Encadrant
Dr Benosmane Mourad	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examinateur
Mr Seghioer Boucif	Chef département	Algérie Télécom	Invité d'honneur
Mr Bentahar Ali	Chef de Centre	Algérie Télécom	Invité d'honneur

Année universitaire 2018/2019

Remerciement

بسم الله الرحمن الرحيم والحمد لله رب العالمين
سبحان الله الذي وهبنا نعمة العقل، سبحان الذي يستحق الشكر
على نعمته وحده لا شريك له، سبحان الذي جعل لنا العلم نورا
وهدانا سبيل الرشاد.

Avant tout on tient nos remerciements à ALLAH tout puissant de
nous avoir donné la foie, la force et
le courage.

A travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement
notre encadrante: Mme. FEROUANI et co-encadrant Mr. DEBBAL
pour l'intéressante documentation qu'ils ont mis à notre disposition,
leurs conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances
qu'ils nous ont apportés durant notre étude et réalisation de ce
projet.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux membres
de jury Mme Ayache Choukria et Mr Benosmane Mourad d'avoir
accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les
professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation
depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin de notre cycle
universitaire.

Sans oublier bien sûr de remercier profondément Le chef
département corporate d'Algérie Télécom Mr.SEGHIOUER Boucif
ainsi que toute l'équipe Mr Bentahar Ali, Mr SOUSSI... qui ont
contribué à la réalisation de notre stage dans leur établissement.

Melle. Seghiouer houda.

Melle. Seddik yamina kheira.

Dédicace

 Je dédie ce travail à ...

A mes très chers parents

Affables, honorables, aimables : vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Vos prières et vos bénédictions m'ont été d'un grand secours. ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous m'avez consentis pour mon éducation et ma formation.

A mes grands parents.

A la mémoire de ma tante **Karima**.

A ma jumelle **Bouchra**.

A ma petite sœur **Sanaa**.

A mon beau frère **sidahmed**.

A mon neveu **Amir**.

Toute dédicace ne peut pas décrire l'amour et l'appréciation que j'ai pour vous. En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A toute la famille **SEGHIOUER** et la famille **BEKHTAOUI**.

À tous mes chers collègues de l'Université d'Ain-Temouchent.

A tous mes professeurs.

Un profond respect et un remerciement particulier pour mon encadreur : **Mme Ferouani** et co-encadreur **Mr Debbal** pour la bonne contribution de ce travail.

Houda.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à:

A mes parents aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que ALLAH leur procure bonne santé et longue vie.

*A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon fiancé
AHMED.*

*Et bien sûr à mes frères **MILOUD, ABDELMADJID, HICHEM**, sans oublier ma nièce
HANINE et mon neveu **ADAM** et mes belles sœurs **AMAL, SOUAD.***

*A tout ma famille, et mes meilleurs amis **MANEL, ABIR.***

*A mon binôme **HOUDA.***

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis
merci.*

SEDDIK YAMINA KHEIRA

Résumé

Dans ce mémoire, une étude théorique et pratique a été faite sur les fibres optiques classiques de type monomode et aussi multimode en passant par leurs caractéristiques physique et optique. Nous avons installé avec l'opérateur d'Algérie Télécom une fibre classique monomode de la norme G652d sous la supervision d'un cahier de charge bien déterminé, puis nous avons tracer ses différentes caractéristiques à l'aide d'un logiciel de simulation numérique (BPM).

Ensuite, nous avons proposé un autre type de fibre optique classique monomode, les caractéristiques obtenue sont meilleurs par rapport à la G652d de point de vue dispersion chromatique.

Abstract

In this work, a theoretical and practical study was made on the classical monomode and multimode optical fibers, passing through their physical and optical characteristics. We set up with the operator of Algeria Telecom a single-mode standard G652d fiber under the pretext of a well-defined specifications, then we simulate its various characteristics using a digital simulation software (BMP).

Then we proposed another type of single-mode conventional optical fiber, the characteristics obtained are better compared to the G652d from a chromatic dispersion point of view.

ملخص

في هذه الأطروحة، أجريت دراسة نظرية وعملية على الألياف الضوئية الكلاسيكية أحادية الضوء، مروراً بخصائصها الفيزيائية والبصرية. حيث قمنا بتركيب الألياف البصرية أحادية و متعددة الضوء لمعيار G652d والتي تتميز بمواصفات محددة جيداً، وذلك تحت إشراف دفتر المعلومات، ثم تنتبنا خصائصها المختلفة باستخدام برنامج المحاكاة الرقمية (BPM). وفي الأخير اقترحنا نوعاً آخر من الألياف الضوئية أحادية الضوء، حيث توفقنا في الحصول على خصائص أفضل مقارنة بنقطة التشتت الضوئي G652d.

Remerciement	ii
Dédicace	iii
Résumé	v
Abstract	v
ملخص	v
Table des matières	vi
Liste Des Figures	ix
Liste Des Tableaux	xi
Liste des abréviations	xii
Introduction Générale	1
Chapitre 1 : Généralité sur les fibres optiques	3
I.1.Introduction	4
I.2.Définition de la fibre optique	4
I.3.Définition d'une liaison de fibre optique	5
I.4.Principe de propagation	5
I.5.Types de fibre optique	6
I.5.1.Fibre monomode	6
I.5.2 Fibre multi-mode.....	6
I.5.2.1.Multi-mode à saut d'indice	6
I.5.2.2.Multi-mode à gradient d'indice.....	7
I.6.1.Atténuation	8
I.6.1.1.Les phénomènes de l'atténuation	9
I.6.2.Dispersion	10
I.6.2.1.Dispersion Chromatique	10
I.6.2.2.Dispersion modale (intermodale)	11
I.6.3.Fréquence effective	11
I.7.Les applications	12
I.8.Fabrication de la fibre	13
I.10.Le câble G652D	14
I.10.1.Définition	14

Table des matières

I.10.2. Caractéristiques techniques du câble à fibre optique	14
I.10.3. Coloration des fibres pour câble de 04 à 72 FO	15
I.10.4. Les avantages de fibre monomode G652d	15
I.11. Conclusion.....	16
Chapitre II : Technologie FTTH et résultats de simulations.....	17
II.1. Objectif	18
II.3. Définition FTTX	19
II.4. Architecture FTTH [18].....	20
II.5. Structure de réseau FTTH.....	21
II.5.1. Nœud raccordement optique (NRO)	22
II.5.2. Point d'éclatement du câble (PEC).....	22
II.5.3. Sous répartiteur optique (SRO)	23
II.5.4. Les splitters	23
II.5.5. Boîtier Pied de l'Immeuble (BPI).....	24
II.5.6. Prise Terminale Optique (PTO)	25
II.6. Soudure de la fibre optique	25
II.6.1. Préparer la fibre.....	25
II.6.1.1. Mettre en place de la protection d'épissure.....	25
II.6.1.2. Dénuder	25
II.6.1.3. Nettoyer	26
II.6.1.4. Cliver.....	26
II.6.1.5. Raccordement	27
II.7. Evaluer la qualité de la soudure.....	29
II.8. Mesure et test de la liaison	29
II.8.1. Définition de L'OTDR	29
II.8.2. Bilan de liaison	30
II.9. Méthode numérique de simulation BPM (Beam Propagation Methode)	32
II.9.1. Etude de la fibre G652d	33
II.9.1.1. Indice de réfraction	33
II.9.1.2. Indice Effectif.....	34
II.9.1.3. Fréquence normalisée	35
II.9.1.4. Dispersion.....	35
II.10. Etude de la fibre proposée	36
II.10.1. Fréquence normalisée de la fibre proposée.....	37

Table des matières

II.10.2.Dispersion chromatique de la fibre proposée	37
II.11.Conclusion	38
Conclusion generale.....	40

Liste Des Figures

Chapitre 1 : Généralité sur les fibres optiques

Figure I. 1. Constitution d'une fibre.....	4
Figure I.2. Le schéma synoptique d'une liaison optique.	5
Figure I. 3. Principe de propagation dans une fibre optique	5
Figure I. 4. fibre monomode [5].....	6
Figure I. 5. fibre multimode à saut d'indice [5].	7
Figure I. 6. fibre multimode à gradient d'indice [5].....	7
Figure I. 7. Effet de l'atténuation	8
Figure I. 8. Atténuation Spectrale d'une fibre optique [8].....	9
Figure I. 9. Dispersion chromatique dans la fibre optique [10].	10
Figure I. 10. Dispersion du signal à la sortie de la fibre optique [10].....	11
Figure I. 11. Coupe schématique du câble à 72 FO souple en fibre (non métallique).....	14

Chapitre II : Technologie FTTH et résultats de simulations

Figure II. 1. Topologie FTTX	19
Figure II. 2. différents éléments constitutifs d'un réseau PON.....	20
Figure II. 3. Principe de Raccordement FTTH.	21
Figure II. 4. Nœud raccordement optique NRO.	22
Figure II. 5. Point d'éclatement.	22
Figure II. 6. Sous Répartiteur Optique SRO.	23
Figure II. 7. Splitter [18].	24
Figure II. 8. Boîtier pied de l'immeuble BPI.	24
Figure II. 9. Prise Terminal Optique.	25
Figure II. 10. Pince à dénuder.....	26
Figure II. 11. Dénudage.	26
Figure II. 12. Les étapes du clivage.	27
Figure II. 13. fusionneuse	28
Figure II. 14. schéma de fusion.....	28

Figure II. 15. Protection d'épissure.....	28
Figure II. 16. schéma qui montre la protection entre deux fibres.	29
Figure II. 17. Évaluation de la qualité de la soudure [19].....	29
Figure II. 18. OTDR.....	29
Figure II. 19. Le trace d'OTDR de la liaison BNA vers CT avec fibre FO1.	30
Figure II. 20. Le trace d'OTDR de la liaison BNA vers CT avec fibre FO4.	31
Figure II. 21. Illustration du principe de la BPM.....	32
Figure II. 22. Indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde.	33
Figure II. 23. L'indice effectif en fonction de la longueur d'onde.	34
Figure II. 24. La fréquence normalisée en fonction de la longueur d'onde.....	35
Figure II. 25. La dispersion en fonction de la longueur d'onde.....	36
Figure II. 26. Les indices de fibre G652D.	36
Figure II. 27. Les indices de la fibre proposée.....	37
Figure II. 28. La fréquence normalisée de la fibre proposée.	37
Figure II. 29. comparaison de la dispersion obtenue dans les deux fibres.....	38

Liste Des Tableaux

Chapitre 1 : Généralité sur les fibres optiques

Tableau I. 1. Comparaison entre les différents types de fibres optiques [8].....	13
Tableau I. 2. Caractéristique technique du câble G652D [16].....	14
Tableau I. 3. Coloration et numérotation des fibres [16].....	15

Chapitre II : Technologie FTTH et résultats de simulations

Tableau II. 1. L'analyse de la trace d'OTDR de la liaison BNA vers CT.....	30
Tableau II. 2. L'analyse de la trace d'OTDR de la liaison BNA vers CT.....	31

Liste des abréviations

A

APD : Diode à Effets d'Avalanche.

B

BPM: Beam Propagation Methode.

BNA: Banque National d'Algérie.

BPI: Boîtier Pied de l'Immeuble.

BPEO: Boîtier de Protection d'Epissures Optiques.

C

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing.

CT: Centre de Transmission.

CDMA: Code Division Multiple Access.

D

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing.

F

FO: Fiber Optique.

FFTX: Fiber To The X.

FTTH: Fiber To The Home.

FTTC: Fiber To The Curb.

FTTB: Fiber To The Building.

G

GI: Gradient d'Indice.

L

LED: Light Emitting Diode.

LASER: Amplificateur de Lumière Par Emission Stimulée.

LAN: Local Area Network.

M

MMF: Multi Mode Fibre.

N

NRO: Nœud Raccordement Optique.

O

OLT: Terminal de Ligne Optique.

ONU: Unité de réseau Optique.

ONT: Terminal de réseau Optique.

OTDR: Optical Time Domain Reflectometer.

P

PMD: Dispersion des Modes de Polarisation.

PEC: Point d'éclatement du câble.

PTO: Prise Terminale Optique.

PON: Passive Optical Network.

PIN : Diode à jonction PN intercalée par une couche intrinsèque.

S

SMF: Single Mode Fiber.

SRO: Sous Répartiteur Optique.

SI: Saut d'Indice.

SONET: Synchronous Optical NETWORK

W

WDM: Wavelength Division Multiplexing.



INTRODUCTION GENERALE



Introduction Générale

Depuis le début du vingtième siècle, le domaine des télécommunications ne cesse de s'améliorer, car il prend un lieu de convergence et d'interaction entre différentes technologies et disciplines scientifiques, économiques et bien d'autres [1].

Les télécommunications sont un élément crucial de la société moderne, pour cela les innovations technologiques ne se sont jamais arrêtées.

Ce domaine se base de leur nature sur trois éléments essentiels (émetteur, récepteur et le support de transmission).

Il existe plusieurs supports de transmissions d'où le câble à fibre optique est le meilleur sans concurrent, grâce aux très hauts débits qu'il peut offrir et aussi sa grande bande passante, mais surtout dans les très faibles pertes qu'il présente.

Le câble à fibre optique est un fil qui a la propriété de conduire la lumière, il se caractérise par plusieurs critères, types et capacités, ce fameux support raccorde progressivement les abonnés en ville, il s'agit des technologies FTTH (Fiber To The Home), d'où l'abonné aura le même débit en ville que en zone rurale.

Comme chaque support, la fibre doit passer par plusieurs étapes lors de raccordement tel que le nettoyage, clivage et la soudure.

Nous avons structurés notre mémoire en deux chapitres :

Le chapitre I traite les fibres optiques d'une façon générale ainsi une présentation de la fibre monomode de type G652d d'une façon particulière.

Le chapitre II traite deux parties :

- Notre stage pratique en collaboration avec l'établissement d'Algérie Télécom d'où nous avons assisté à une installation de fibre optique et raccordement en FTTH à la cité AADL d'Ain-Témouchent et aussi nous avons fait le raccordement d'une banque nationale d'Algérie appelé (BNA).
- Ensuite, nous allons simuler avec la méthode BPM (Beam Propagation Methode) et des programmes MATLAB, les paramètres de la fibre installée G652d, afin de retirer ses différentes caractéristiques en terme de fréquence normalisé, indice effectif et dispersion.

Introduction Générale

- Comme une dernière étape, nous avons proposé un modèle de fibre utilisé dans la technologie FTTH, dans le but de réduire la dispersion chromatique. Nous avons proposé des indices de réfraction différente par rapport à la fibre précédente (G652d).



CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LES FIBRES OPTIQUES



I.1.Introduction

Les supports de transmission tel que la paire torsadée, les câbles coaxiaux, les câbles à fibres optiques présentent tous les moyens par lesquels on peut conduire un signal de son lieu de production à sa destination avec le moins possible de déperditions, dispersions ou distorsions.

En effet, le moyen le plus rapide pour transmettre les données est la fibre optique, dont lequel se base notre travail. Cette dernière représente en termes de transmission : faible atténuation, très grande bande passante, une grande souplesse....

I.2.Définition de la fibre optique

La fibre optique est une ligne de transmission sous forme d'un guide d'onde cylindrique qui peut transmettre des informations lumineuses, son utilisation prend de l'ampleur de jour en jour grâce à leur débit de plusieurs Bits/s.

La structure de la fibre optique est composée d'une partie centrale appelée cœur d'indice de réfraction n_1 , son diamètre est de quelques dizaines de micromètres ; d'indice de réfraction n_2 appelé la gaine qui est de quelques centaines de micromètres qui permet de piéger la lumière qui se propage dans cette dernière, l'ensemble est entouré d'une enveloppe en plastique permettant de protéger la fibre mécaniquement.

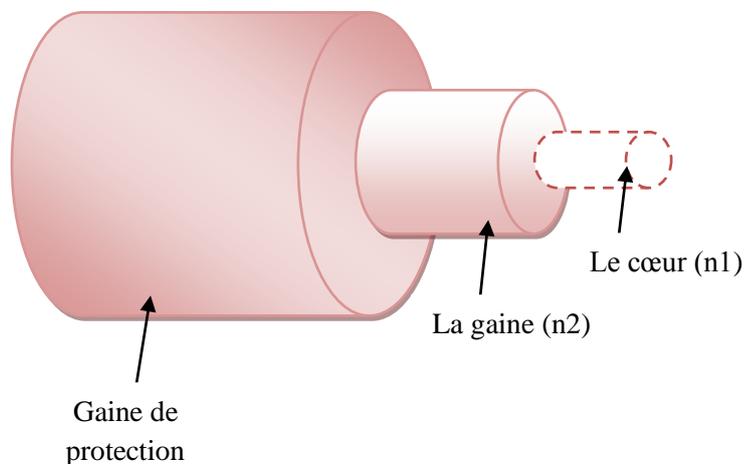


Figure I. 1. Constitution d'une fibre

I.3. Définition d'une liaison de fibre optique

Le principe dans les communications optiques consiste à transporter de l'information sous forme lumineuse d'un point à un autre à travers un guide diélectrique. L'information à transmettre est convertie d'un signal électrique en signal optique grâce à un émetteur, elle est ensuite injectée dans une fibre optique. A la réception, le signal subira le traitement inverse à savoir la conversion optique-électrique grâce à un récepteur. Globalement, une liaison optique est composée d'un émetteur et d'un récepteur reliés par une fibre optique comme présentée à la figure I.2 [2].

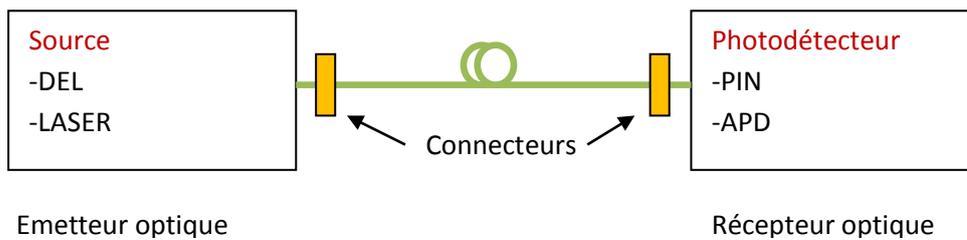


Figure I.2. Le schéma synoptique d'une liaison optique.

I.4. Principe de propagation

Le guidage de la lumière dans une fibre optique repose sur le principe de la réflexion totale à l'interface entre le cœur et la gaine optique où les indices de réfraction sont différents.

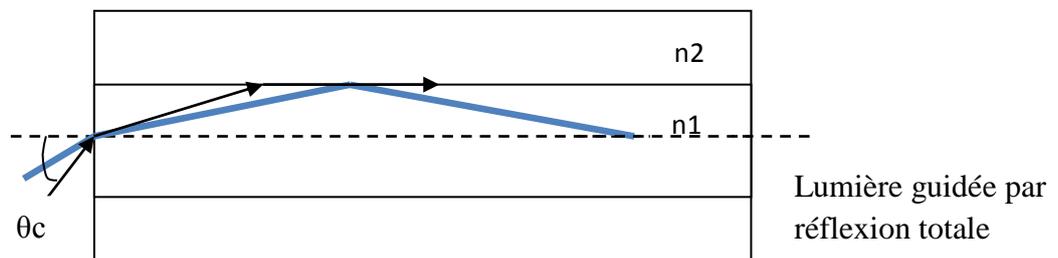


Figure I. 3. Principe de propagation dans une fibre optique

La loi de Snell Descartes permet de relier l'angle de la lumière incidente à l'angle réfracté en fonction des indices des milieux :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1.1)$$

Pour $n_1 > n_2$, il existe un angle d'incidence θ_c , appelé angle critique, pour lequel la lumière n'est pas transmise et au-delà duquel elle est totalement réfléchie, c'est bien entendu la réflexion totale [3].

I.5.Types de fibre optique

Il existe deux types de fibre optique :

I.5.1.Fibre monomode

Les fibres monomodes (SMF: Single Mode Fibre), ont un diamètre de gaine de $125\mu\text{m}$ et un cœur de 8 à $10\mu\text{m}$, ce qui permet d'avoir un seul mode de propagation, le chemin de propagation est unique et parallèle à l'axe de la fibre. C'est ce type de fibre que l'on utilise pour des transmissions de données rapides et sur des grandes distances, car il représente les plus grandes performances [4].

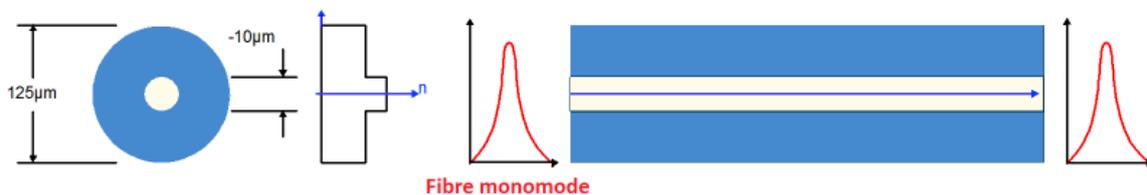


Figure I. 4. fibre monomode [5]

Le débit est environ 100 Gbit/s avec une portée maximale de 100 Km et un affaiblissement de $0,5 \text{ dB/Km}$ [5].

I.5.2 Fibre multi-mode

La fibre optique multi-mode (MMF : Multi mode Fibre), a un cœur de 50 à $62,5\mu\text{m}$, elle est principalement utilisée pour la communication à courte distance, telle que dans un bâtiment ou un campus. Il existe deux types d'index multimode : à saut d'indice et à gradient d'indice [6].

I.5.2.1.Multi-mode à saut d'indice

La fibre multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire parce qu'elle possède un cœur très large. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux locaux de type LAN.

Etant donné que la fibre à saut d'indice est multimode, il existe plusieurs modes de propagation au sein de son cœur de silice ainsi une très grande variation entre l'indice de réfraction du cœur et de la gaine optique. C'est pour cela que les rayons lumineux se propagent par réflexion totale interne en « dents de scie » [5].

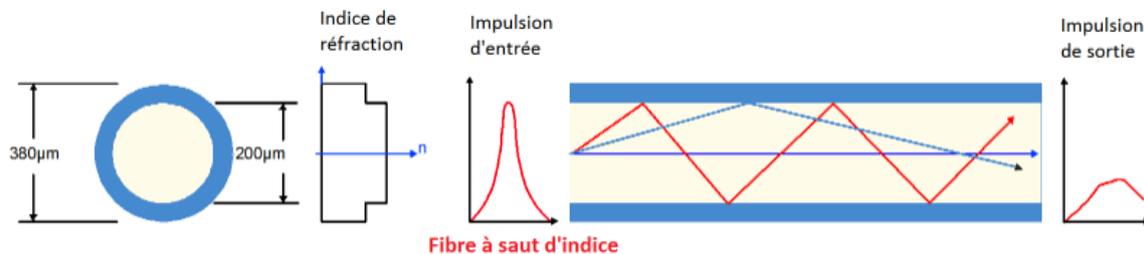


Figure I. 5. fibre multimode à saut d'indice [5].

L'atténuation sur ce type de fibre est très importante comme on peut le voir sur la différence des impulsions d'entrée et de sortie (Figure I.5).

Débit : environ 100 Mbit/s

Portée maximale : environ 2 Km

Affaiblissement : 10 dB/Km

I.5.2.2. Multi-mode à gradient d'indice

La fibre multimode à gradient d'indice est aussi utilisée dans les réseaux locaux. C'est une fibre multimode, dont plusieurs modes de propagation coexistent. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de réfraction entre cœur et gaine. Cependant, le cœur des fibres à gradient d'indice est constitué de plusieurs couches de matière ayant un indice de réfraction de plus en plus élevé.

Ces différentes couches de silice de densités multiples influent sur la direction des rayons lumineux, qui ont une forme elliptique [5].

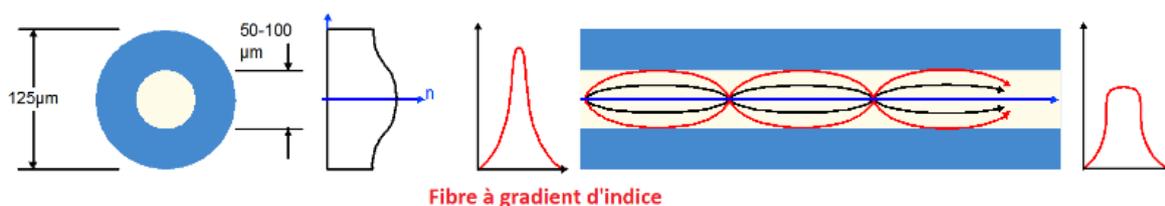


Figure I. 6. fibre multimode à gradient d'indice [5].

L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice.

Débit : environ 1 Gbit/s

Portée maximale: environ 2 Km

Affaiblissement: 10 dB/Km

I.6.Caractéristiques des fibres optiques

I.6.1.Atténuation

L'atténuation dans les fibres optiques caractérise l'affaiblissement du signal au cours de sa propagation. Elle se mesure en dB/km et elle varie en fonction de la longueur d'onde et correspond à des pertes en lignes dues à différents phénomènes de propagation [7] et s'écrit sous la forme :

$$A = \frac{10}{L} \log \left(\frac{P_e}{P_s} \right) \quad (1.2)$$

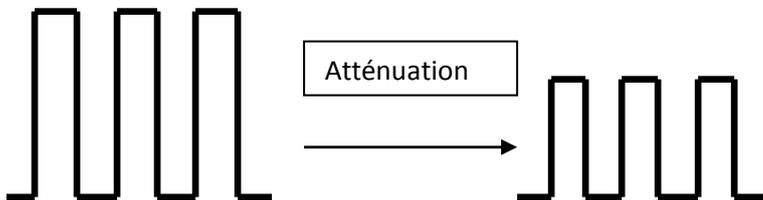


Figure I. 7. Effet de l'atténuation

Au cours de la propagation la puissance décroît selon la loi suivante :

$$P_e = P_s \exp(-aL) \quad (1.3)$$

a : Le coefficient d'atténuation linéique (m^{-1}).

L : la longueur de la fibre (km).

P_s et P_e : respectivement les puissances d'émission et de réception (watt).

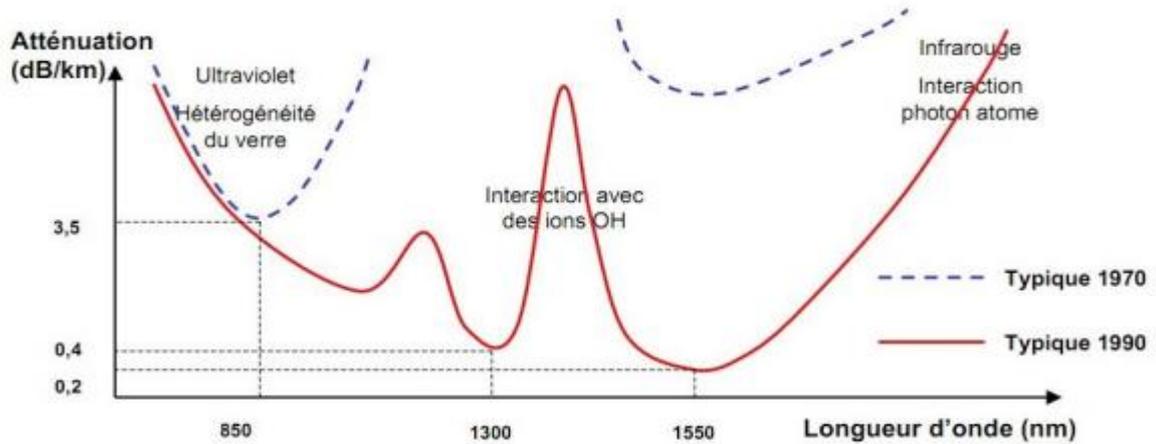


Figure I. 8. Atténuation Spectrale d'une fibre optique [8]

I.6.1.1. Les phénomènes de l'atténuation

L'atténuation a deux phénomènes : l'absorption et la diffusion de la lumière.

a. Absorption

Ce facteur est causé par l'absorption de la lumière et la conversion en chaleur par des molécules dans le verre et les dopants utilisés pour modifier l'indice de réfraction du verre se produit à des longueurs d'onde discrètes, déterminées par les éléments absorbant la lumière. L'absorption d' OH^- est prédominant qui présente un pic de forte atténuation, elle se produit le plus fortement autour de 1000 nm, 1400 nm, et au-dessus de 1600 nm [9].

b. Diffusion

D'autre part, la plus grande cause d'atténuation est la diffusion principalement la diffusion de Rayleigh, qui se produit lorsque la lumière entre en collision avec les atomes individuels dans le verre ; elle provoque la dispersion de l'énergie lumineuse dans toutes les directions. La lumière qui est dispersée à des angles dehors de l'angle critique de la fibre sera absorbée dans la gaine de la fibre ou même transmis vers la source. Il y a deux autres modes de la diffusion de la lumière : diffusion Raman et Brillouin scattering. Les systèmes à fibres optiques transmettent dans les fenêtres créées entre les bandes d'absorption à 850 nm, 1300 nm et 1550 nm, où la physique permet également de fabriquer facilement des lasers et des détecteurs [9].

I.6.2. Dispersion

La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal et cause un élargissement des impulsions au cours de leur propagation dans la fibre optique [10].

Il existe deux types de dispersion :

I.6.2.1. Dispersion Chromatique

La dispersion chromatique exprimée en ps/(nm.km), caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérées résulte de la somme de deux effets: la dispersion due au matériau (l'indice qui varie en fonction de la longueur d'onde), et la dispersion du guide (la vitesse de groupe qui varie avec la longueur d'onde) [11-2].

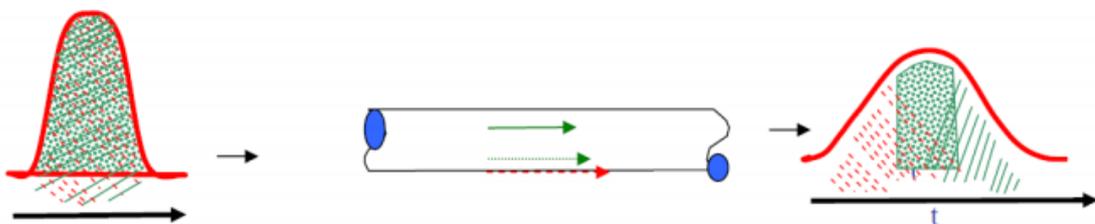


Figure I. 9.Dispersion chromatique dans la fibre optique [10].

La dispersion chromatique est définie par la relation suivante :

$$D(\lambda) = -\frac{\lambda}{c} \left(\frac{d^2 n_{eff}}{d\lambda^2} \right) \quad (1.4)$$

D_c : La dispersion chromatique en (ps/nm.km).

n_{eff} : est l'indice effectif du mode guidé.

c : La vitesse de la lumière dans le vide.

λ : Longueur d'onde.

La dérivée seconde de l'indice effectif est obtenue grâce à une dérivation numérique. A une longueur d'onde donnée λ_0 , la dérivée seconde de $n_{eff}(\lambda)$ est calculée à partir de la valeur de $n_{eff}(\lambda_0)$ et des quatre valeurs voisines de l'indice effectif situées de part et d'autre de $n_{eff}(\lambda_0)$, régulièrement espacées d'un intervalle spectral $\Delta\lambda$.

L'expression de la dérivée numérique à $\lambda = \lambda_0$ est comme suite [12] :

$$\left. \frac{d^2 n_{eff}}{d\lambda^2} \right|_{\lambda=\lambda_0} = \frac{1}{24(\Delta\lambda)} \left(-2n_{eff}(\lambda_0 + 2\Delta\lambda) + 32n_{eff}(\lambda_0 + \Delta\lambda) - 60n_{eff}(\lambda_0) + 32n_{eff}(\lambda_0 - \Delta\lambda) - 2n_{eff}(\lambda_0 - 2\Delta\lambda) \right) \quad (1.5)$$

I.6.2.2. Dispersion modale (intermodale)

Elle existe dans les fibres multi-mode, plusieurs chemins sont possibles pour la lumière, ces chemins ont des longueurs différentes donc les temps de parcours sont différents aussi. La dispersion modale provient de la différence du temps de parcours de la lumière dans la fibre en fonction des chemins parcourus [13].

Dans le cas d'une fibre monomode, la dispersion modale n'existe pas (en pratique, elle est quasiment nulle). Le mode de propagation étant unique (une ligne droite), il n'y a pas de dispersion dû au fait qu'un signal peut prendre plusieurs chemins différents [14].

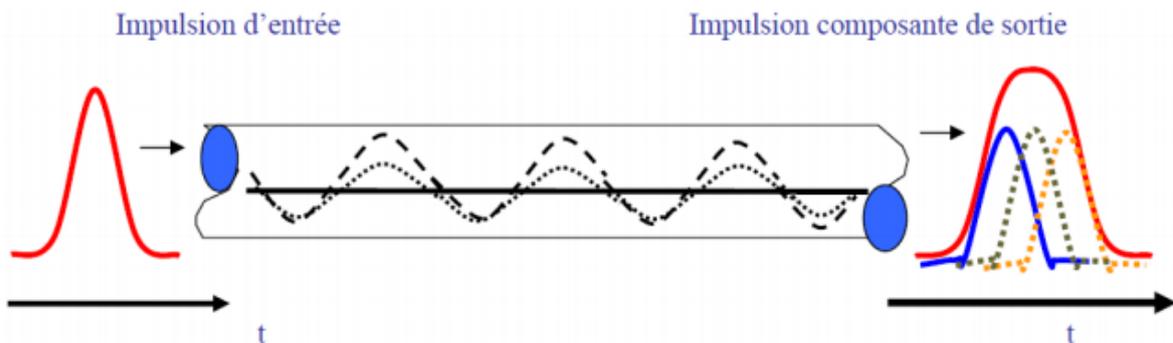


Figure I. 10. Dispersion du signal à la sortie de la fibre optique [10].

I.6.3. Fréquence effective

On peut déterminer le mode pouvant se propager dans la fibre grâce à la fréquence effective V qui dépend de la période, la longueur d'onde et les indices du cœur et de la gaine.

- monomode si : $V < 2.405$.
- multimode a saut d'indice si : $V > 2.405$.
- multimode a gradient d'indice si : $V > 3,518$.

Le calcul de la fréquence normalisé se fait à travers l'équation donnée si dessus :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \alpha \sqrt{n_c^2 - n_g^2} \quad (1.6)$$

V=fréquence normalisé.

α = la période.

n_c =indice de cœur.

n_g = indice effectif de la gaine.

λ : Longueur d'onde.

I.7.Les applications

- **Télécommunications** : Liaisons urbaines et interurbaines, liaisons sous-marines [15].
- **Liaison et réseaux de données** : Sur de courtes distances, l'insensibilité aux perturbations électromagnétiques, peut être un avantage décisif. Les fibres optiques commencent à être couramment utilisées pour des liaisons point à point ou en tant que passerelles entre réseaux [15].
- **Liaisons industrielles** : Ce sont des applications variées (télémesures, télécommandes, surveillance vidéo) où l'insensibilité de la fibre aux parasites est un avantage essentiel [15].
- **Vidéocommunications** : Nombreuses expériences mais développement ralenti par le coût. La distribution reste en coaxial tandis que les liaisons centrales utilisent la fibre [15].
- **Capteurs et instrumentation** : Les fibres sont de plus en plus présentes dans l'instrumentation optique, où elles permettent d'effectuer des mesures à distance en des points difficiles d'accès. Les capteurs utilisent la fibre optique elle-même comme élément sensible servant en même temps de support de transmission [15].
- **Transport de lumière** : Les applications classiques (éclairage, visualisation, endoscopie) ou plus récentes (transport de faisceaux laser pour l'industrie, la mesure, la médecine) ont vu leurs performances s'améliorer, et leur coût baisser, grâce au développement des technologies des fibres optiques [15].

I.8.Fabrication de la fibre

La fabrication d'une fibre optique passe par la réalisation d'une préforme cylindrique en barreau de silice. La silice est un composé oxygéné du silicium, de formule SiO_2 , présent dans un grand nombre de minéraux, tels que le quartz, la calcédoine et l'opale. Le barreau subit ensuite un étirage, en plaçant l'extrémité dans un four porté à une température voisine de 2000°C . Il est alors transformé en une fibre de plusieurs centaines de kilomètres [3].

La fibre est ensuite revêtue d'une double couche de résine protectrice avant d'être enroulée sur une bobine. Son centre, qui constitue le cœur, nécessite une silice très pure avec un minimum d'ions hydroxyles OH^- . Le cœur est entouré d'une silice de moindre qualité qui forme la gaine optique. On réalise un écart d'indice entre le cœur et la gaine en incorporant des dopants, tels que :

- le germanium et le phosphore qui accroissent l'indice dans le cœur.
- le bore et le fluor qui le font décroître dans la gaine, Ainsi, une préforme de verre d'une longueur de 1 m et d'un diamètre de 10 cm permet d'obtenir par étirement une fibre monomode d'une longueur d'environ 150 Km [3].

I.9.Avantages et Inconvénients

Le tableau suivant donne un bref récapitulatif des avantages et des inconvénients de chaque structure [8] :

Structures	Avantages	Inconvénients	Applications pratiques
Multi mode a saut d'indice (SI)	Grande ouverture numérique, connexion facile, faible prix, facilité de mise en œuvre.	Pertes, dispersion et distorsion importante du signal.	Communications courtes distance, réseaux locaux.
Multi mode a gradient d'indice (GI)	Bande passante raisonnable et bonne qualité de transmission.	Difficile à mettre en œuvre.	Communications courtes et moyennes distances.
Monomode	Très grande bande passante et aucune distorsion.	Prix très élevé.	Communication longues distances.

Tableau I. 1. Comparaison entre les différents types de fibres optiques [8]

I.10. Le câble G652D

I.10.1. Définition

Ce type appartient à la fibre monomode, qui est souple ou blindé, leurs capacités est : 4FO, 8FO, 12FO, 16FO, 24FO, 36FO, 72FO, 144FO et 288FO.

Ces câbles de fibre optique sont de diamètres de 10 à 20 mm et leurs longueurs seront des tourtes de 2km et 4km [17].

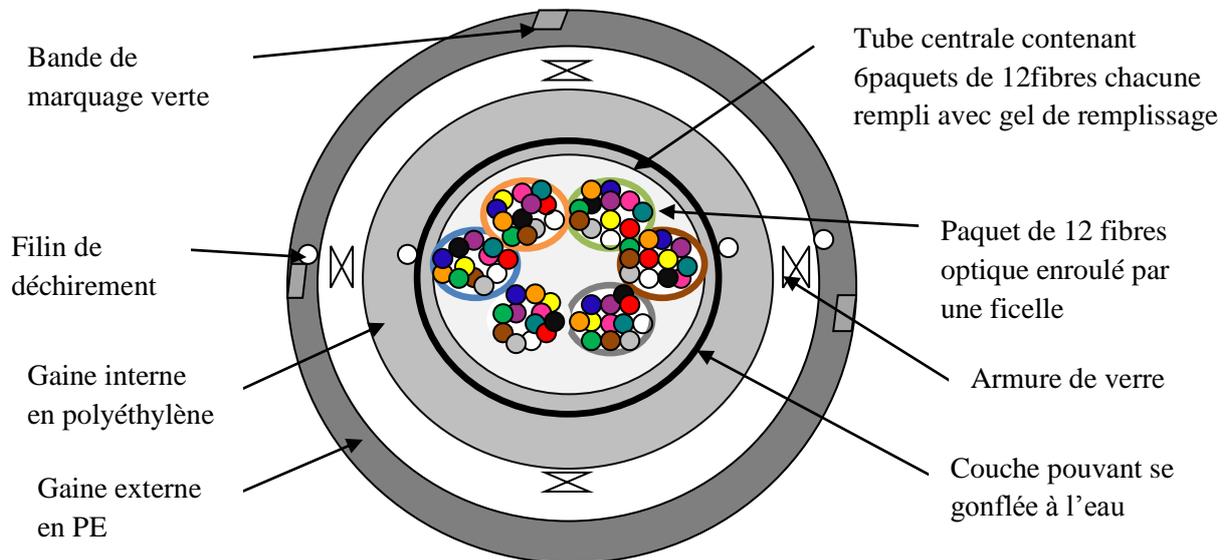


Figure I. 11. Coupe schématique du câble à 72 FO souple en fibre (non métallique).

I.10.2. Caractéristiques techniques du câble à fibre optique

Désignation	Valeurs
Diamètre de mode $\lambda=1310$ nm	$9,2\pm 0,4 \mu\text{m}$
Diamètre de mode $\lambda=1550$ nm	$10,4\pm 0,5 \mu\text{m}$
Diamètre typique de cœur	$8,2 \mu\text{m}$
Diamètre de gaine	$125\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diamètre de revêtement	$245\pm 5 \mu\text{m}$
Diamètre de la couche de protection non coloré	$245\pm 5 \mu\text{m}$
Longueur d'onde de coupure en câble λ_{cc}	1260 nm
Dispersion chromatique à 1550nm	$\leq 18 \text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$
Dispersion chromatique à 1625nm	$\leq 22 \text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$
Dispersion chromatique à $1285 \text{nm} \leq \lambda \leq 1330 \text{nm}$	$\leq 3,5 \text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$
PMD de la fibre en câble	$\leq 0,1 \text{ps}, \text{km}^{-1/2}$
Atténuation à 1310nm	$\leq 0,34 \text{dB}/\text{km}$
Atténuation à 1380nm	$\leq 0,36 \text{dB}/\text{km}$
Atténuation à 1550nm	$\leq 0,25 \text{dB}/\text{km}$

Tableau I. 2. Caractéristique technique du câble G652D [16].

I.10.3. Coloration des fibres pour câble de 04 à 72 FO

Les fibres optiques seront repérées par la couleur du revêtement primaire comme indiqué ci-dessous pour tous types de câbles. Ce repérage est très important lors de raccordement [16].

a) Tube :

1. Bleu (fibres de 1 jusqu'à 12)
2. Orange (fibres de 1 jusqu'à 12)
3. Vert (fibres de 1 jusqu'à 12)
4. Marron (fibres de 1 jusqu'à 12)
5. Gris (fibres de 1 jusqu'à 12)
6. Blanc (fibres de 1 jusqu'à 12)

b) Fibre :

Fibre N°1		Fibre N°2		Fibre N°3		Fibre N°4		Fibre N°5		Fibre N°6	
N° fibre	Couleur										
1	Bleu	13	Bleu	25	Bleu	37	Bleu	49	Bleu	61	Bleu
2	Orange	14	Orange	26	Orange	38	Orange	50	Orange	62	Orange
3	Vert	15	Vert	27	Vert	38	Vert	51	Vert	63	Vert
4	Marron	16	Marron	28	Marron	40	Marron	52	Marron	64	Marron
5	Gris	17	Gris	29	Gris	41	Gris	53	Gris	65	Gris
6	Blanc	18	Blanc	30	Blanc	42	Blanc	54	Blanc	66	Blanc
7	Rouge	19	Rouge	31	Rouge	43	Rouge	55	Rouge	67	Rouge
8	Noir	20	Noir	32	Noir	44	Noir	56	Noir	68	Noir
9	Jaune	21	Jaune	33	Jaune	45	Jaune	57	Jaune	69	Jaune
10	Violet	22	Violet	34	Violet	46	Violet	58	Violet	70	Violet
11	Rose	23	Rose	35	Rose	47	Rose	59	Rose	71	Rose
12	Turquoise	24	Turquoise	36	Turquoise	48	Turquoise	60	Turquoise	72	Turquoise

Tableau I. 3. Coloration et numérotation des fibres [16]

I.10.4. Les avantages de fibre monomode G652d

Les fibres optiques uni-modales à faible pic «OH» type G652d pour multiplexage en longueur d'onde (WDM) présentent les avantages suivants [17]:

- Affaiblissement réduit et optimisé dans la plage 1260 – 1625 nm.
- Double revêtement acrylate pour assurer la pérennité des fibres à long terme.
- PMD et dispersion réduites permettant de garantir l'évolutivité des réseaux et plus particulièrement l'augmentation des débits (10 Gigabit ETHERNET, 10 et 40 Gbits/s SONET, DWDM et CWDM) sur de longues distances.

- Caractéristiques géométriques optimisées permettant de réduire les pertes aux épissures (soudures).
- Faible sensibilité à la courbure facilitant la mise en œuvre (jusqu'à 32 mm de diamètre de courbure pour 1 tour max).

I.11. Conclusion

Nous savons tous que la perfection ne fait nullement partie du monde temporel dans lequel nous vivons. Mais il est clair que la fibre optique de nos jours est le meilleur support sans concurrent grâce au débit quelle peut offrir de plusieurs bits/s et son utilisation qui touche plusieurs domaines.

Le choix de la fibre de type G652d dans ce chapitre était grâce à sa performance qui a convaincu le corps d'Algérie Télécom de travailler avec.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter notre travail pratique au sein du centre d'Algérie Télécom avec la compagnie de ses employés, ainsi nos différentes simulations.



CHAPITRE II : TECHNOLOGIE FTTH ET RESULTATS DE SIMULATIONS



II.1.Objectif

L'objectif de notre travail est d'apprendre en premier point à connaître le monde du travail, pour but de gagner en confiance, maturité, et de renforcer nos aptitudes ; et en deuxième point de faire une liaison entre tous ce qui est logiciel, simulation et un monde purement pratique. Cela nous a permis de mettre en pratique notre connaissance théorique en termes de télécommunications en bénéficiant du cahier de charge de l'établissement d'Algérie Télécom.

Parmi les opérations faites avec l'équipe d'Algérie Télécom :

- Connaître le déploiement de la fibre FTTH dans la cité AADL ainsi que tous les équipements utilisés lors de cette installation.
- Faire la soudure de la fibre optique dans un établissement étatique (Banque National d'Algérie).

En parallèle de ce travail, nous avons fait une simulation sous le logiciel en utilisant les paramètres de la fibre G652d afin de comprendre son principe de fonctionnement.

II.2.Introduction

Le câble G652d est le plus performant grâce à son affaiblissement qui est réduit, sa caractéristique géométrique et aussi sa sensibilité de courbure qui est faible et qui permet une mise en œuvre facile ce qui a amené le Centre d'Algérie Télécom de travailler avec.

Pour comprendre plus sur le type de ce câble est comment l'utilisé, on a fait plusieurs sorties avec l'opérateur Algérie Télécom ; nous avons opté pour les point suivant :

Le raccordement entre la banque de Béni-saf « B.N.A » et le centre de transmission « CT », d'où on a pu avoir les mesures (atténuation, dispersion, pertes...), ainsi pour connaître la méthode du raccordement et de soudage.

Une visite pour comprendre comment peut-on avoir l'accès à internet jusqu'à la maison de l'abonnée dans la cité AADL à Ain-Temouchent.

Ce chapitre contient deux parties, une pour la pratique que nous avons faits et l'autre pour la simulation.

Partie 1 : Travail pratique

II.3.Définition FTTH

FTTx (Fiber to the X) c'est la fibre ou le X peut être déployée selon diverse topologies. Ces topologies permettent des débits élevés et grâce à elles tout le monde aura les mêmes débits en ville ou en zone rurale.

L'utilisateur final :

- FTTC (C= Curb: fibre jusqu'à trottoir): elle se trouve dans l'armoire de sous répartiteur optique, tout près de l'abonné.
- FTTB (B = Building: fibre jusqu'à bâtiment):elle se trouve à l'entrée de l'immeuble.
- FTTH (H = Home : fibre jusqu'au domicile) : l'abonné peut avoir l'accès à internet avec la fibre unique qui lui dédiée.

La suite de ces topologies est (FTTC, FTTB) le raccordement jusqu'au l'abonné sera un câble en cuivre.

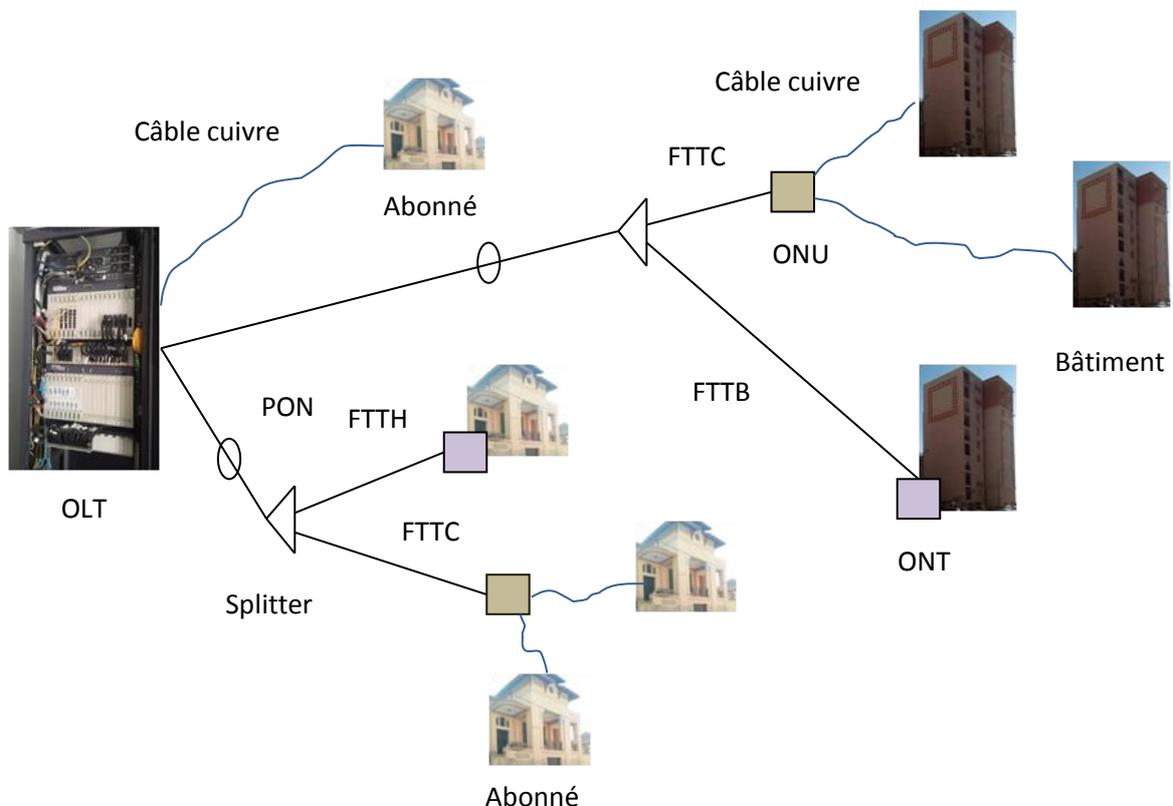


Figure II. 1. Topologie FTTH

II.4. Architecture FTTH [18]

Le réseau FTTH est composé d'un certain nombre d'éléments qui peuvent être classés en trois catégories :

- Infrastructure : composée notamment des fourreaux, des chambres, des armoires de rue et des locaux techniques.
- optique passive : composants passifs du réseau et qui comportent notamment les fibres optiques, les boîtiers et les baies de brassage.
- optique active : composants consommateurs en courant électrique et qui comportent notamment les systèmes émetteurs et récepteurs.

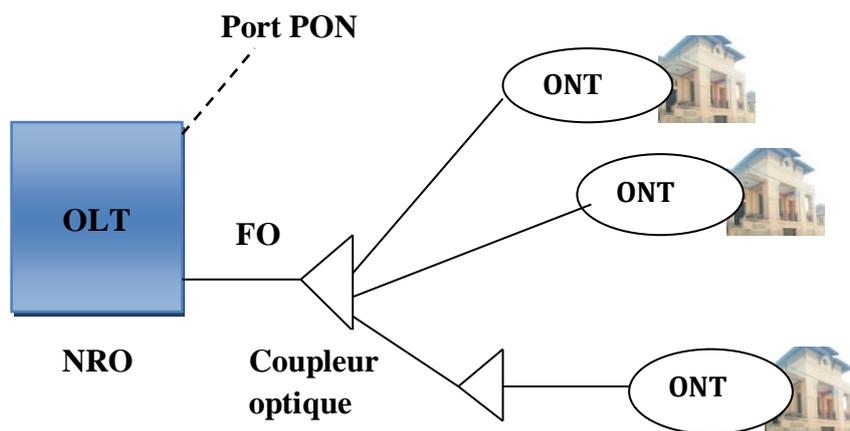


Figure II. 2.différents éléments constitutifs d'un réseau PON

L'architecture FTTH généralement retenue par les opérateurs est une architecture PON (Passive Optical Network). Le PON est une architecture point à multipoints basée sur les éléments suivants :

- Une infrastructure en fibres optiques partagée. L'utilisation de coupleurs optiques dans le réseau est à la base de l'architecture et de l'ingénierie de déploiement. Les coupleurs sont utilisés pour desservir plusieurs zones ou plusieurs abonnés.
- Un équipement de centre faisant office de Terminaison Optique de Ligne (OLT : Optical Line Termination). L'OLT gère la diffusion et la réception de flux à travers des interfaces réseaux et a pour finalité de recevoir des signaux de la part des clients ainsi que de leur diffuser des contenus basés sur des services spécifiques (par exemple triple Play). Architecturés autour de cartes, il gère un certain nombre d'abonnés et leur permet l'accès à des débits spécifiques.
- Des équipements d'extrémité :

- ONT (Terminaisons de Réseau Optique) dans le cas où l'équipement est dédié à un client et où la fibre arrive jusqu'à le client. Il s'agit alors d'une architecture de type FTTH (Fiber To The Home). Il n'y a qu'une seule fibre par client (les signaux sont bidirectionnels).
- ONU (unité de réseau optique) dans le cas de réseaux FTTB.

Le schéma ci-dessus permet de visualiser le principe et les différents éléments constitutifs d'un réseau PON.

La technologie future et qui reste encore à standardiser, bien que déjà implémentée dans les réseaux hauts débit longues distances est la CDMA-PON qui se base sur le PON avec une couche de multiplexage en code [18].

II.5. Structure de réseau FTTH

Le déploiement d'accès de câble en fibre optique dans la commune d'Ain Temouchent est structuré autour de plusieurs nœuds et répartiteurs.

La technologie FTTH dans notre wilaya se trouve uniquement dans les cités ; DJAWHARA, 1300 logements et AADL, là où nous avons visité les quatre éléments principaux d'un réseau FTTH (NRO, SRO, BPI et PTO.) qui sont privilégiées par l'opérateur privé affilié à l'entreprise huawei.

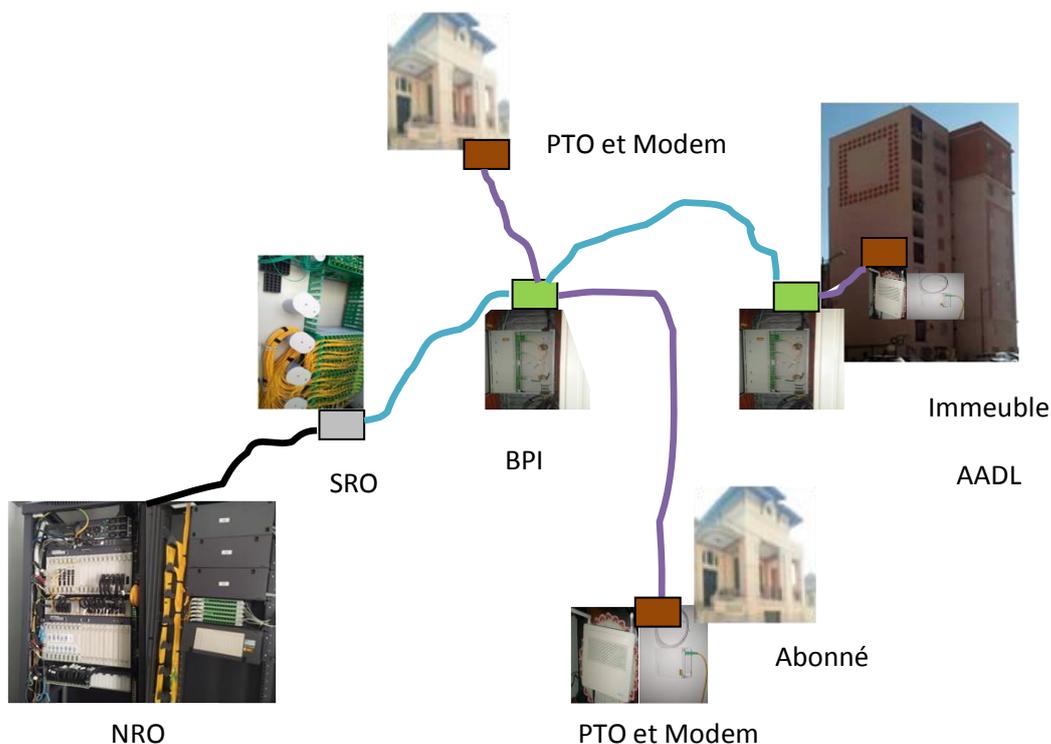


Figure II. 3.Principe de Raccordement FTTH.

II.5.1.Nœud raccordement optique (NRO)

Le Nœud de raccordement optique est un élément essentiel de tous les réseaux de fibre optique, c'est le point de convergence de toutes les lignes de chaque abonné au sein du quartier, il comprend des équipements de transmission et de communication et peut distribuer jusqu'à 5000 abonnés et ne dépasse pas les 600m.

Dans toute la cité on n'a que 1600 logements donc le NRO peut recouvrir tout notre besoin.



Figure II. 4.Nœud raccordement optique NRO.

II.5.2.Point d'éclatement du câble (PEC)

Son principal rôle est d'optimiser et contribuer de la flexibilité au réseau FTTH. Nous avons trouvé le PEC dans une chambre à côté des immeubles AADL.

Le PEC permet de diviser le câble en 8 pour le dispatcher vers plusieurs immeubles.



Figure II. 5.Point d'éclatement.

II.5.3. Sous répartiteur optique (SRO)

Le sous répartiteur optique est une armoire de rue, spécialement dédié au raccordement des immeubles.

Comme le SRO est un nœud intermédiaire de brassage, il permet de regrouper plusieurs points d'éclatement du câble (PEC) et d'établir les lignes optiques jusqu'à l'abonné.

Dans la cité il y'a un seul SRO qui n'est pas loin de l'immeuble visité lors de stage, il contient des éléments passifs comme les pigtails, les splitters..., afin de mettre le câble du mode de transport au mode de distribution.

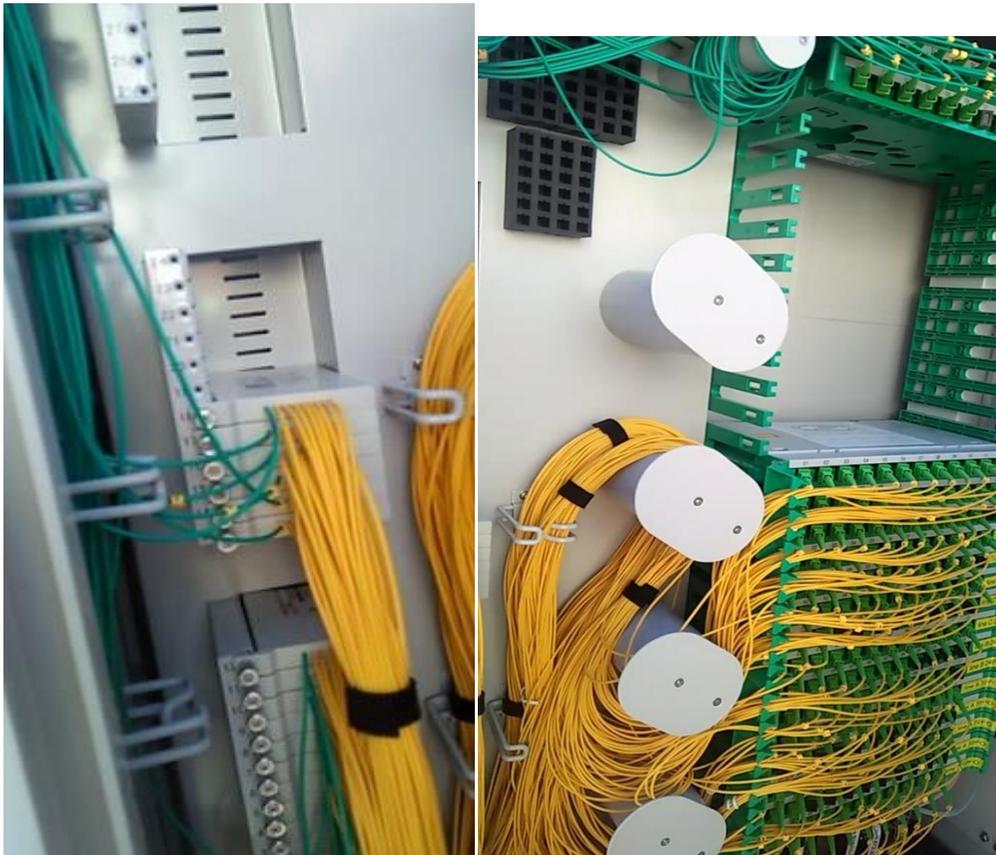


Figure II. 6. Sous Répartiteur Optique SRO.

II.5.4. Les splitters

Le splitter est un composant passif de la fibre optique, son principale rôle consiste à diviser la puissance du signal. Autrement dit, chaque lien de fibre entrant dans le splitter est divisé en un nombre de fibres dans la sorties.

Le splitter se trouve au niveau de SRO et à l'intérieur du BPI.



Figure II. 7. Splitter [18].

II.5.5. Boîtier Pied de l'Immeuble (BPI)

La "BPI" ou "BPEO" (Boîtier de Protection d'Epissures Optiques) ce boîtier permet le raccordement des câbles qui venant à l'extérieur et l'intérieur de l'abonné, nous avons trouvé dans le troisième étage de l'immeuble visité.



Figure II. 8. Boîtier pied de l'immeuble BPI.

II.5.6.Prise Terminale Optique (PTO)

La prise Terminale optique est facile à installer, elle représente la partie terminale du FTTH.

Le PTO permet le raccordement de 1 à 4 fibres d'un câble optique chez le client.



Figure II. 9.Prise Terminal Optique.

II.6.Soudure de la fibre optique

Nous avons raccordé les câbles de types G652d de la capacité 36FO qui se trouve à l'intérieur de la chambre, pas trop loin de la banque (183m), avec le câble 4FO qui est installer déjà dans la banque « B.N.A ».

Cette partie est très essentielle mais avant de la réaliser, nous devons d'abord passé par plusieurs étapes, qui sont comme suit :

II.6.1.Préparer la fibre

Toutes les valeurs qu'on va citer sont prise lors de notre travail, tout dépend de la longueur de notre liaison.

II.6.1.1.Mettre en place de la protection d'épissure

Nous glissons d'abords la protection d'épissure sur la fibre :

II.6.1.2.Dénuder

Nous enlevons la partie de revêtement primaire sur une longueur de 30mm à 40mm sans qu'endommage le cœur, afin de maintenir ses performances optiques, et pour cela nous utilisons une pince à dénuder.



Figure II. 10. Pince à dénuder

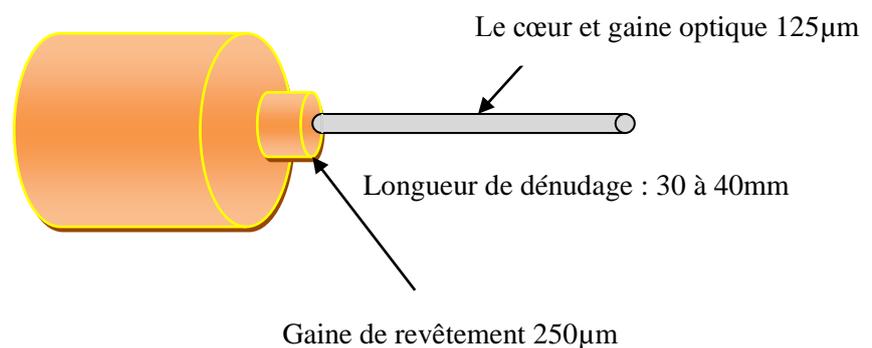


Figure II. 11. Dénudage.

II.6.1.3. Nettoyer

La principale raison du nettoyage de la fibre est d'enlever la poussière et tout résidu de la gaine, évitant ainsi de l'égratigner en l'utilisant :

- Lingette non pelucheux.
- Chiffon avec l'alcool.
- L'alcool isopropylique pour absorber l'humidité.
- Acétone.

II.6.1.4. Cliver

La cliveuse permet de cliver la fibre optique, d'après la figure II.12.

1. Nous avons met la fibre dans la cliveuse, la longueur de clivage doit être respectée.
2. Nous appuyons sur le couvercle.
3. La fibre est coupée et la chute est recueillie dans un récipient amovible.



Figure II. 12. Les étapes du clivage.

II.6.1.5.Raccordement

1. Réaliser un étalonnage d'arc Réaliser un test d'arc ajuste automatiquement

Cette étape est fondamentale et primordiale lors de l'allumage de la soudure, avant de commencer à raccorder.

- la puissance de l'arc.
- la position de la ligne centrale de fusion.

Cela sert de prendre en compte que :

- les conditions environnementales (Pression, humidité, température) sans l'aide de capteurs.
- les caractéristiques des fibres (composition, excentricité des cœurs, taille des cœurs etc. ...).
- la qualité des électrodes.

2. L'étape du raccordement

La qualité de la soudure se base sur 2 critères :

- L'estimation de perte affichée par la soudeuse qui doit être inférieure à 0.06 dB.
- Le contrôle visuel de la soudure.

Dans cette étape nous avons utilisé la fusionneuse, on commence à souder en respectant le tableau (I.3)du code couleur, et en mettant la protection d'épissure.



Figure II. 13. fusionneuse

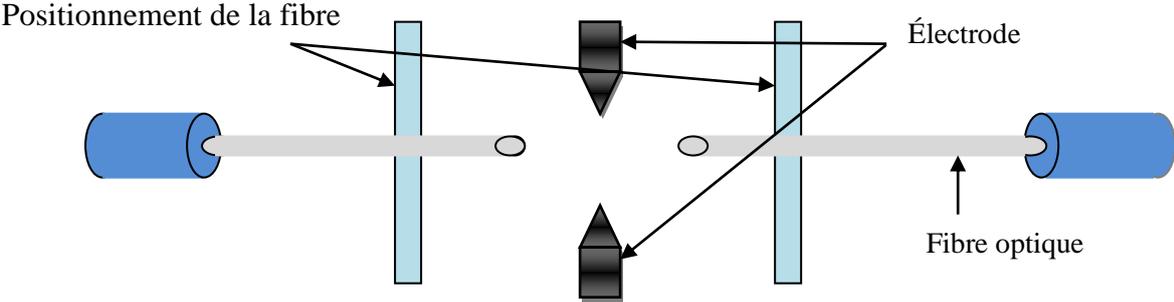


Figure II. 14. schéma de fusion.



Figure II. 15. Protection d'épissure.

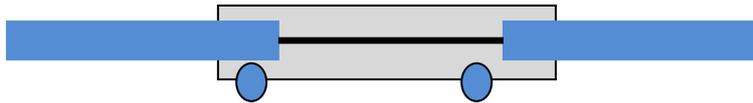


Figure II. 16. schéma qui montre la protection entre deux fibres.

II.7. Evaluer la qualité de la soudure

- la perte offerte par le soudage ne doit pas dépasser 0.06 dB.
- Vérification visuelle de la soudure.

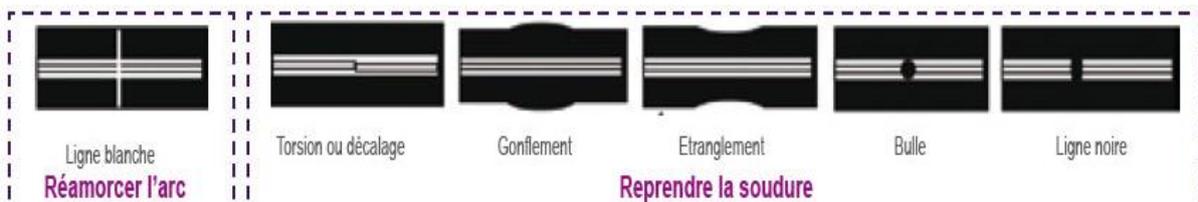


Figure II. 17. Évaluation de la qualité de la soudure [19].

II.8. Mesure et test de la liaison

II.8.1. Définition de L'OTDR

Optical Time Domain Reflectometer (OTDR): est l'instrument idéal pour mesurer les caractéristiques des fibres optiques. Il localise les défauts et détermine les pertes, les distances entre les événements (plus le temps de mesure est long, plus les résultats sont précis).



Figure II. 18. OTDR

Il peut être configuré pour permettre de tester et mesurer (mesures avant et après le tirage) sur toutes les fibres à une seule longueur d'onde dans un seul sens.

Les points de données sont affichés à l'écran sous la forme d'une ligne inclinée de gauche à droite, avec la distance sur l'échelle horizontale et le niveau du signal sur l'échelle verticale [20].

II.8.2. Bilan de liaison

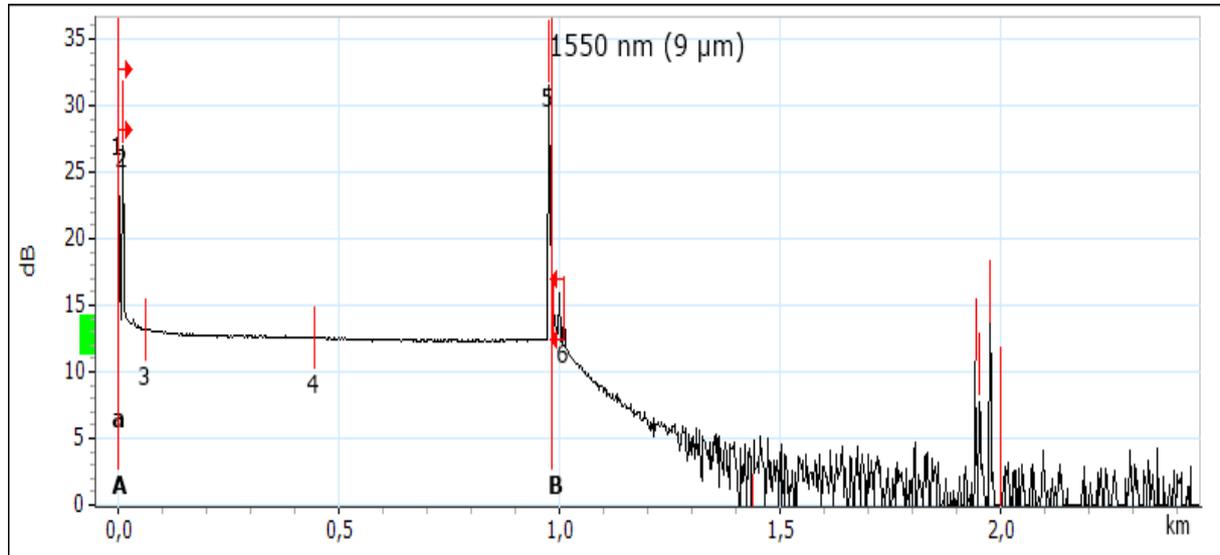


Figure II. 19. Le trace d'OTDR de la liaison BNA vers CT avec fibre FO1.

Type	N°	Pos./Long. (Km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation dans la section(Km /dB)
Premier connecteur		0,0000	---	-30.6	---
Section	1	0,0100	2,140	---	212.967
Réfléchissant		0,0100	0.816	-32.5	---
Section	2	0,0518	0,657	---	12.670
Non réfléchissant		0,0619	0.546	---	---
Section	3	0,3840	0,437	---	1.137
Non réfléchissant		0,4459	0.322	---	---
Section	4	0,5306		---	0.128
Événements fusionnés		0,9765	-0.075	>-19.8	---
Section	5	0,0334	1,425	---	42.628
Réfléchissant		1,0099	---	-62.3	---
Section	6	0,4297	---	---	---

Tableau II. 1. L'analyse de la trace d'OTDR de la liaison BNA vers CT

Commentaire FO1 :

Les numeros qui se trouve dans le trace d'OTDR présentent les événements trouvé lors de cette installation et le tableau l'explique et donne la valeur obtenu de chaqu'un.

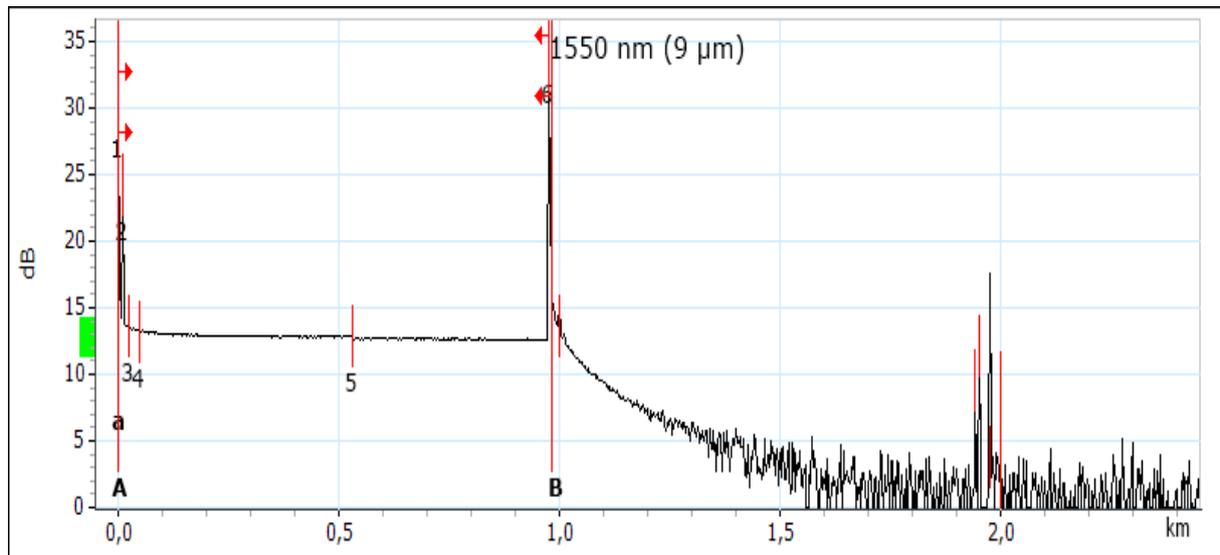


Figure II. 20. Le trace d'OTDR de la liaison BNA vers CT avec fibre FO4.

Type	N°	Pos./Long. (Km)	Perte (dB)	Réflectance (dB)	Atténuation dans la section (Km /dB)
Premier connecteur	1	0.0000	---	-30.9	---
Section		0.0100	1.350	---	134.357
Réfléchissant	2	0.0100	0.891	-44.5	---
Section		0.0132	0.444	---	33.547
Non réfléchissant	3	0.0233	0.124	---	---
Section		0.0258	0.219	---	8.493
Non réfléchissant	4	0.0490	0.402	---	---
Section		0.4813	0.268	---	0.558
Événements fusionnés	5	0.5304	0.102	---	---
Section		0.4460	0.098	---	0.220
Réfléchissant	6	0.9764	---	>-20.2	---
Section		0.9667	---	---	---

Tableau II. 2.L'analyse de la trace d'OTDR de la liaison BNA vers CT.

Commentaire FO4 :

Les numeros qui se trouve dans le trace d'OTDR présentent les événements trouvé lors de cette instalation et le tableau l'explique et donne la valeur obtenu de chaqu'un.

Partie 2 : simulation et résultats

II.9. Méthode numérique de simulation BPM (Beam Propagation Methode)

La BPM permet d'analyser les structures non uniformes suivant une direction de propagation, le principe de cette technique repose sur la décomposition de la propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu homogène sur une distance δz et d'une correction de phase due au milieu initial. La propagation de l'onde est plus aisée à réaliser dans le domaine fréquentiel à l'aide de la base des modes de propagation dans le milieu homogène alors que la correction de phase sera triviale dans le domaine spatial. Dans la suite de ces simulations, nous utilisons la méthode BPM comme méthode de simulation numérique [21].

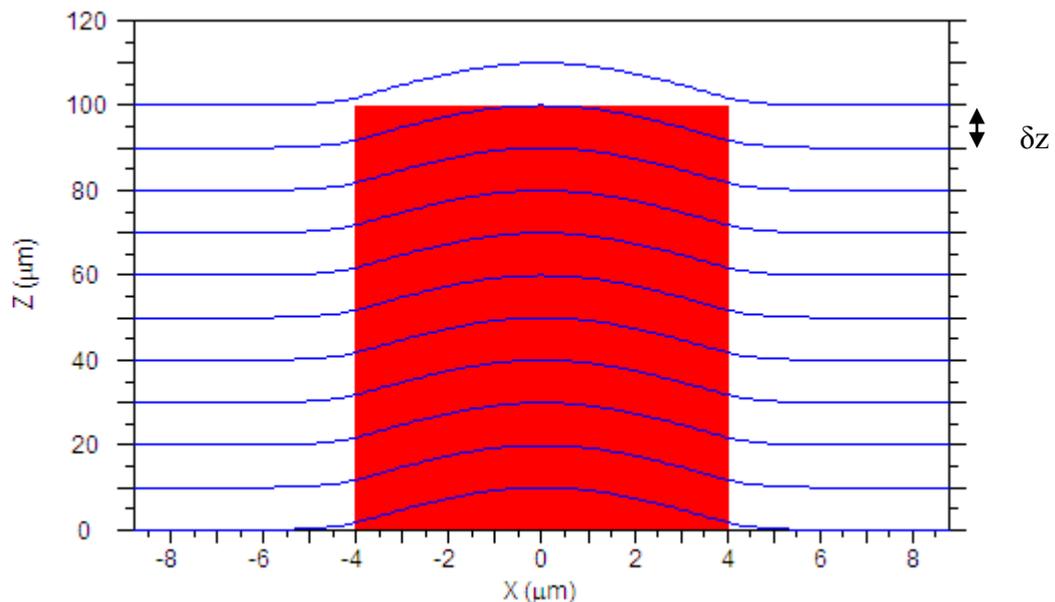


Figure II. 21. Illustration du principe de la BPM.

II.9.1. Etude de la fibre G652d

II.9.1.1. Indice de réfraction

L'indice de réfraction (refractive Index) : est une grandeur physique qui caractérise et identifie un milieu à un autre.

Dans les fibres optiques l'indice de silice évolue avec la longueur d'onde suivant l'équation de Sellmeier qui s'écrit comme suit :

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_{i=1}^m \left(\frac{A_i \lambda^2}{\lambda^2 - L_i} \right) \quad (\text{II.1})$$

Avec:

$m=3$, $A_0=0.6961633$, $A_1=0.4079426$, $A_2=0.8971794$

$L_1= 0.0684043\mu\text{m}$, $L_2= 0.1162414\mu\text{m}$, $L_3= 9.896161\mu\text{m}$

- Les valeurs constantes A_i et L_i sont des coefficients de Sellmeier pour la silice pure.

La figure II.22 montre le tracé de l'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde :

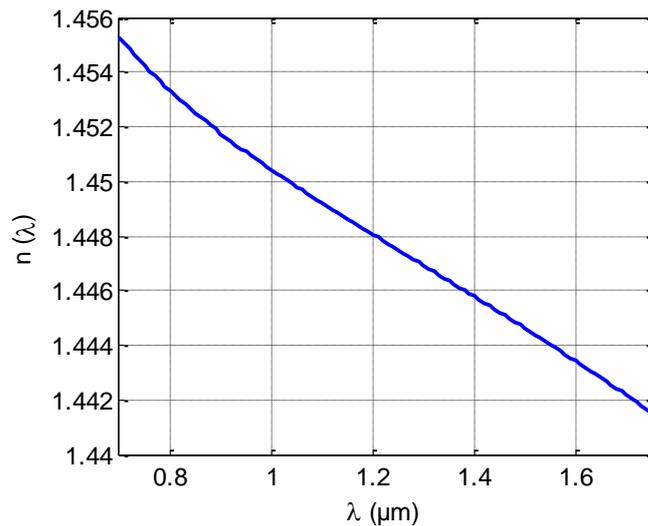


Figure II. 22. Indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde.

D'après cette figure, nous remarquons qu'à chaque fois la longueur d'onde s'augmente l'indice de réfraction diminue. En effet l'indice de réfraction diminue car il y a une relation de corrélation directe avec la température et la pression de milieu ; à chaque fois la température et la pression se baissent l'indice diminue.

II.9.1.2. Indice Effectif

Pour que le guidage de la lumière s'effectue par réflexions totales, la condition physique à vérifier est que la constante de propagation β soit comprise entre $K_{n_{\text{gaine}}}$ et $K_{n_{\text{cœur}}}$.

$$K_{n_{\text{gaine}}} < \beta < K_{n_{\text{cœur}}} \quad (\text{II.2})$$

L'indice effectif d'un mode est défini par la relation :

$$n_{\text{eff}} = \frac{\beta}{K_0} \quad (\text{II.3})$$

$$\text{Ou } : K_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$$

D'après sa définition, l'indice effectif est nécessairement plus faible que l'indice du cœur (puisque $\beta < k$). De plus, l'onde étant évanescente dans la gaine, cet indice effectif sera également plus élevé que celui de la gaine : $n_g < n_{\text{eff}} < n_c$ [22].

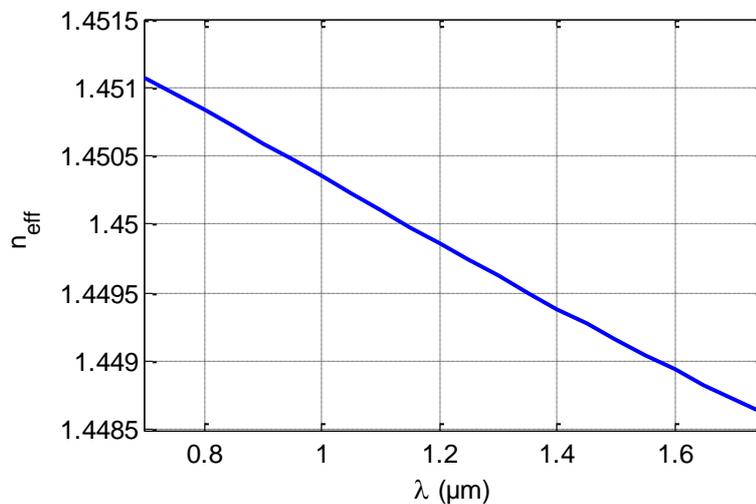


Figure II. 23. L'indice effectif en fonction de la longueur d'onde.

Cette figure montre la variation de l'indice effectif en fonction de la longueur d'onde. Nous remarquons qu'il y a une relation inverse entre l'indice effectif et la longueur d'onde ; l'indice effectif décroît à chaque fois que la longueur d'onde augmente à cause du guidage, d'où il est nécessaire qu'il s'effectue par réflexion totale, se qu'il implique un indice effectif minimale.

II.9.1.3. Fréquence normalisée

La fréquence spatiale normalisée, noté V_{eff} , est un paramètre qui permet de vérifier si la fibre est dite multimode ou monomode ; d'où la fibre est considérée monomode si $V < 2.405$.

Dans la figure II.24, nous avons la variation de la fréquence normalisée en fonction la longueur d'onde, ce qui nous intéresse dans cette figure c'est la troisième fenêtre de transmission ($\lambda = 1.55\mu\text{m}$). La valeur de la fréquence normalisée dans cette fenêtre est inférieure à 2.405, ce qui implique que notre fibre est monomode.

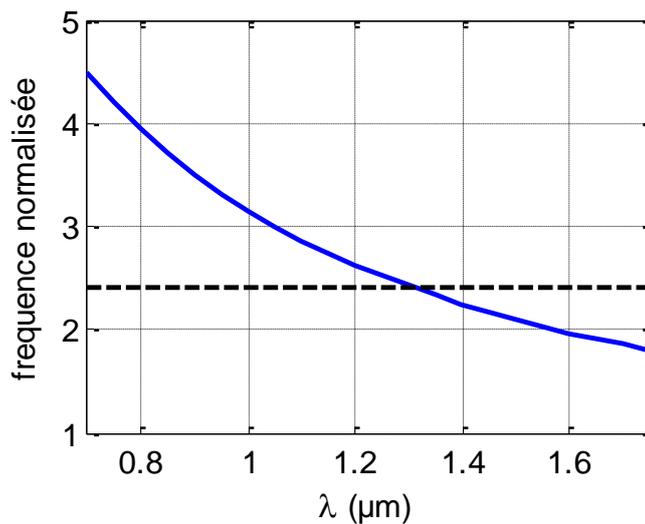


Figure II. 24. La fréquence normalisée en fonction de la longueur d'onde.

II.9.1.4. Dispersion

La dispersion chromatique détermine la capacité de transmission d'un système de communication optique. Il s'agit d'un élargissement dans le temps qui limite le débit de transmission car il force à augmenter le délai entre les impulsions.

La dispersion chromatique est obtenue à partir des indices effectifs calculés sur une bande spectrale [23].

La figure II.25 montre l'évolution de la dispersion avec la longueur d'onde. La dispersion chromatique est la somme d'un terme du matériau pur (dispersion matériau) et d'un terme dû au guidage de l'onde (dispersion modale).

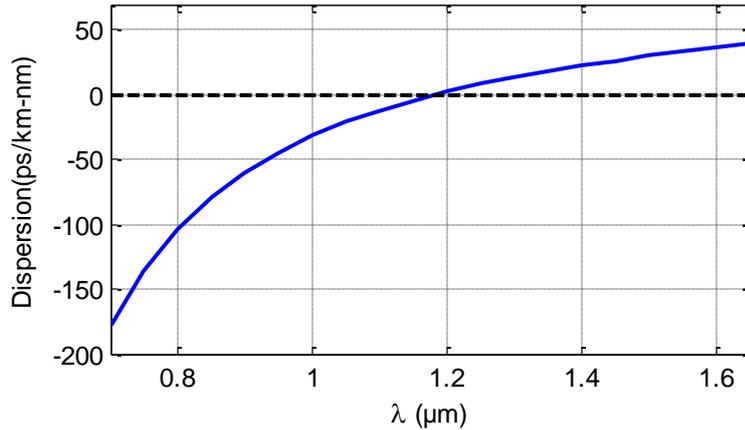


Figure II. 25. La dispersion en fonction de la longueur d'onde.

La dispersion chromatique dépend étroitement du milieu présent dans la gaine optique et l'indice effectif du mode est lié très fortement à la longueur d'onde, elle est toujours négative pour $\lambda < 1.18 \mu\text{m}$ et positive pour $\lambda > 1.18 \mu\text{m}$.

II.10. Etude de la fibre proposée

Pour notre travail académique nous avons proposé une fibre infiniment monomode, pour le but d'obtenir une meilleure dispersion que la G652d étudiée.

Nous avons proposé une fibre optique classique avec les indices suivants :

- Indice de gaine : $n_2 = 1.4498$.
- Indice de cœur : $n_1 = 1.45696$.

La figure II.27 montre les résultats de simulations :

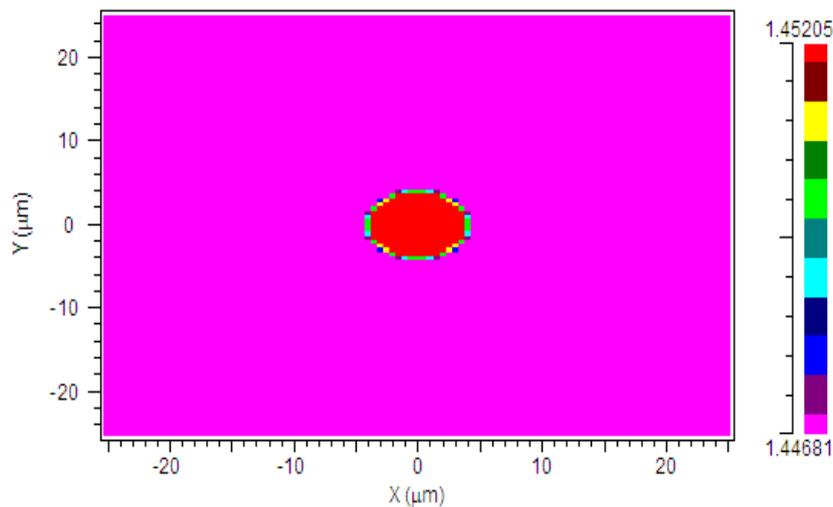


Figure II. 26. Les indices de fibre G652D.

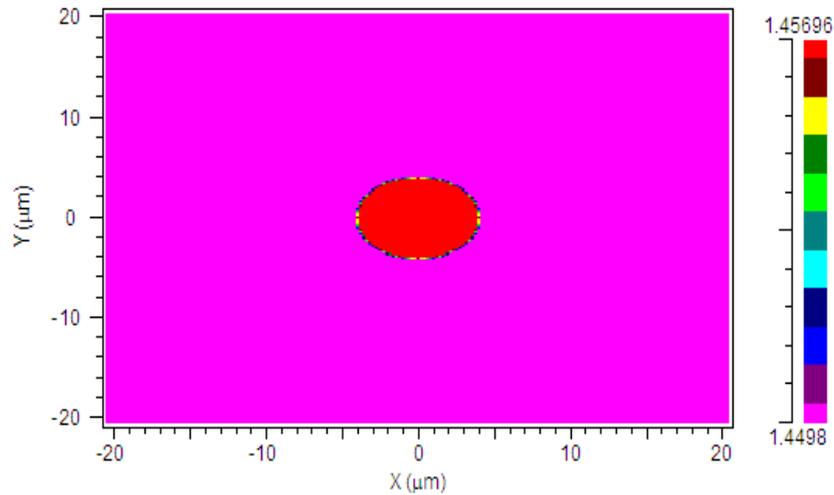


Figure II. 27. Les indices de la fibre proposée.

II.10.1. Fréquence normalisée de la fibre proposée

La figure II.28 donne les résultats obtenus lors de la simulation de la fibre proposée :

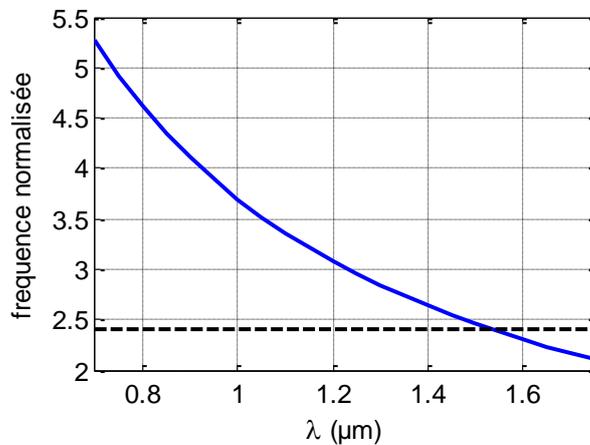


Figure II. 28. La fréquence normalisée de la fibre proposée.

On remarque que la fréquence normalisée est inférieure à 2.405 à une longueur d'onde de 1.55μm ; La structure conserve son caractère monomode large bande.

II.10.2. Dispersion chromatique de la fibre proposée

La figure II.29 présente une comparaison entre la fibre G652D utilisé en FTTH et notre fibre proposée, la courbe de dispersion en fonction de la longueur d'onde. Les résultats obtenus dans la figure est dérivé de la méthode BPM.

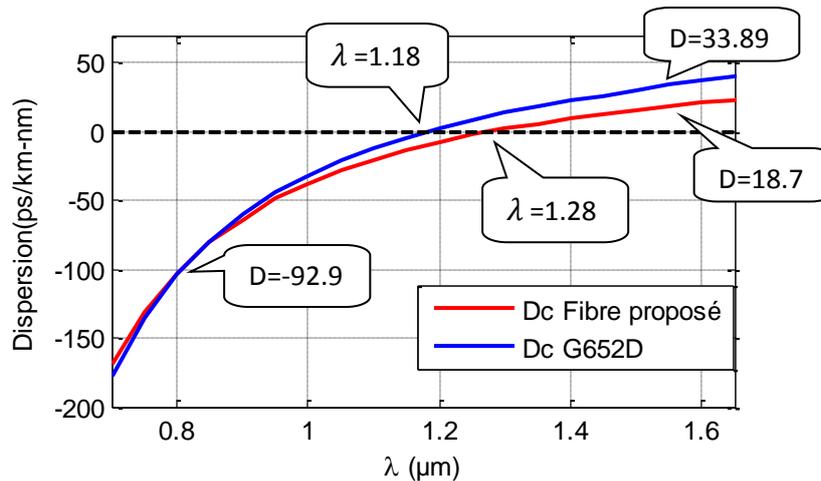


Figure II. 29. comparaison de la dispersion obtenue dans les deux fibres.

Notre comparaison comporte trois parties (trois fenêtres de transmission optique).

On remarque que dans l'intervalle $[0.7\mu\text{m}-0.8\mu\text{m}]$, il y a une bonne dispersion dans la fibre G652d et à $0.82\mu\text{m}$ les deux fibres ont la même dispersion qui est égale à -92.9 (PS/km.nm), par contre et à partir de cette valeur, la dispersion de la fibre proposée devient meilleure que celle du G652d.

La dispersion s'annule dans la fibre G652d à une longueur d'onde autour de $1.18\mu\text{m}$ alors que la fibre proposée s'annule à une longueur d'onde autour de $1.28\mu\text{m}$, on a une amélioration de décalage du zéro de dispersion (ZDW) de 100 nm .

Dans la troisième fenêtre de transmission à ($1.55\mu\text{m}$) la dispersion chromatique du G652d égale à 33.89 (PS/km.nm) par contre, celle de la fibre proposée égale à 18.77 (PS/km.nm). En conclusion, nous avons pu obtenir un résultat de dispersion meilleur que la G652d.

II.11.Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre nous avons étudié la topologie du réseau FTTH et sa structure au niveau de la citée AADL de la wilaya d'Ain-Temouchent, ensuite nous avons participé aux différentes étapes de la réalisation (NRO, SRO, BPI, PTO).

Pour incarner nos connaissances théoriques sur la fibre optique d'une manière pratique ; nous avons visité la Banque National d'Algérie « BNA » avec l'équipe technique d'Algérie Télécom, dont nous avons pratiqué les opérations de nettoyage, dénudage et clivage de la fibre optique.

Afin d'obtenir les meilleures performances d'une fibre optique en matière de transmissions des mesures, nous avons présenté l'un des appareils les plus performants et le plus utilisé qui est le réflectomètre OTDR d'où on a pu retenir les résultats de notre liaison qui a été faite entre la banque et le centre de transmission situé à Béni-saf.

Ensuite et dans la partie de simulation nous avons présenté la méthode des faisceaux propagés BPM (Beam Propagation Method) qui est une méthode numérique de simulation qui nous a permis de tirer des conclusions sur les caractéristiques de notre fibre :

- La dispersion chromatique : plus elle est négative plus elle est bonne.
- La condition de l'indice effectif pour que le guidage de la lumière s'effectue par réflexions totales.
- L'indice de réfraction change en fonction de la température et la pression du milieu.
- La fréquence normalisée nous permet de connaître le type de la fibre.



CONCLUSION GENERALE



Conclusion Générale

A l'heure actuelle, le secteur des télécommunications a connu un développement important, la première expérience de développement de la fibre optique en 1980 a commencé à exploiter des liaisons par fibre optique dans les pays industriels, permettant la réalisation de performances de haut niveau, rapide et très importantes [1].

Dans notre projet de fin d'étude, nous avons étudié au début des concepts généraux sur les fibres classiques et leurs différents types, ainsi leurs caractéristiques (l'atténuation, dispersion... etc).

Et puis nous avons parlé du câble (G652d) qui est la base des liaisons interurbaines tel que nous l'avons vu lors de nos travaux pratiques réalisés.

Au cours du deuxième chapitre, l'étude a été portée sur la technologie FTTH où nous avons participé avec l'opérateur de télécommunication (Algérie télécom) à l'installation au niveau des bâtiments AADL, nous avons également vu comment manipuler des fibres optiques, les fusionner ainsi l'utilisation des appareils de mesure. Tout cela afin d'avoir un bon débit et une bonne utilisation de la fibre G652.

Finalement nous avons traité les différentes caractéristiques de la fibre classique avec l'utilisation de la méthode de simulation numérique (BPM) et des programmes MATLAB, puis nous avons proposé une autre fibre monomode avec une meilleure dispersion par rapport à celle étudiée, la G652d.

Références

- [1] : **RIADH SAIDI**, « Etude D'une Structure De Liaison Par Fibre Optique : Caractérisation De La Propagation Et Bilan Energétique », Mémoire De Magister En Electronique, Université de Biskra, 2009.
- [2] : **JEAN-LOUINS VERNEUIL**, « Simulation De Systèmes De Télécommunication Par Fibre Optique A 40 Gbits/S », Thèse Doctorat En Télécommunications Haute Fréquences Et Optiques, Université De Limoges, 2003.
- [3] : **DAOUI ABDEL KADER**, « Fibres Optique Microstructurées : Modélisation Et Optimisation Des Propriétés Optiques », Magister En Optique Non Linéaire, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2009.
- [4] : **DJAAFARI ABDELLAH**, « Étude De La Propagation D'impulsions Ultra-courtes Dans Les Fibres Optiques Non linéaires Et Dispersives », Magister En Physique Théorique, L'université Aboubekr Belkaid De Tlemcen, 2011.
- [5] : **MARC CHAMBORDON, SÉBASTIEN KATANGA, MATHIEU PIERRE**, « La Fibre Optique-T.P.E » : <https://Sites.Google.Com/Site/Lafibreoptiquetpe1spdm/I/D-Les-Differentes-Fibres-Optiques>, Consultée Le 22février2019.
- [6] : **DAVID LABROCHE**, « Quelle Est La Différence Entre La Fibre Optique Monomode Et Multimode ? », 22décembre2017 : <https://Denisetian.Wordpress.Com/2017/12/22/Quelle-Est-La-Difference-Entre-La-Fibre-Optique-Monomode-Et-Multimode/>, Consultée Le 28 Février2019.
- [7] : **ITGARETS HALIM, REZKELLAH NADIR**, «Optimisation Des Paramètres D'une Liaison À Fibre Optique », Master En Electronique, À Université A.Mira De Bejaia, 2015.
- [8] : **BENAMMAR AMINE, MILOUDI WALID**, « Etude D'une Liaison Optique WDN Radio Sur Fibre », Master En Télécommunication, À Université Aboubakr Belkaid-Tlemcen, 2017.
- [9] : **BENTAYEB SARRA, BOUANANI HADJA ZEHOR**, « Fibres A Cristaux Photoniques À Compensation De Dispersion », Master En Génie Électrique, À Centre Universitaire D'ain Temouchent, 2017.

- [10]: **BELDJILALI KHALED, KHELLADI MOHAMMED**, «Etude Pratique Sur La Maintenance Des Fibres Optiques Monomodes », Master En Télécommunication, À Université Aboubakr Belkaid-Tlemcen, 2018.
- [11]: **SLIMI OUIDETTE**, «Microlentillage D'une Fibre Optique », Magister En Optique Et Mécanique De Précision, À Université Ferhat Abbas-Setif, 2011.
- [12]: **RIM CHERIF**, « Etude Des Effets Non-Linéaires Dans Les Fibres À Cristaux Photoniques », Thèse Doctorat En Technologies De L'information Et De La Communication, À Université Du 7 Novembre À Carthage, Tunisie, 2009.
- [13]: **HAMMACHE HAMZA RACHED**, « Etude Et Simulation Des Pertes Dans Une Liaison Fibre Optique Avec Application », Master En Télécommunication, À Université A.Mira De Bejaia, 2016.
- [14]: **ZIBANI KARIM**, « Techniques De Transmissions Dans Une Fibre Optique Etude Et Simulation », Master Académique En Electronique, À Université A.Mira De Bejaia, 2013.
- [15]: **HASSAOUI MOUNIR**, « Modélisation Des Pertes Dans Les Liaisons Optiques », Master En Génie Électrique, À Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2012.
- [16]: **CAHIER DE CHARGE**,« réalisation d'infrastructures d'accueil pose et raccordement des câbles à fibres optiques », Algérie Télécom », 2017.
- [17]: **DENIS PAPIN**,« Fibre Optique Solution De Câblage Opérateur & Inter-Bâtiment », ACTN, Paris.
- [18]: **HAMMAD ILHAM, HAMLIA NORA**, « Application De La Technique CDMA Aux Systèmes De Communication Optique», Master En Systèmes Des Télécommunications, Université Aboubakr Belkaid-Tlemcen, 2018.
- [19]: **BOUZIDI KHEIREDDINE, NEGADI ABDELHAKIM, NEGADI OUSSAMA**, «Fibre Optique», Technicien Supérieur En Télécommunication, Institut National Spécialisé de La Formation Professionnelle mansourah –Tlemcen, 2017.
- [20]: **"AGILENT TECHNOLOGIES OTDR"**, Guide De Poche, Imprime En Allemagne, 2001

[21] : L. B. SOLDANO ET E. C. PENNINGS, « Optical Multi-Mode Interference Devices Based Ondentaire: Analyse D'un Questionnaire», Université Toulouse Iii-Paul Sabatier, Toulouse, 2015.

[22]: OLIVIER VANVINCQ, «Étude Théorique Des Propriétés Optiques Linéaires Et Non-Linéaires Des Fibres A Bandes Interdites Photoniques A Cœur Solide », Thèse Doctorat En Sciences Et Technologies, A l'université Lille1, 2011.

[23]: F. BAHLOUL, M. ZGHAL, R. CHATTA, R. ATTIA, «Modelling Microstructured Optical Fibers», Proc.Ieee-Eurasip Isccsp, Pp. 647-650, 2004.