



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique
جامعة العربي بن مهيدي أم البواقي
Université Larbi Ben M'Hidi Oum El Bouaghi



Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la vie
Département Des Sciences de la Matière

N° d'ordre : /2023

Mémoire

En vue pour l'obtention du diplôme de Master en Physique
Option : Physique Appliquée

Simulation d'une chaîne de transmission numérique à une longueur de 100 Km.

Présenter Par :

- Messai Souhila
- Besbaci Naouel

Sous la Direction de :

Dr. Bordji Bachir

Soutenu le :

Devant les jurys de soutenance suivant :

Président :Pr. Hebbir Nacer

Univ-OEB

Examineur :Dr. Hamouda Amar

Univ-OEB

Encadreur : Dr. Bordji Bachir

Univ-OEB

Année Universitaire 2022-2023

Remerciements

Je remercie mon dieu de m' avoir permis de réaliser et de faire aboutir ce travail de mémoire.

La présentation de ce modeste travail nous offre l'occasion d'exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur Monsieur Bordji Bachir, enseignant au département SM faculté de sciences exactes, pour sa disponibilité et le temps précieux qu'il nous a consacré pour répondre à nos interrogations et les éclaircissements qu'il nous a fourni. Il a bien voulu diriger ce travail pendant toute la durée de l'expérimentation et la mise en forme du document final. Nous sommes heureux de lui exprimer ici notre respectueuse reconnaissance.

Il apparait opportun de commencer également ce mémoire par des remerciements, à ceux qui nous ont beaucoup appris au cours de ce stage. Nous tenons à remercier la direction de la faculté de sciences exactes de nous avoir accueillis dans leurs locaux. Par ailleurs, nos remerciements s'adressent à Salah Bennouri directeur du lycée Boukhalfa Sebti, Ses nombreux conseils ne m'ont jamais fait défaut. Nous tenons également à remercier notre Doyen Mr. Habir Naceur pour sa médiation afin d'entrer dans cette formation.

Nous remercions également Mr. Goumidane Faycal chef département SM pour son aide, notamment avec ses conseils.

Nous avons trouvé auprès de nos enseignants : Mr Laiche, Mme Azizi, Mme Merzougui beaucoup de gentillesse et une grande aide dans l'obtention et la consultation des documents au sein de département SM.

Nous ne pouvons terminer sans évoquer la présence et le soutien permanent de Mr choug vice recteur chargé de la pédagogie, sa compréhension, sa disponibilité, ses conseils.

Que les membres du jury de ce mémoire trouvent ici l'expression de notre respectueuse considération.

Dédicace

*À mon cher fils Abderrahmene (Ishak), le prince
héritier, la vie de mon âme et l'âme de ma vie.*

*À la prunelle de mes yeux, Amina et Maria, que
dieu les protège.*

À mes chères sœurs et cher frère Fateh.

À ma chère Sœur Naouel Besbassi

*À toutes et tous mes collègues du lycée Boukhelfa
Sebti.*

*À la mémoire de ma mère et mon cher père, que
Dieu leur fasse miséricorde.*

Souhila Messai

Dédicace

A mon mari ABDELAAZIZ

A qui je souhaite exprimer dans ce travail mes sentiments d'amour de la tendresse et de la gentillesse car grâce à son aide sa patience avec moi qui m'a donné la force et le courage d'affronter les moments difficiles et mon travail a pu voir le jour.

A mes chère enfants,

Mes deux futures médecins Micilia et tinhinane ainsi que Markounda et Youghorta, je sais très bien que vous pouvez faire une différence dans ce monde, à ma princesse Amira qui sait toujours comment procurer la joie pour toute la famille

Dès que je passe le regard sur leurs visages, je sais pourquoi j'existe c'est eux qui me donnent l'espoir et la volonté de mener à bien mes travaux.

A ma chère mère,

Quoi que je fasse ou je dise je ne peux remercier ma raison d'être comme il faut elle est l'affection qui me couvre et la bienveillance qui me guide.

A la mémoire de mon cher père,

Il a toujours été à mes côtés pour m'encourager et pour tout l'aide qu'il m'a apporté durant mes études.

A mon frère Mohamed

à mes chères sœurs, à mes collègues de l'école moussa boubakeur, ainsi que, la directrice qui ma beaucoup aider.

A ma chère sœur, binôme Souhaila.

A tous mes chers amis toute ma famille tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

Sommaire

Titres	Page
Remerciement	i
Dédicace	ii
Sommaire	iv
Liste des figures.....	vi
Introduction générale	1
Chapitre I	Page
I.1. Historique	3
I.2. Fibre optique	3
I.2.1. Définition	4
I.2.2. Principe	5
I.2.3. Classification des fibres optiques	5
I.2.4. Caractérisation de la fibre optique	5
I.3. Types de la fibre optique	6
I.3.1. Les fibres optiques monomodes.....	6
I.3.2. Les fibres optiques multi modes.....	6
I.3.2.1. Fibres optiques à saut d'indice	6
I.3.2.2. Fibres optiques à gradient d'indice.....	7
I.4. Applications des fibres optiques	7
I.4.1. Les télécommunication	8
I.4.2. La médecine	8
I.4.3. L'éclairage	9
I.4.4. L'armée	9
I. 5. Effets rencontrés par la propagation des ondes électromagnétiques dans la fibre optique.....	9
I.5.1. Pertes de la fibre optique.....	9
I.5.2. Effets linéaires dans les fibres optiques.....	11
I.5.2.1. Dispersion	11
I.5.2.2. Dispersion modale de polarisation « PMD »	14
I.5.2.3. Dispersion chromatique d'ordre 3 (β_3) TOD	15
I.5.3. Effets non-linéaires dans les fibres optiques	16
I.6. Effets de Kerr	17
I.7. Diffusion de la lumière	18
I.8. Diffusion Rayleigh	19
I.9. Diffusion Raman	19
I.10. Diffusion Brillouin	21
I.11. Effet Kerr optiques	22
I.11.1. Auto-modulation de phase (SPM)	22
Chapitre II	Page
II.1. La diode Laser	24
II.1. 1. Structure de base de la diode laser	25
II.1. 2. Les différents types de la diode laser	26
II.1. 3. La lumière d'un laser	26
II.1. 4. Domaine d'utilisation des diodes laser	29
II.2. Les photodiodes PIN	30
Chapitre III	Page
III. 1. Etude théorique du montage	33
III. 1. 1. Bloc 1 (Module d'émission)	33

Sommaire

III. 1. 2. Bloc 2 (Module de transmission)	34
III. 1. 3. Bloc 3 (Module de réception)	34
III.2 Présentation du logiciel Optisystem	35
III. 3. Caractéristique du simulateur OPTISYSTEM [36]	36
III. 3. Résultats et discussions	44
Conclusion générale	48
Références	A

Liste des figures

Légende	Page
Figure I.1 : structure d'une fibre optique	3
Figure I. 2 : Principe de guidage de la lumière dans une fibre optique	5
Figure I. 3 : Schéma d'une fibre optique monomodes	6
Figure I. 4: Fibre multi-modes à saut d'indice	7
Figure I. 5: Fibre Multi-modes à gradient d'indice	7
Figure I. 6 : Une seule paire de fibre optique transporte un débit 10 fois plus fort que 250 paires de fils de cuivre	8
Figure I. 7 : Un endoscope	8
Figure I. 8 : Chirurgie	9
Figure I. 9 : Eclairage	9
Figure I.10 : Représentation schématique de l'évolution de l'atténuation d'une fibre optique en fonction de la longueur d'onde	11
Figure I.11 : Représentation schématique de la dispersion modale de polarisation dans une fibre optique. DGD: Retard de groupe différentiel : Tronçon élémentaire de fibre	14
Figure I.12 : Représentation schématique du processus de diffusion de lumière	19
Figure I.13 : Représentation schématique des transitions énergétiques à la base de la diffusion Raman	20
Figure I.14 : Schéma de principe de la diffusion Raman au sein d'une fibre optique en silice pure	20
Figure I.15: Spectre Raman dans une fibre en silice pour longueur d'onde de pompe de 1450 nm	21
Figure II.1 : Diode laser	24
Figure II. 2 : laser à cavité de type Fabry Perrot.....	24
Figure II. 3 : Structure d'une diode laser à double hétérojonction	25
Figure II. 4 : Absorption	27
Figure II.5 : émission spontanée	28
Figure II. 6 : émission stimulée	28
Figure II. 7 : Application de la lumière a. Fibres optiques, b. Lecteurs CD, CD-ROM, DVD..., c. Imprimantes et scanners laser, d. Pointeurs laser, e. Nombreuses applications industrielles	30
Figure II.8 : Photodiode PIN	30
Figure II.9 : Principe de la photo détection avec une photodiode PIN.....	31
Figure III. 1 : Liaison optique entre deux points	33
Figure III. 2 : Emetteur optique	34
Figure III. 3 : L'espace libre (l'éther)	34
Figure III. 4 : Module de réception	35
Figure III.5 : Bibliothèque des composants	36
Figure III. 6. Bureau de windows	36
Figure III. 7 : Lancement du logiciel OPTISYSTEM	37
Figure III. 8 : Interface du logiciel OPTISYSTEM	37
Figure III. 9 : La bibliothèque du logiciel OPTISYSTEM	38
Figure III. 10 : Un groupe de composants	39
Figure III. 11 : Insertion d'un composant	40
Figure III. 12 : Changement de paramètre d'un composant	40
Figure III. 13 : La boîte de dialogue après le changement du paramètre	41
Figure III. 14 : Le groupe de composants Optical Sources	42
Figure III. 15 : La zone de travail après l'ajout du deuxième composant	43

Liste des figures

Figure III. 16. Boite de dialogue de simulation	43
Figure III.17 : Signal temporel à la sortie de l'émetteur	44
Figure III.18 : signal temporel à la sortie de la deuxième fibre	44
Figure III.19 : Signal temporel à la sortie de l'EDFA	45
Figure III.20 : Signal temporel à la sortie de la 2eme fibre	45
Figure III.21 : Signal temporel à la diode PIN	46
Figure III.22 : Signal temporel à la sortie du filtre de Bessel	46
Figure III.23 : L'analyseur de BER pour juger la qualité du signal et le BER.	47

Les systèmes de communications point à point étaient initialement conçus en affectant, à chaque couple émetteur/ récepteur, un canal de transmission "physique". Afin d'augmenter la capacité d'un réseau de communication en nombre des utilisateurs et d'optimiser l'utilisation des ressources, différentes techniques d'accès multiples ont fait leur apparition.

Chapitre I : Conception des fibres optiques

Introduction :

La fibre optique désigne le support et la technologie associés à la transmission des informations sous la forme d'impulsions lumineuses dans un fil ou une fibre de verre ou de plastique. Un câble en fibre optique contient un certain nombre de ces fibres de verre, de quelques-unes à deux cents environ. Et la fibre optique, mince cheveu de verre très transparent, a révolutionné les télécommunications depuis sa découverte dans les années soixante. L'information n'est plus transmise sous forme électrique mais sous forme lumineuse. En raison de sa faible atténuation, son faible poids, sa très petite taille et sa résistance mécanique, elle s'est imposée au fil des années comme le média par excellence pour la transmission des données sur des longues distances. La conception des systèmes de transmission à très grande capacité était désormais possible, de plus les échanges à travers ces systèmes allaient être de plus en plus nombreux et la demande de services de plus en plus élevée. Son apparition a nécessité la conception et le développement de nouveaux composants optiques [4].

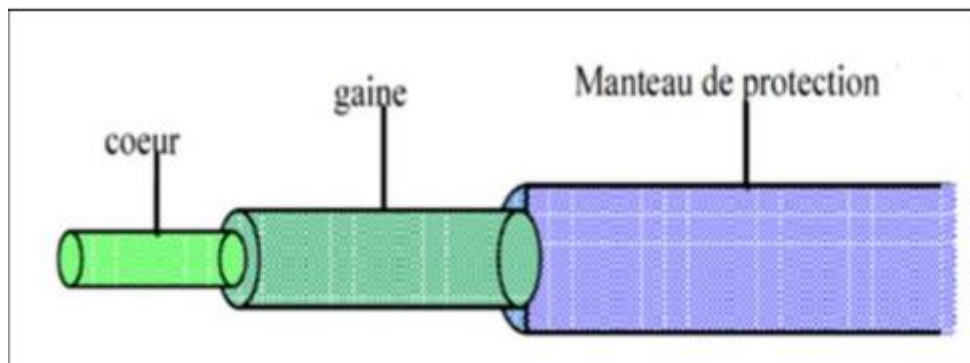


Figure I.1 : structure d'une fibre optique.

I.1. Historique :

Il est naturel aujourd'hui de recevoir et d'envoyer des messages instantanément de n'importe quel point de la planète. Cette capacité de communication à l'échelle du globe, sans précédent dans l'histoire, bouleverse notre représentation du monde. Elle est le résultat d'une longue évolution, depuis les signaux de fumée des indiens d'Amérique jusqu'aux réseaux de télécommunication par fibre optique [4].

I.2. Fibre optique :

Afin de guider la lumière, des guides d'onde d'abord métalliques et non métalliques ont été fabriqués, mais ils ont d'énormes pertes. Donc ils n'étaient pas adaptés pour les

Chapitre I : Conception des fibres optiques

télécommunications. 'Tyndall' a découvert qu'avec les fibres optiques, la lumière peut être transmise par le phénomène de réflexion interne totale. Pendant les années 1950, les fibres optiques à grand diamètre d'environ 1 ou 2 millimètres ont été utilisées dans les endoscopes pour voir les parties intérieures du corps humain [5]. Les fibres optiques peuvent fournir une voie beaucoup plus fiable que l'atmosphère. En 1966, 'Kao' et 'Hockham' ont publié un document sur le système de communication par fibres optiques [6] avec une énorme perte de 1000 dB/km. Par contre, dans l'atmosphère, il y a une perte de quelques dB/km. Immédiatement Kao et ses collègues de travail se sont rendu compte que ces pertes étaient élevées en raison d'impuretés dans le matériau de la fibre. En utilisant une fibre en silice pure, ces pertes ont été réduites à 20 dB / km en 1970 par 'Kapron', 'Keck' et 'Maurer' [7]. Avec cette perte d'atténuation, l'espacement des répéteurs pour les liaisons à fibres optiques devient comparable à celui des systèmes à câbles de cuivre. Ainsi, le système de communication à fibre optique est devenu une réalité.

I.2.1. définition :

Une fibre optique est un fil de verre transparent très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données. Elle a un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques [4].

I.2.2. Principe :

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Elle est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine. Le cœur de la fibre a un indice de réfraction légèrement plus élevé (différence de quelques millièmes) que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux (en raison du phénomène de réflexion totale interne) [4].

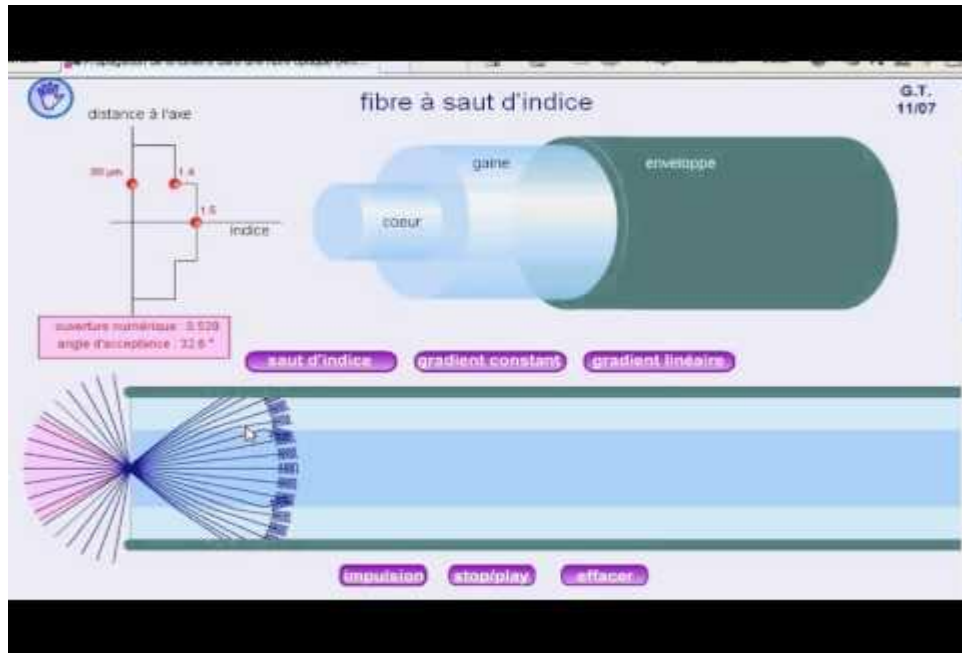


Figure I. 2 : Principe de guidage de la lumière dans une fibre optique.

I.2.3. Classification des fibres optiques

En fonction de la distribution radiale de l'indice de réfraction du cœur, nous pouvons classer les fibres en deux catégories :

- Les fibres à saut d'indice (FSI).
- Les fibres à gradient d'indice (FGI).

L'étude de la propagation dans un guide électromagnétique fait apparaître la notion de modes de propagation, quantifiée par les paramètres du guide. Dans le cas des fibres optiques, cette quantification conduit à une autre classification : on distingue les fibres monomodes, dans lesquelles un seul mode de propagation est possible, et les fibres multi-modes où plusieurs modes (quelques centaines ou milliers dans les fibres habituelles) peuvent coexister [8].

I.2.4. Caractérisation de la fibre optique

La fibre optique est caractérisée par plusieurs paramètres qui sont déterminés à partir de ses différents types. Les quatre paramètres les plus importants sont:

- ouverture numérique.

- L'atténuation.
- La bande passante.
- La dispersion [9].

I.3. Types de fibre optique

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon leur diamètre et la longueur d'onde utilisée.

I.3.1. Les Fibres optiques monomodes

Les fibres monomodes ont un diamètre de cœur très faible (10 microns), l'onde se propage dans l'axe de la fibre sans dispersion modale. Ces fibres monomodes sont caractérisées par l'affaiblissement (dB) par unité de longueur (km), et une dispersion chromatique, ainsi que la dispersion des modes de polarisation (PMD), citons aussi la longueur d'onde de coupure. Ce type de fibre est dédié aux réseaux longs distances [10, 11].

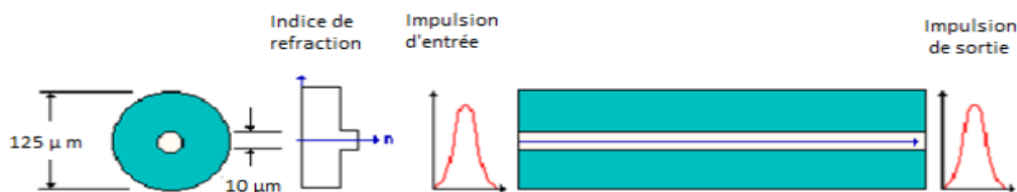


Figure I. 3 : Schéma d'une fibre optique monomodes.

I.3.2. Les Fibres optiques Multi modes.

Les fibres multi modes ont un cœur de grand diamètre (de 50 à 85 microns). Ceux-ci ont été les premières à être commercialisées, grâce aux réflexions totales qu'elles subissent à l'interface entre le verre du cœur et le verre de gaine, un rayon lumineux traversant le cœur de la fibre jusqu'à l'une de ses extrémités. On se propageant en longueur jusqu'à l'autre extrémité [11].

I.3.2.1. Fibres Optiques à saut d'indice.

Ces fibres sont composées d'un cœur d'indice n_1 et d'une gaine optique d'indice n_2 , avec n_2 inférieur à n_1 et une rupture d'indice (saut d'indice), on trouve aussi une séparation

Chapitre I : Conception des fibres optiques

entre le cœur et la gaine comme le montre). L'indice de réfraction est constant dans le cœur et à l'interface gaine.

Les fibres à saut d'indice sont caractérisées par leurs faibles couts et par une mise en action très facile [10, 11].

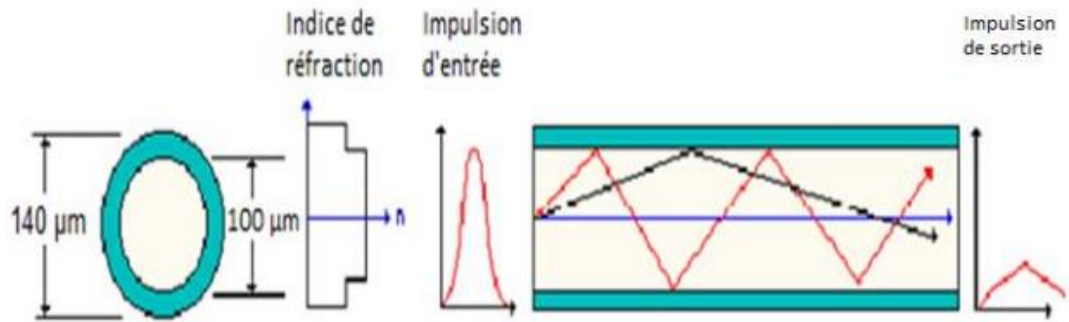


Figure I. 4: Fibre multi-modes à saut d'indice.

I.3.2.2. Fibres Optiques à gradient d'indice.

Dans les fibres à gradient d'indice, l'indice du cœur n'est pas constant, il diminue suivant une loi d'allure parabolique à partir d'axe jusqu'à l'interface cœur-gaine [12].

Les fibres à gradient d'indice sont caractérisées par une bande passante raisonnable et une bonne qualité de transmission. Le débit de ce type de fibre est environ de 1 Gbit/s, avec une Portée maximale de 2 Km, dont l'affaiblissement égale à 10 dB/Km [13,14].

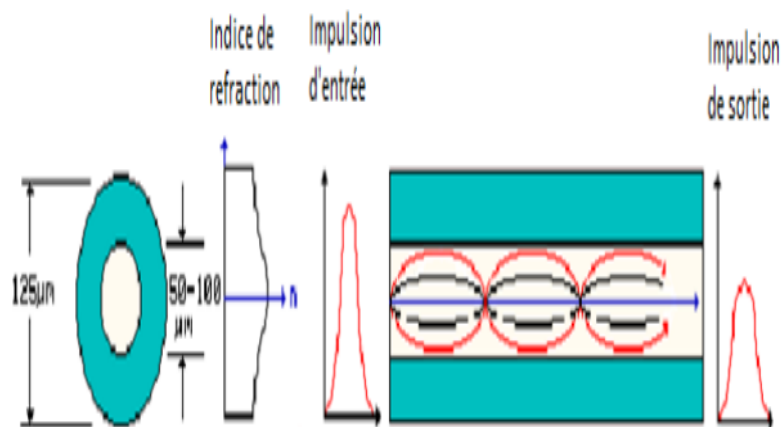


Figure I. 5: Fibre Multi-modes à gradient d'indice.

I.4. Applications de la fibre optique.

Chapitre I : Conception des fibres optiques

I.4.1. Les télécommunications.

Actuellement, il est nécessaire d'augmenter la vitesse de propagation des informations. Pour cette raison, elles sont envoyées par les réseaux qui permettent de mettre en relation un grand nombre de personne [11].

Les fibres optiques sont utilisées en téléphonie, transmission des images ou des données. Les fibres sont utilisées en particulier pour les réseaux à haut débit. Leurs capacités de transmission accèdent des débits de l'ordre du gigabit par seconde avec une faible atténuation et grâce aux multiplexages, on atteint la centaine de Gbits/s [15].

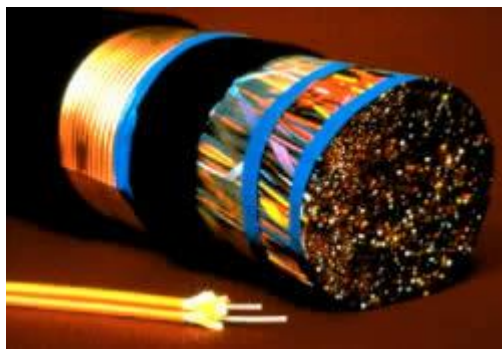


Figure I. 6 : Une seule paire de fibre optique transporte un débit 10 fois plus fort que 250 paires de fils de cuivre.

I.4.2. La Médecine.

La première utilisation d'envergure de la fibre optique fut en médecine, domaine où elle est toujours grandement utilisée aujourd'hui. La fibre optique est utilisée en médecine tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies [16].



Figure I. 7 : Un endoscope.

Chapitre I : Conception des fibres optiques

Pour un traitement, la fibre optique sert à transporter la lumière intense d'un laser à l'intérieur du corps humain où elle interagira par effet thermique avec les tissus : en chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de : pulvériser un calcul rénal, découper une tumeur, réparer une rétine...



Figure I. 8 : Chirurgie

I.4.3. L'éclairage

Dans le domaine de l'éclairage, les fibres optiques sont aussi très utilisées, en muséographie, architecture, et aménagement d'espaces d'agrément public et domestique.

Enfin, dans le balisage, la décoration, la signalétique d'orientation ou encore en signalisation routière, les fibres optiques sont des outils couramment utilisés.



Figure I. 9 : Eclairage

I.4.4. L'armée.

Les fibres optiques sont le premier choix pour les différentes applications militaires, leurs utilisations dans ce secteur est immense. Elles offrent un meilleur débit et une sécurité supplémentaire pour leurs données [17].

I.5. Effets rencontrés par la propagation des ondes électromagnétiques dans la fibre optique

I.5.1. Pertes de la fibre optique

L'atténuation, caractérisant les propriétés de transmission d'une fibre optique monomode, représente l'un des deux facteurs les plus pénalisants de la fibre.

Chapitre I : Conception des fibres optiques

Cette atténuation est la somme de diverses contributions et dépend des matériaux utilisés et des caractéristiques opto-géométriques de la fibre. Pour les télécommunications optiques, une faible valeur du coefficient d'atténuation linéique permet un accroissement de l'espacement entre les répéteurs, ce qui se traduit par conséquent par une meilleure fiabilité du système, il en définit même la portée dans l'établissement du bilan énergétique entrant dans la conception d'une liaison optique. L'atténuation résulte d'une combinaison de diverses contributions : absorptions, diffusion, imperfections du guide (micro courbures), courbures, pertes aux connections [18].

Le principal atout des fibres optiques est une atténuation extrêmement faible.

L'atténuation va varier suivant la longueur d'onde. Bien que les technologies actuelles permettent de minimiser au mieux les pertes liées au guidage, il existe inévitablement des pertes intrinsèques dues à la diffusion de Rayleigh de la lumière par la silice.

Un pic d'absorption, du à la présence de radicaux OH- dans la silice qui présente des Impuretés, pourra également être observé autour de 1385 nm.

Les fibres monomodes en silice connaissent un minimum d'atténuation vers 1550 nm (voir figure I. 2). Cette longueur d'onde du proche infrarouge sera donc privilégiée pour les Communications optiques. De nos jours, la maîtrise de procédés de fabrication permet D'atteindre une atténuation aussi faible que 0.2 dB/km à 1550 nm : apes 100 km de Propagation, il restera donc 1% de la puissance initialement injectée dans la fibre, ce qui Peut être suffisant pour une détection. Soient P_0 et P_T les puissances à l'entrée et à la sortie d'une fibre de longueur L . L'atténuation linéaire se traduit alors par une décroissance exponentielle de la puissance en fonction de la longueur de fibre :

$$P_T = p_0 \cdot \exp(-\alpha_l L). \quad (I.1)$$

Où αL est le coefficient d'atténuation linéaire. On utilise souvent le coefficient exprimé en dB/km et relié à αL par l'expression :

$$\alpha_{dB} = -\frac{10}{L} \log\left[\frac{P_T}{P_0}\right] = 4.343\alpha_l . \quad (I.2)$$

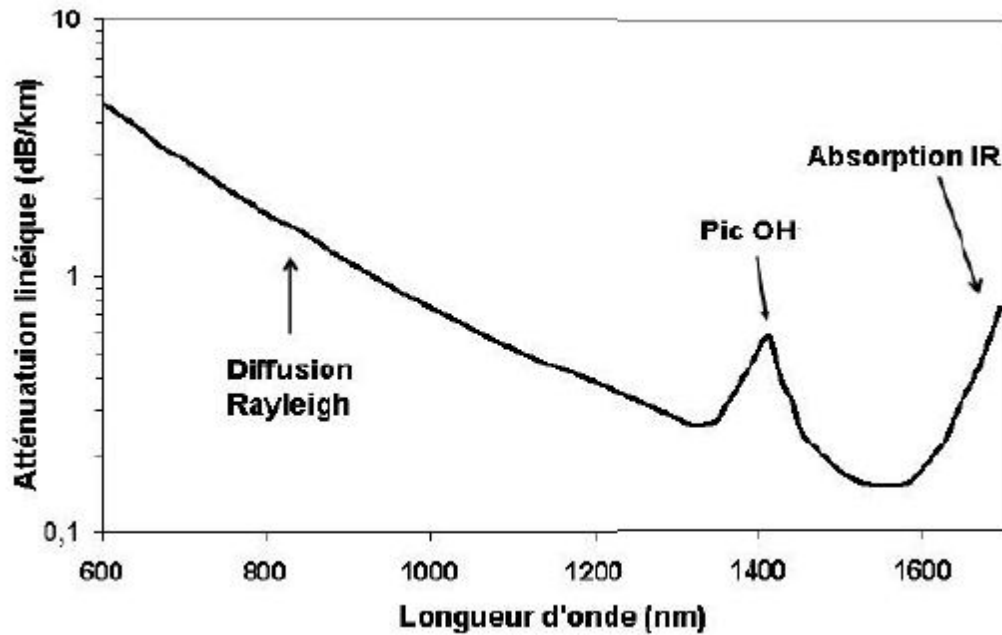


Figure I.10 : Représentation schématique de l'évolution de l'atténuation d'une fibre optique en fonction de la longueur d'onde.

On constate dans la Figure I.10, que les pertes intrinsèques atteignent un minimum de 0,21 dB.km⁻¹ autour de la longueur d'onde 1550 nm qui a donc été choisie pour transmettre les informations sur de longues distances.

I.5. 2. Effets linéaires dans les fibres optiques

I.5. 2. 1. Dispersion

La dispersion est une caractéristique de la fibre optique selon laquelle la vitesse de Propagation de la lumière dépend de sa longueur d'onde. La dispersion chromatique trouve son origine dans deux aspects : une partie de cette dispersion est due au matériau Constituant la fibre elle-même tandis qu'une autre partie de cette dispersion est due au Profil d'indice de réfraction dans la fibre i.e. à la structure du guide optique elle-même. On Parle ainsi de dispersion chromatique de matériau et de dispersion chromatique modale ou de forme. La dispersion dans les fibres monomodes provient de la variation de l'indice de réfraction avec la longueur d'onde $n(\lambda)$: une impulsion lumineuse composée de plusieurs composantes spectrales voit ses différentes composantes se déphaser et se propager à des vitesses différentes puisqu'elles ne voient pas tout à fait les mêmes indices de réfraction.

Loin des fréquences de résonance du matériau, l'indice de réfraction est approximé par L'équation de *Selleries* suivante :

Chapitre I : Conception des fibres optiques

$$n^2(\omega) = 1 + \sum_{j=1}^m \frac{B_j \omega_j^2}{\omega_j^2 - \omega^2} = 1 + \sum_{j=1}^m \frac{B_j \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_j^2} \quad (\text{I.3})$$

Avec ω_j , λ_j et B_j sont respectivement la pulsation, la longueur d'onde et l'amplitude de la $j^{\text{ème}}$ résonance.

Comme on a cité précédemment, la dispersion dans une fibre optique ne dépend pas seulement des propriétés dispersives du matériau (silice) car la géométrie et le guide provoquent aussi une dispersion supplémentaire (la dispersion modale) qui reste plus faible devant la dispersion du matériau. La dispersion, dans une fibre optique, ne dépend pas seulement des propriétés dispersives du matériau (silice) car la géométrie et le guide provoquent aussi une dispersion supplémentaire. Mais généralement, dans les fibres standards, la dispersion du guide reste plus faible que la dispersion chromatique du matériau. Ces effets de la dispersion sont exprimés par le développement limité en série de *Taylor* de la constante de propagation du champ électrique $\beta(\omega)$ autour de la fréquence angulaire ω_0 suivant :

$$\beta(\omega) = \frac{\omega}{c} n(\omega) = \beta_0 + \beta_1 (\omega - \omega_0) + \frac{\beta_2}{2} (\omega - \omega_0)^2 + \frac{\beta_3}{6} (\omega - \omega_0)^3 + \dots + \frac{\beta_m}{m!} (\omega - \omega_0)^m \quad (\text{I.4})$$

Avec $\beta_0 = \beta(\omega_0)$ et $\beta_m = \left[\frac{\partial^m}{\partial \omega^m} \right]_{\omega = \omega_0}$.

Notons que les unités des termes β_m sont exprimées en ps.Km⁻¹. Avec β_1 traduit la vitesse à laquelle l'énergie de l'impulsion se propage. En effet elle correspond à l'inverse de la vitesse de groupe V_g . Il s'exprime sous la forme suivante :

$$\beta_1 = \frac{1}{v_g} = \frac{1}{c} \left[n + \omega \frac{\partial n}{\partial \omega} \right] \quad (\text{I.5})$$

Alors que β_2 quant à elle, est responsable de l'élargissement temporel des impulsions dite aussi coefficient de dispersion de la vitesse de groupe *GVD* (*Group Velocity Dispersion*), elle traduit la variation de la vitesse vis-à-vis de la fréquence.

$$\beta_2 = \left(\frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2} \right)_{\omega = \omega_0} = \frac{1}{v_g^2} \frac{\partial v_g}{\partial \omega} = \frac{1}{c} \left[2 \frac{\partial n}{\partial \omega} + \omega \frac{\partial^2 n}{\partial \omega^2} \right]. \quad (\text{I.6})$$

La dispersion chromatique ou tout court dispersion, noté D , représente l'écart du temps d'arrivée de deux impulsions de longueurs d'onde centrales différentes de 1 nm et envoyées dans une fibre de 1 km de longueurs. Cette quantité peut s'exprimer en fonction de β , en (en ps.nm⁻¹.km⁻¹).

Chapitre I : Conception des fibres optiques

$$D = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \beta_2. \quad (I.7)$$

D'une manière générale, D est la dispersion totale (elle englobe la dispersion chromatique D_m et la dispersion du guide D_g). Pour les fibres monomodes utilisées comme fibres de transmission dans les systèmes, on définit deux régimes de dispersion.

Un régime de dispersion qualifié d'anormal lorsque les composantes de plus hautes fréquences se déplacent plus vite que les composantes de plus basses fréquences. Au cours de la propagation, les composantes de basses vont donc s'accumuler sur le front descendant de l'impulsion tandis que les hautes fréquences s'accumulent sur le front montant. Le front montant de l'impulsion étant alors plus rapide que le front descendant, il s'en suit un élargissement inexorable de l'impulsion pouvant causer des erreurs de détection et la perte de l'information d'où l'intérêt de compenser la dispersion chromatique pour les débits élevés supérieur à 10 GHz.

- Un régime de dispersion qualifié normal lorsque $\beta > 0$ (soit $D < 0$) et où les paquets d'onde de longueur d'onde centrale courte au contraire se déplacent moins rapidement que ceux à des longueurs d'onde plus longues. Il est possible de modifier la valeur de λ_0 en modifiant la nature ou la concentration des dopants introduits au sein de la fibre lors de sa fabrication, mais aussi en jouant sur le profil d'indice de la fibre [19].

Il est important de savoir la longueur pour laquelle l'effet de la dispersion, d'ordre 2, devient important, pour une impulsion qui se propage dans une fibre optique. Pour cette raison, nous exprimons cette longueur sous la forme suivante :

$$L_D = \frac{T_0}{\rho_2} \quad (I.8)$$

L_D est la longueur de dispersion, correspond à la distance de propagation au bout de laquelle l'impulsion initiale, d'une largeur temporelle à $1/e$ de T_0 , s'est élargie ou étalée d'un facteur. D'après l'équation (II.8) nous pouvons constater que plus l'impulsion est courte plus les effets de dispersion apparaissent rapidement au cours de sa propagation. La dispersion chromatique est donc un facteur majeur de limitation des performances des systèmes de transmission sur fibre à haut débit. Car le milieu des télécommunications utilise principalement des longueurs d'onde autour de 1.55 m (en raison de sa faible atténuation dans cette plage spectrale). Aussi plus les débits à transmettre seront élevés, Plus le recouvrement se produire rapidement, et plus des techniques de compensation élaborées doivent être mise en ouvre. Il y a principalement deux possibilités pour s'en affranchir : utiliser des fibres ayant la dispersion

Chapitre I : Conception des fibres optiques

chromatique modifiée quasiment nulle pour cette longueur d'onde ou ajouter à la première fibre ayant la dispersion chromatique positive une seconde fibre à dispersion négative. On parle de compensation de dispersion. La mise en série de ces fibres permet de compenser et d'annuler les déformations des impulsions dues aux dispersions chromatiques, c'est un procédé souvent utilisé dans les réseaux de télécommunications.

I.5. 2. 2. Dispersion modale de polarisation «PMD»

La dispersion modale de polarisation (PMD : *Polarization Mode Dispersion*) est un effet indésirable dans le domaine des télécommunications optiques à très haut débits [19]. Ce phénomène est dû à la non symétrie de révolution du profil d'indice dans le cœur de la fibre, non-symétrie intrinsèque à la fabrication de la fibre et/ou extrinsèque lors de la pose de la fibre. Les origines intrinsèques peuvent être une symétrie géométrique circulaire imparfaite de la fibre ou une non-homogénéité de l'indice de la fibre. Les causes extrinsèques peuvent être un écrasement, un étirement, une torsion ou une courbure de la fibre. Ceci induit un effet photo-élastique, d'où une biréfringence et une polarisation variable.

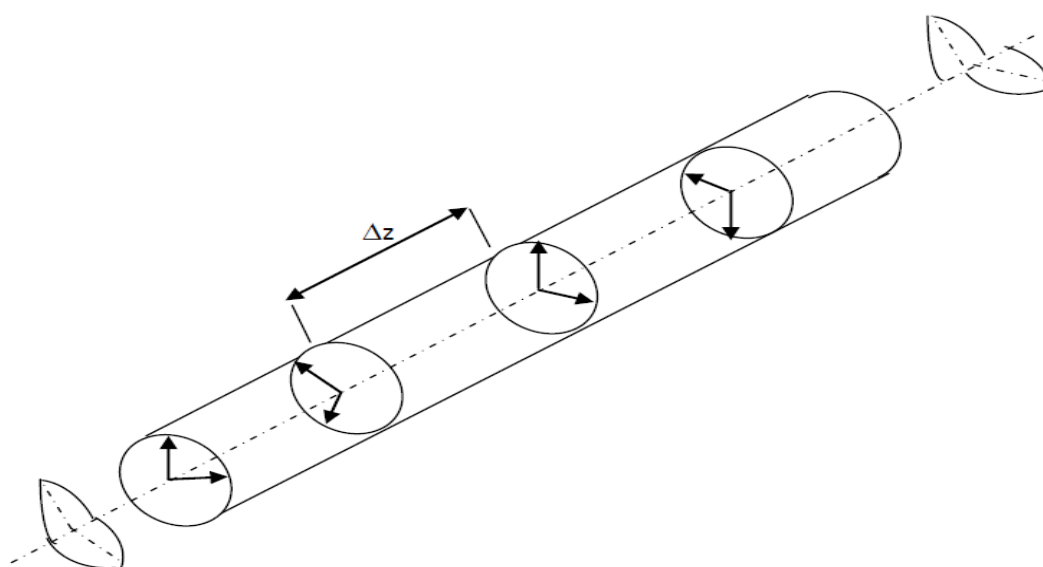


Figure I.11 : Représentation schématique de la dispersion modale de polarisation dans une fibre optique. DGD: Retard de groupe différentiel : Tronçon élémentaire de fibre.

Quand on envoie un signal sur une fibre biréfringente, sans se soucier de sa polarisation, on excite les deux modes à la fois. Chacun d'entre eux a sa propre vitesse de propagation. Ce décalage des temps de propagation de groupe a pour effet de dédoublement du signal à la sortie de la fibre, et donc un brouillage de l'information (voir figure I. 11).

La PMD peut être exprimée sous la forme suivante :

$$\text{PMD} = \sqrt{\frac{8\Delta n}{3\pi c}} \sqrt{\Delta z}. \quad (\text{I.9})$$

La PMD d'une fibre optique peut être exprimée en (ps/√ km) et c'est l'unité internationale choisie par les constructeurs de fibres. Par exemple, pour les fibres standards monomodes (SMF-28) actuelles, leur PMD est inférieure à 0,05 ps/√ km. Au sein de chaque tronçon Δz , de la Figure (I,11) les deux composantes de polarisation orthogonales vont se déplacer à différentes vitesses, et donc, un retard total aléatoire se crée en sortie de la fibre appelé «retard de groupe différentiel» (DGD : *Differential Group Delay*). En conséquence, le DGD engendre un élargissement et une déformation aléatoire de l'impulsion en sortie de cette fibre biréfringente. Notons que le DGD évolue linéairement avec la PMD par la relation suivante :

$$\text{DGD} = \text{PMD} \cdot \sqrt{z}. \quad (\text{I.10})$$

Avec z est la longueur de fibre parcourue par l'impulsion. Plus une impulsion est large plus elle est moins influencée par la PMD de la fibre dans laquelle elle se propage. Cet effet cause un problème non négligeable aux impulsions courtes.

I.5. 2. 3. Dispersion chromatique d'ordre 3 (β_3) TOD

Un autre paramètre important est la pente de la dispersion chromatique (dispersion slope), qui décrit la dépendance du taux de dispersion chromatique à la longueur d'onde considéré, ce paramètre correspond à la dispersion chromatique d'ordre 3 TOD (*Third Order Dispersion*) ou β_3 .

Ce paramètre est proportionnel à la dépendance de D (la dispersion d'ordre 2) vis-à-vis de la longueur d'onde λ et représente, sous une autre forme, le paramètre β_3 définit dans l'équation (I.4). Le lien entre ces deux paramètres peut être exprimé sous la forme suivante :

$$\beta_3 = \left[\frac{\partial^3 \beta}{\partial \omega^3} \right] = 10^3 \cdot \left[\frac{\lambda^2}{2\pi c} \right]^2 \left[S_D + \frac{2}{\lambda} D \right]. \quad (\text{I.11})$$

La TOD se traduit par le fait que la dispersion chromatique d'ordre 2 varie le long du spectre des impulsions et que, par conséquent, chacune des composantes spectrales voit un coefficient de GVD différent. La TOD est un effet d'ordre supérieur qui provoque une asymétrie des impulsions avec l'apparition d'oscillations sur l'un des fronts de celles-ci. Cet effet peut être observé pour une impulsion ayant un spectre très large, en particulier pour une durée d'impulsion relativement courte (FWHM < 1ps) [19]. Les dispersions d'ordre 2 et d'ordre 3 changent uniquement la phase des composantes spectrales sans modifier le spectre de l'impulsion au cours de sa propagation. Afin d'estimer l'impact de ces deux ordres de

Chapitre I : Conception des fibres optiques

dispersion sur une impulsion, il est utile d'introduire la longueur L_{D3} pour laquelle l'effet de la dispersion d'ordre 3 devient important. Nous exprimons ce paramètre sous la forme suivante :

$$l_{D3} = \frac{T_0^3}{\beta_3} \quad (\text{I.12})$$

Où T_0 est la largeur temporelle à 1/e de l'impulsion initiale. Pour une longueur $L_{D3} \leq L_D$ (Défini dans l'équation (I.8)), la dispersion d'ordre 3 jouera un rôle significatif, Principalement pour le cas d'une impulsion courte ou le cas d'une dispersion d'ordre 2 très faible.

I.5. 3. Effets non-linéaires dans les fibres optiques

Après l'introduction des effets linéaires qui peuvent influencer une impulsion lumineuse durant sa propagation. Cependant, sous certaines conditions (champ intense par exemple), la réponse du milieu où elle se propage varie en fonction de sa forme quadratique (Intensité). Nous parlerons de milieu non-linéaire. Le champ électrique d'une onde lumineuse se propageant dans la matière induit des Déplacements élémentaires des charges au niveau de l'atome. Les moments dipolaires induits créent une polarisation P du milieu à l'échelle macroscopique. Tant que ces mouvements n'ont pas de grande amplitude, c'est à dire tant que L'interaction champ électromagnétique-matière est faible, on peut considérer que les Particules se déplacent dans un *potentiel harmonique* : c'est le modèle de Lorentz et la polarisation résultante est alors proportionnelle au champ électrique de l'onde incidente. La polarisation P résultant de l'interaction onde-matière peut alors s'exprimer sous la Forme d'un développement en série de puissance de E . Cette polarisation correspond à la Somme de deux composantes, dites «linéaire» P_L et «non-linéaire» P_{NL} , qui sont Respectivement proportionnelles au champ E et à ses ordres supérieurs [28]:

$$P = p_l + p_{NL} = (\delta_0 x^1 E) + \left(\frac{3}{4} \delta_0 x^3 E^2 E + \dots\right) \quad (\text{I.13})$$

Où X^1 et X^2 sont respectivement les tenseurs de susceptibilité d'ordre 1 et 3 de la silice fondue. Comme nous pouvons le constater, le terme de la susceptibilité d'ordre 2 X^3 est absent, car la silice amorphe est un matériau centro-symétrique. Afin de mettre en évidence les contributions linéaires et non-linéaires du milieu, nous représentons l'équation (I. 14) sous la forme suivante :

$$P = \delta_0 [x^1 + \delta_{NL}] E. \quad (\text{I.14})$$

avec :

Chapitre I : Conception des fibres optiques

$$\delta_{NL} = \frac{3}{4} x^3 E^2. \quad (\text{I.15})$$

Sachant que la polarisation du matériau et son indice de réfraction sont liés par la relation de *Maxwell* suivante [19]:

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (\text{I.16})$$

L'indice de réfraction n , à une pulsation donnée, s'écrit [19]:

$$n^2 = 1 + x^1 + \delta_{NL} = (n_0 + \Delta n_{LN})^2 = n_0^2 + 2n_0 \Delta n_{NL}. \quad (\text{I.17})$$

Avec : $n_0 = \sqrt{1 + x^1}$ à une pulsation ω donné :

$$n(\omega, E^2) = n_0(\omega) + n_2 E^2. \quad (\text{I.18})$$

Avec n_2 représente le coefficient d'indice de réfraction non-linéaire [19] tel que:

$$n_2 = \frac{3}{8n_0} \text{Re}(x^3). \quad (\text{I.19})$$

Nous pouvons clairement constater, de l'équation (I.19), que la partie linéaire de la polarisation est responsable de la dépendance de l'indice de réfraction vis-à-vis de la fréquence, alors que la partie non-linéaire engendre une dépendance de l'indice vis-à-vis de l'intensité (carré du champ). Ce phénomène est connu sous le nom de l'effet *Kerr* optique.

I.6. Effet de *Kerr*

Un diélectrique solide, liquide ou gaz, transparent, optiquement isotrope, devient biréfringent lorsqu'il est soumis à un champ électrique. Ce phénomène de biréfringence provoqué, découvert par Kerr (en 1875), est connu sous le nom d'effet de *Kerr*. Ce phénomène présente une particularité remarquable. Il s'établit et disparaît en des temps très bref (de l'ordre de 10⁻¹⁰ s). Lorsque des impulsions très brèves et très intenses traversent le cœur d'une fibre optique, le vecteur de polarisation n'est plus proportionnel au champ électrique et l'indice de réfraction devient alors dépendant de l'intensité de l'onde optique autrement dit l'indice de réfraction peut alors s'exprimer sous la forme d'une équation non linéaire, proportionnellement à la puissance optique.

$$n = n_0 + n_2 \frac{p(z,t)}{A_{eff}}. \quad (\text{I.20})$$

Chapitre I : Conception des fibres optiques

Avec n_0 est l'indice de réfraction réel linéaire, A_{eff} est la surface effective de la fibre de L'ordre de $80 \mu\text{m}^2$, n_2 est appelé indice non linéaire, il est relié à l'indice de réfraction non linéaire par n_{NL} par l'équation suivante : $n_2 = \frac{2n_{NL}}{\delta_0 c n}$.

Le signal verra donc différents indices de réfraction selon que l'intensité soit faible, forte ou bien qu'il existe d'autre ondes dans le milieu.

Le champ électrique $E(t)$ d'une impulsion lumineuse suivant une direction z , d'enveloppe lentement variable $A(z, t)$, qui se propage dans une fibre optique peut être exprimé par l'équation suivante :

$$E(z, t) = A(z, t) \cdot \exp[i(\beta_0 z + \omega_0 t)]. \quad (\text{I.21})$$

Où ω_0 et β_0 sont, respectivement, la fréquence de porteuse et la constante de propagation. L'évolution de ce champ électrique dans une fibre optique sous l'influence d'effets linéaires et non-linéaires est décrite par l'équation de *Schrödinger* non-linéaire (NLSE : *Non Linear Schrödinger Equation*) que nous exprimons sous la forme usuelle suivante :

$$\frac{\partial A}{\partial z} + i \frac{\beta_2 \partial^2 A}{2 \partial t^2} - i \gamma A^2 A = 0 \quad (\text{I.22})$$

Le terme $\gamma |A|^2$ est la notation conventionnelle de la non-linéarité avec γ le coefficient *Kerr* non-linéaire de la fibre exprimé en $\text{W}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ et donné sous la forme suivante :

$$\gamma = \frac{\omega_0 \cdot n_2}{c \cdot A_{eff}}. \quad (\text{I.23})$$

Où A_{eff} correspond à l'aire effective de la fibre optique.

I.7. Diffusion de la lumière

La diffusion de la lumière par un milieu de propagation dans une direction donnée est la somme des amplitudes diffusées par chacun des éléments de volume dans cette même direction. Cette somme est nulle en dehors de l'axe de propagation si le milieu est parfaitement homogène. Les inhomogénéités qui créent des fluctuations de densité induisent une variation rapide et aléatoire de l'indice de réfraction et entraînent une diffusion de la lumière dans toutes les directions de l'espace. Lorsque les propriétés optiques varient uniquement dans l'espace, c'est ce que l'on appelle la diffusion Rayleigh. Les centres de diffusion étant fixes, elle se produit sans changement de fréquence (diffusion élastique) bien que l'on observe un élargissement du spectre comme le montre la matière, les propriétés optiques varient aussi dans le temps, on parle alors de diffusions inélastiques qui sont aux nombres de deux : la diffusion Raman et la diffusion Brillouin. La diffusion Raman fait

Chapitre I : Conception des fibres optiques

intervenir les phonons optiques alors que les phonons acoustiques participent au processus de diffusion Brillouin.

Ces deux types de diffusion sont associés à un décalage en fréquence qui peut être positif ou négatif : on parle alors respectivement d'onde anti-Stokes et Stokes. Nous présentons dans la figure ci-après une représentation schématique des différentes catégories de ce phénomène.

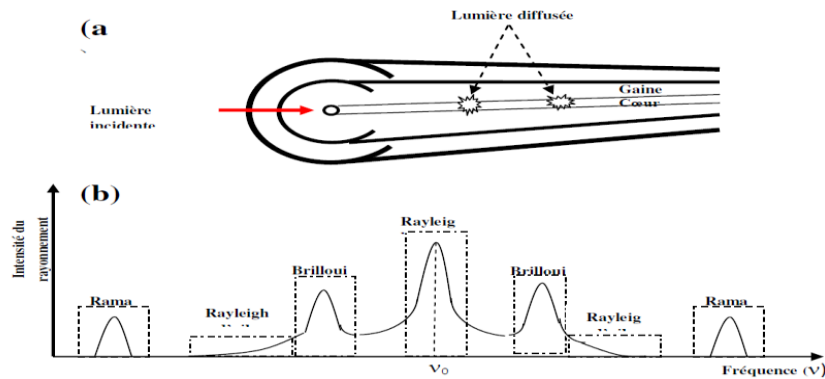


Figure I.12 : Représentation schématique du processus de diffusion de lumière dans une fibre optique (milieu diffusant).(a) Diffusion de la lumière dans une fibre optique (b) représentation fréquentielle des différentes diffusions spontanées générées dans un milieu diffusant.

I.8. Diffusion Rayleigh

La diffusion *Rayleigh* est une distribution élastique de la lumière dans toutes les Directions .Cette diffusion ne provoque qu'un faible élargissement spectral du signal initial (pas de décalage spectral).Elle dépend principalement de la longueur d'onde du signal incident (terme λ^{-4}), c'est-à-dire que les pertes liées à cette diffusion sont non-négligeables pour des courtes longueurs d'onde. Il existe aussi la diffusion de *Rayleigh* d'aile (*Rayleigh Wing*). Elle est liée au fait que les molécules anisotropes ont tendance à s'orienter le long de la direction du champ électrique d'une onde laser, entraînant une modification de l'indice de réfraction du milieu. Cependant, cette tendance est partiellement contrebalancée par l'agitation thermique qui tend à rendre isotrope la distribution d'orientation des molécules [20].

I.9. Diffusion Raman [20].

L'effet Raman consiste en une interaction entre le signal et les photons de la branche optique du matériau. L'effet Raman se traduit par la génération d'ondes Stokes à la fois dans le sens de la propagation du signal et dans le sens contraire de la propagation. La diffusion Raman stimulée dans les fibres optiques est un processus de couplage résonant photon-phonon qui amplifie les basses fréquences Stokes, et absorbe les hautes fréquence anti-Stokes. La diffusion Raman stimulée introduit donc une asymétrie dans le processus d'amplification paramétrique. Le signal situé du côté Stokes, placé au voisinage de la bande

Chapitre I : Conception des fibres optiques

de gain Raman de la pompe, se trouve amplifié alors que celui du côté anti-Stokes est absorbé. De plus, l'apparition de l'effet Raman provoque généralement de fortes distorsions spectrales des impulsions et agit comme une source de bruit supplémentaire. Les photons résultants de ce processus sont réémis de manière co-propagatrice à une fréquence plus basse appelée fréquence de Stokes $\omega_S = \omega - \omega_R$ où ω_R représente ce (décalage fréquentiel Raman) qui est de l'ordre de 13,2 THz (fréquence de résonance de vibration du réseau) pour une fibre standard en silice pure. De manière similaire, si le nombre de molécules dans l'état excité est suffisamment élevé, elles peuvent interagir avec les photons incidents pour retourner dans leur état fondamental en émettant des photons dits «Anti-Stokes» avec une fréquence $\omega_{as} = \omega + \omega_R$ (Figure II.12).

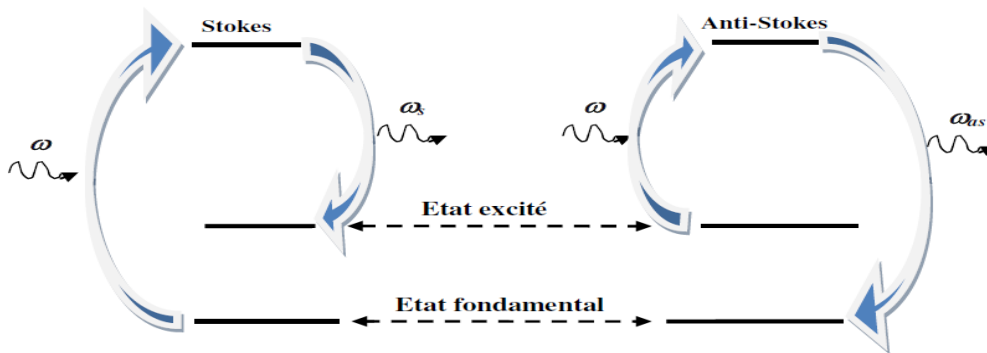


Figure I.13 : Représentation schématisée des transitions énergétiques à la base de la diffusion Raman.

Ce processus est largement utilisé dans les amplificateurs optiques de type Raman. En effet, grâce au décalage Raman, lorsqu'une onde dite (pompe) se propage dans une fibre optique, elle se convertit à une onde similaire de l'onde du signal incident. En conséquence, le signal incident est multiplié (ou bien amplifié) par une croissance de l'onde Stokes via un transfert d'énergie issue de l'onde pompe (Figure II.13).

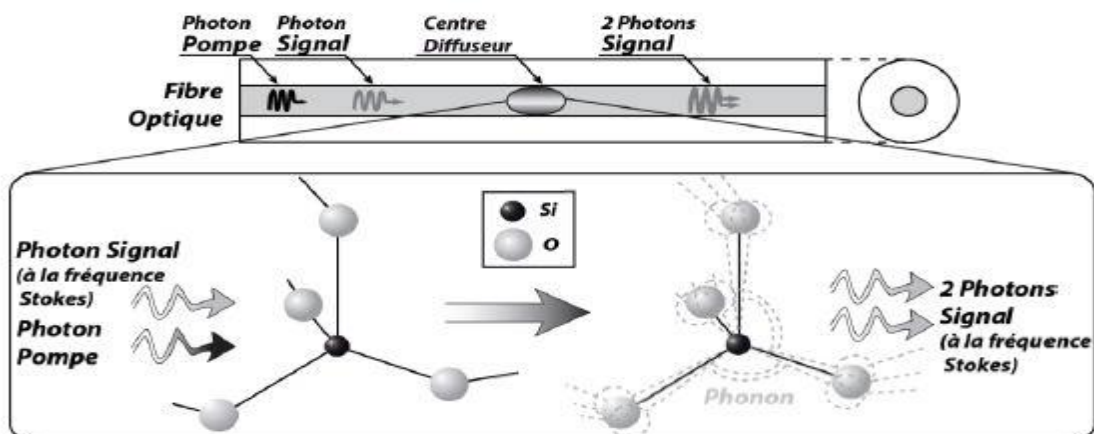


Figure I.14 : Schéma de principe de la diffusion Raman au sein d'une fibre optique en silice pure

Le transfert d'énergie vers l'onde Stokes peut être décrit par le spectre du gain Raman $g_R(\Omega)$ avec Ω la différence de fréquence entre les ondes pompe et Stokes. Nous présentons dans la figure ci-après (Figure I,14) le spectre du gain Raman dans une fibre en silice pour une longueur d'onde pompe de 1450 nm.

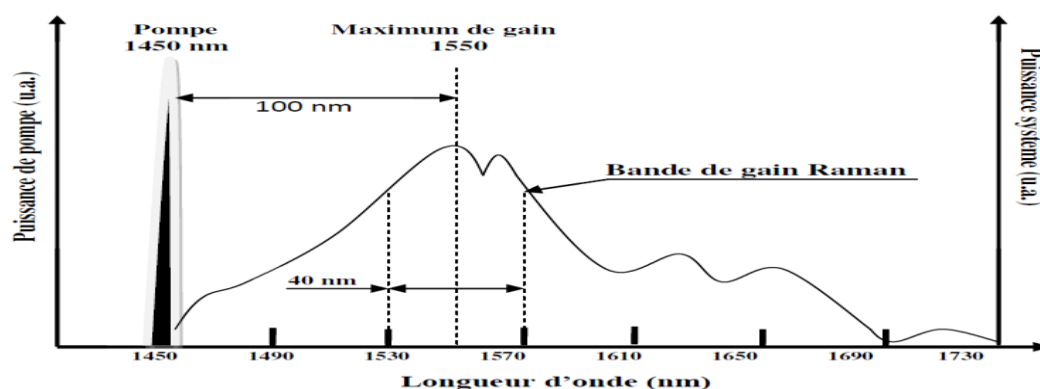


Figure I.15: Spectre Raman dans une fibre en silice pour longueur d'onde de pompe de 1450 nm.

La diffusion Raman stimulée présente de nombreux avantages dans le cadre de l'amplification optique. Premièrement, elle peut se produire dans n'importe quelle fibre. Deuxièmement, le gain Raman peut avoir lieu à n'importe quelle longueur d'onde, pour cela, il faut juste ajuster la longueur d'onde de pompe. Cela est un grand avantage par rapport aux amplificateurs dopés terres-rares qui nécessitent une fibre spécialement dopée et les longueurs d'ondes pompe et signal sont déterminées par les niveaux énergétiques des ions dopants. Enfin, une large bande de gain de 100 nm (~20 THz) qui permet d'amplifier une large gamme de longueurs d'ondes (environ plus de 40 nm aux longueurs d'onde télécoms) (Figure I ,15).

I.10. Diffusion Brillouin [20].

La diffusion Brillouin stimulée résulte de vibrations collectives acoustiques et transfère une partie de l'énergie de pompe au matériau, en créant alors une onde rétrodiffusée. La diffusion Brillouin est un phénomène semblable à la diffusion Raman dans le sens où il s'agit dans les deux cas de la génération, à partir d'une onde pompe, d'une onde Stokes décalée vers les basses fréquences et dont la puissance évolue de manière exponentielle avec la distance de propagation. Ce pendant, les ordres de grandeur des quantités caractéristiques de ces phénomènes (gain, largeur de la bande spectrale, décalage fréquentiel de l'onde Stokes et puissance critique) sont radicalement différents et ce, principalement parce que l'origine

Chapitre I : Conception des fibres optiques

physique de la diffusion Brillouin est différente de celle de l'effet Raman. Il s'agit ici essentiellement de l'interaction entre trois ondes : la pompe, l'onde Stokes Brillouin rétrodiffusée et une onde acoustique. Un photon de l'onde pompe est en fait annihilé pour générer un photon Stokes et un phonon acoustique. Il faut affranchir ce phénomène et ceci pour augmenter l'efficacité des phénomènes non linéaires co propagatifs souhaités et éviter le retour de puissance dans les sources lasers ou autre amplificateurs. Il suffit alors d'élargir le spectre des diodes lasers, soit en modulant directement le courant d'alimentation des sources lasers, soit en modulant la phase des impulsions grâce à un modulateur de phase.

I.11. Effet Kerr optique [20].

I.11. 1. Auto-modulation de phase (SPM)

Un champ électrique incident modulé autour d'une porteuse à modifier par sa seule présence l'indice du milieu qu'il traverse. Cette modification d'indice provient de l'effet de Kerr et est dictée par le profil de puissance comme indique l'équation (II.20).

Cette modification momentanée et locale induit en retour une modification de phase du champ électrique. C'est pour cela que l'on parle d'auto-modulation de phase. Cette modulation de phase se traduit ensuite, par le biais de la dispersion chromatique comme une variation d'intensité du signal. Le principe en est le suivant : une onde lumineuse se propageant dans une fibre optique subit un changement de phase $\phi = \phi_L + \phi_{NL}$, tel que :

$$\phi = n(\omega, E) \cdot k_0 L_{\text{eff}} = (n_0(\omega) + n_2 |E|^2) k_0 L_{\text{eff}}.$$

L'auto-modulation de phase introduit donc un élargissement du spectre, alors que son enveloppe temporelle reste inchangée. Elle agit sur des signaux relativement puissants et brefs.

A partir de l'équation «NLSE» (I.22), nous modélisons l'équation différentielle de la propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu non linéaire et non dispersif ($\beta_2 = 0$) sous la forme suivante :

$$\frac{\partial A}{\partial z} - i\gamma A^2 \cdot A = 0 \quad (\text{I.24})$$

La solution de cette équation peut, alors, être exprimée sous la forme suivante :

$$A(z, t) = A(0, t) \exp(i\gamma |A(0, t)|^2 z). \quad (\text{I.25})$$

Cependant, la phase est variée par elle-même, d'où le nom (Auto-modulation de phase).

Selon l'équation (II.26), le déphasage non-linéaire est de : $\phi_{NL} = \gamma |A(0, t)|^2 z$. (I.26)

Pour le cas d'une impulsion gaussienne ou sécante hyperbolique, ce déphasage non linéaire est rendu maximal au centre de l'impulsion où $\phi_{NL}^{MAX} = \gamma p_c z$. avec $p_c = |A(0,0)|^2$ la puissance crête de l'impulsion. Puisque le déphasage non-linéaire varie temporellement, la fréquence

Chapitre I : Conception des fibres optiques

instantanée varie également et diffère de la fréquence de l'onde porteuse. La SPM modifie donc le profil spectral de l'impulsion par la génération des photons de fréquences inférieures (supérieures) à la fréquence de sur le front montant (descendant) de l'impulsion. Nous parlons ici du glissement de fréquence «Chirp» que nous définissons sous la forme suivante :

$$\delta\omega(t) = \omega(t) - \omega(0) = -\frac{\partial\varphi_{NL}}{\partial t} = -\gamma\frac{\partial|A(0,t)|^2}{\partial t}z. \quad (I.27)$$

Finalement, nous pouvons définir le paramètre L_{NL} , comme pour le cas des effets dispersifs, la longueur de fibre pour laquelle les effets non-linéaires deviennent importants :

$$L_{NL} = \frac{1}{\gamma P_0} \quad (I.28)$$

Les deux longueurs linéaire et non-linéaire, que nous avons définies précédemment, caractérisent les différents effets qu'une impulsion peut subir au cours de sa propagation.

Par exemple, lorsque $LD \gg L_{NL}$ nous parlons d'un régime purement dispersif où

L'impulsion s'élargit temporellement sans modification du profil spectral.

De même, lorsque $L_{NL} \gg LD$, nous parlons d'un régime purement non-linéaire, ce qui engendre l'effet de la SPM sur l'impulsion transmise.

Conclusion

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 2, la fibre optique dans le domaine des télécommunications peut être considérée comme un vecteur physique pouvant transporter, via un signal optique, des données numériques d'un point à un autre de la planète. La fibre possède des qualités non négligeables comme support de transmission de l'information qui lui ont permis de s'imposer dans les réseaux de télécommunications [4].

II.1. La diode Laser

Une diode laser est un composant optoélectronique à base de matériaux semi-conducteurs. Elle émet de la lumière monochromatique cohérente (une puissance optique) destinée, entre autres, à transporter un signal contenant des informations (dans le cas d'un système de télécommunications) ou à apporter de l'énergie lumineuse pour le pompage de certains lasers (lasers à fibre, laser DPSS) et amplificateurs optiques (OFA, Optical Fiber Amplifier).

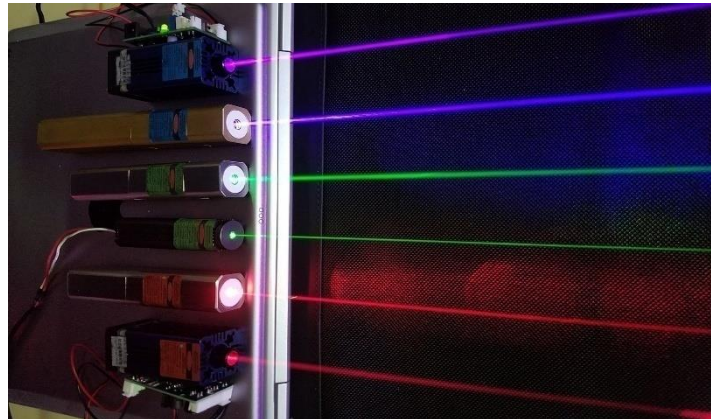


Figure II.1 : Diode laser

Dans une diode laser (ou laser à semi-conducteur), le pompage se fait à l'aide d'un courant électrique qui enrichit le milieu générateur en trous d'un côté et en électrons de l'autre. La lumière est produite au niveau de la jonction par la recombinaison des trous et des électrons. Souvent, ce type de laser ne présente pas de miroirs de cavité : le simple fait de cliver le semi-conducteur, de fort indice optique, permet d'obtenir un coefficient de réflexion suffisant pour déclencher l'effet laser. Comme tout laser, une diode laser fonctionne à l'aide d'un milieu amplificateur (amplification dans les semi-conducteurs par émission stimulée), d'une structure résonante (cavité de Fabry-Pérot ou autre types) et d'un processus de pompage [21].

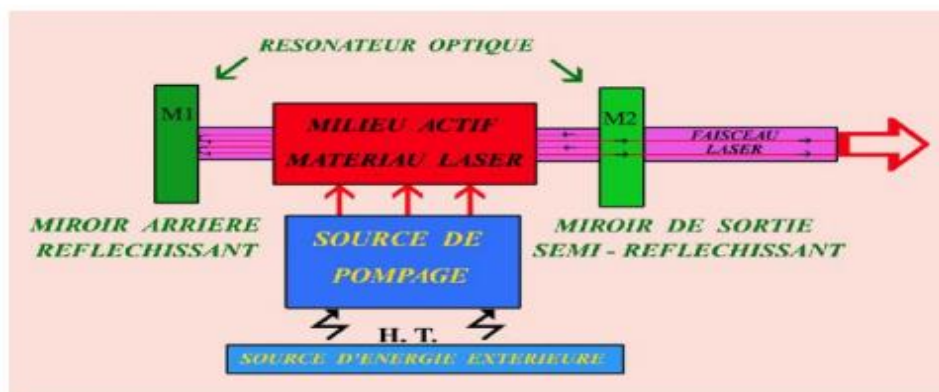


Figure II. 2 : laser à cavité de type Fabry Perrot

II.1. 1. Structure de base de la diode laser

Une diode laser est une jonction de semi-conducteurs, comme une diode/diode électroluminescente classique. Elle possède trois zones caractéristiques : une couche de confinement de type n, une zone active et une couche de confinement de type p. Les couches de confinement permettent d'optimiser l'utilisation du courant dans la diode et d'augmenter le rendement. La zone active est formée d'un guide d'onde encadrant le lieu de l'émission laser : matériau massif ou quantique (puits, boîtes ou fil). Lorsque cette diode est polarisée en direct, elle laisse passer un fort courant qui peuple la bande de conduction et peut réaliser l'inversion de population. En réalité, une couche intermédiaire d'indice optique supérieur joue le rôle de guide optique, comme dans une fibre. Les extrémités sont clivées et donnent des faces parfaitement planes jouant le rôle de miroirs semi-réfléchissants, créant la cavité résonante. Le dioptre entre le semi-conducteur d'indice 3.5 environ et l'air d'indice 1 possède ainsi un coefficient de réflexion de 30%. Ce coefficient peut être diminué sur les deux côtés par l'application d'un revêtement anti-réfléchissant afin d'obtenir une puissance de sortie plus importante. Suivant le domaine d'application, on ajoute soit une lentille de focalisation par exemple pour les pointeurs ou les lecteurs, soit un asservissement en température ou en courant et une fibre amorce pour les applications télécoms et de spectroscopie. La puce optoélectronique est, dans ce dernier cas, montée sur un radiateur puis sur un module Peltier "butterfly". Le contact supérieur est connecté à la source de courant par un procédé de bonding [21].

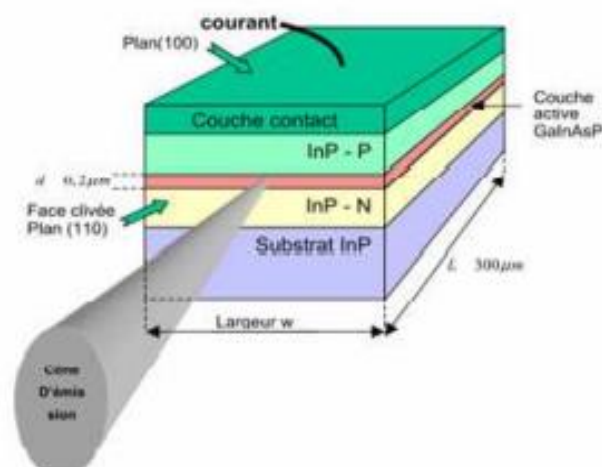


Figure II. 3 : Structure d'une diode laser à double hétérojonction.

II.1. 2. Les différents types de la diode laser :

A cause de la diversité de l'application des lasers, il n'est évidemment pas possible de rendre compte en détail de cette révolution technologique, et c'est pourquoi on se contentera de donner les applications les plus connus. On va donner une simple description de chaque type de laser. Les quatre principaux types de lasers à semi-conducteurs sont [22] :

a) Les lasers Fabry-Pérot (FP)

Ces lasers sont peu performants en bruit, mais peu coûteux. Ils sont de plus multi-modes et leur longueur d'onde atteint les 1550 nm. On les utilise par exemple comme source de puissance optique continue ou dans les liaisons numériques.

b) Les lasers Distributed Feedback (DFB)

Ils ont de très bonnes performances en bruit et sont largement utilisés pour les télécommunications. Ils sont monomodes et leur longueur d'onde atteint également les 1550nm

c) Les lasers Distributed Bragg Reflector (DBR)

Contrairement aux lasers DFB (historiquement plus anciens), la contre-réaction ne se réalise pas à l'intérieur du milieu actif. En effet les extrémités d'un laser DBR se comportent comme des miroirs dont la réflectivité est maximale pour une longueur d'onde donnée. Ils restent plus difficiles à réaliser et présente un coût élevé.

d) Les lasers Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL)

Leur longueur d'onde atteint pour l'instant les 1550 nm et leur intérêt principal est d'être plus adapté à la fabrication en série (en grand nombre). Cependant, la technologie de fabrication des VCSELs à 1550 nm n'est pas encore mature. Ils présentent de plus quelques inconvénients en comparaison aux DFBs. Leur puissance émise est plus faible et leurs propriétés spectrales et en bruit sont moins bonnes.

II.1. 3. La lumière d'un laser

Le mot laser vient de l'acronyme formé de l'expression anglaise light amplification by stimulated emission of radiation (amplification de la lumière par « mission stimulée de radiation). Il existe plusieurs types de laser, qui fonctionnent avec différentes substances et

produisent de la lumière de différentes longueurs d'onde. La lumière issue d'un laser a les propriétés suivantes :

1. La lumière est monochromatique : la longueur d'onde d'un laser a une très faible incertitude relative, qui peut atteindre une incertitude relative de 10^{-15} .
2. La lumière est cohérente : la distance de cohérence peut atteindre plusieurs mètres. Donc, la lumière issue d'un laser peut être séparée, parcourir de très grandes distances, et produire des interférences en se recombinant.
3. La lumière est directionnelle : un faisceau issu d'un laser diverge seulement à cause de la diffraction à la sortie du laser. Cette divergence est beaucoup plus faible que la divergence qu'on peut obtenir à partir d'une lampe et d'une lentille convergente.
4. La lumière d'un laser peut être focalisée sur une très petite surface, ce qui peut produire une irradiance très importante.

Emission

Nous avons vu jusqu'à maintenant deux processus d'interaction entre un photon et un atome qui effectue une transition. Prenons un atome qui possède les niveaux d'énergie E_1 et E_2 . lorsqu'un photon a une longueur d'onde $\lambda = hc/\Delta E$ qui correspond à la différence d'énergie $\Delta E = E_2 - E_1$ entre deux niveaux d'énergie, le photon peut être absorbé par l'atome, qui effectue une transition du niveau 1 vers le niveau 2, c'est l'absorption [8].

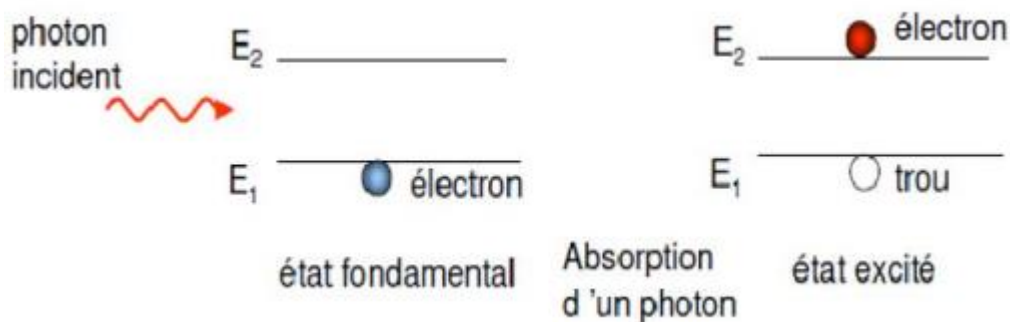


Figure II. 4 : Absorption.

De même, lorsqu'un atome est excité au niveau 2, il peut émettre un photon ayant une longueur d'onde $\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = hc/(E_2 - E_1)$, et effectuer une transition vers le niveau 1, c'est l'émission spontanée.

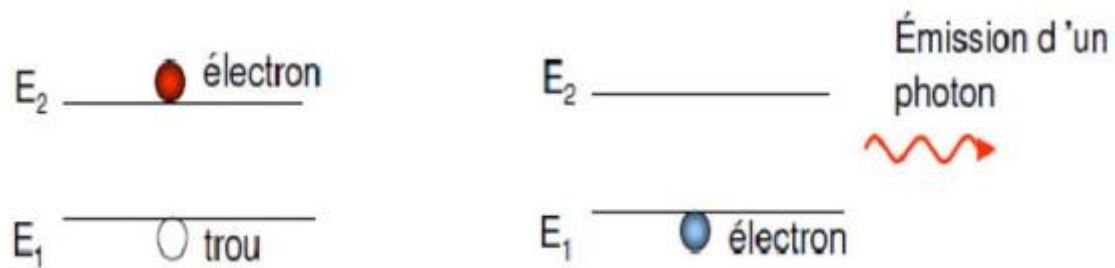


Figure II.5 : émission spontanée

En 1917, Albert Einstein avance de nouveau une idée importante : il doit exister un troisième processus d'interaction, appelé l'émission stimulée. Ce processus est nécessaire pour qu'un échantillon d'atomes puisse atteindre un équilibre thermodynamique. L'émission stimulée se produit lorsqu'un atome est au niveau excité E_2 et qu'un photon ayant une longueur d'onde $\lambda = hc/\Delta E$ est incident. Le photon induit la transition $2 \rightarrow 1$, ce qui produit un deuxième photon. Les deux photons ont alors la même longueur d'onde et ils ont la même phase. Ils sont identiques. Einstein a aussi montré que la probabilité par atome est la même pour l'absorption et pour l'émission spontanée.

Dans les conditions normales, les atomes demeurent dans un état excité pendant un temps très court. A l'intérieur d'un échantillon d'atome, il y a normalement beaucoup plus d'atomes dans l'état fondamental que dans un état excité. Si on éclaire l'échantillon avec des photons ayant la bonne longueur d'onde. Ils seront absorbés plutôt que de produire des émissions stimulées. Il faut que certaines conditions remplies pour obtenir un grand nombre d'émissions stimulées [23].

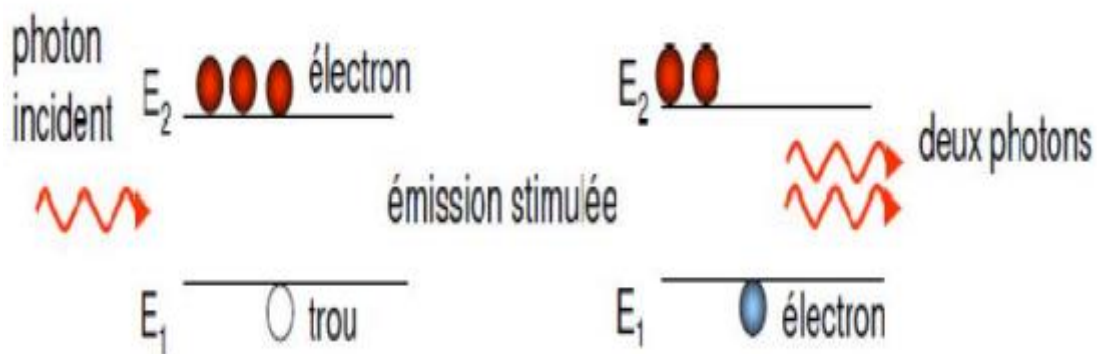


Figure II. 6 : émission stimulée

II.1. 4. Domaine d'utilisation des diodes laser

Les diodes lasers sont utilisées dans plusieurs domaines, particulièrement dans [24] :

- Les télécommunications optiques.
- La lecture de CD, le stockage de l'information dans les disques optiques (CD ou DVD pour la musique comme pour l'informatique).
- La photocopie ou l'impression laser.
- Les applications médicales et industrielles... (Lecteurs code barre).

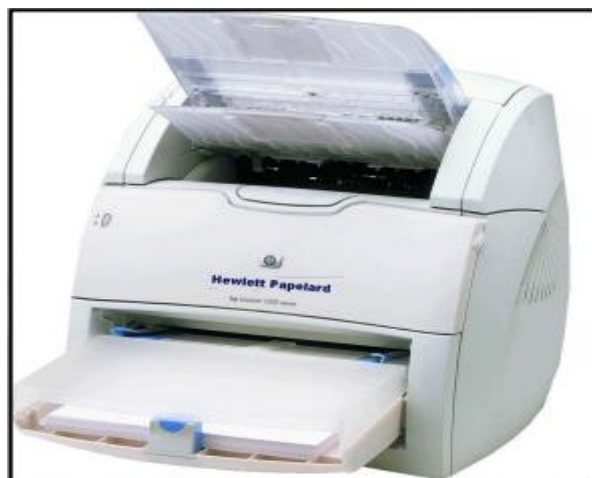
Elle trouve également son application dans les dispositifs électroniques de mesure de distance, de vitesse, de guidage et de pointage précis.



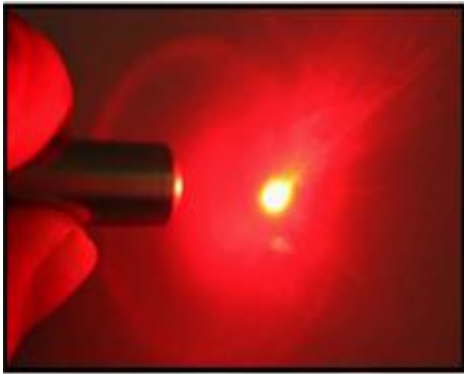
Fibres optiques



Lecteurs CD, CD-ROM, DVD...



Imprimantes et scanners laser



Pointeurs laser



Nombreuses applications industrielles...

Figure II. 7 : Application de la lumière a. Fibres optiques, b. Lecteurs CD, CD-ROM, DVD..., c. Imprimantes et scanners laser, d. Pointeurs laser, e. Nombreuses applications industrielles

II.2. Les photodiodes PIN

Pour effectuer la photo détection en évitant les recombinaisons des paires électron-trou, il est nécessaire que les photons soient absorbés dans une zone dépourvue de porteurs mobiles, assimilable à une zone de charge d'espace d'une jonction PN, encore appelée zone déplétée. Pour favoriser le rendement quantique, il est préférable que cette zone soit large. D'où l'intérêt de la photodiode PIN (Figure I1.4 et Figure I1.5) [25].

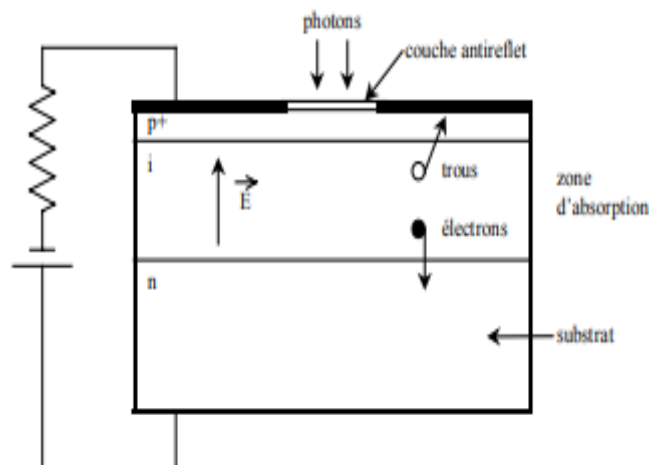


Figure II.8 : Photodiode PIN

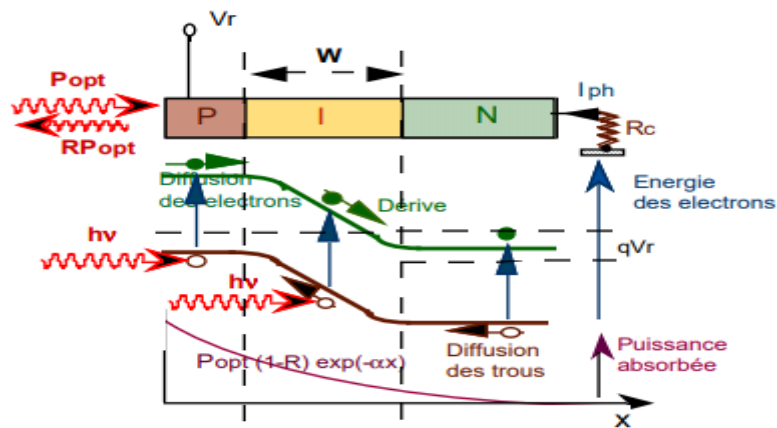


Figure II.9 : Principe de la photo détection avec une photodiode PIN.

La majorité des photons est absorbée dans la zone intrinsèque (I), où règne le champ électrique pratiquement uniforme, qui sépare les porteurs. Une des zones traversée par la lumière (P ou N) doit être de faible épaisseur, et recouverte d'une couche antireflet qui améliore le rendement quantique externe, et qui protège le matériau. Les paramètres importants, dépendant du matériau et de la structure, qui caractérisent une photodiode PIN sont la sensibilité, le courant d'obscurité, le temps de réponse... Comme nous l'avons présenté auparavant, la sensibilité dépend du rendement, elle varie selon le coefficient d'absorption du matériau, et selon la largeur de la zone intrinsèque [26].

On peut relever un courant d'obscurité, I_{obs} , qui circule dans la jonction en l'absence d'éclairement. Ce courant ne provient donc pas des photons transmis par la fibre. Il peut avoir des origines multiples : génération thermique dans la zone intrinsèque, courants de surface, courants de fuite... L'expression du courant total dans la photodiode est donnée par l'Équation 1 :

$$I_{ph} = S \cdot P_{opt} + I_{obs} \quad (II.1)$$

Le temps de réponse de la photodiode doit être très bref. Il est limité par deux facteurs. D'une part, la capacité de jonction est d'autant plus réduite que l'on élargit la zone d'absorption. D'autre part, le temps de transit diminue si on rétrécit cette zone. Un compromis est donc à trouver. On améliore le temps de réponse en augmentant la tension de polarisation inverse, ce qui réduit la capacité et le temps de transit. La longueur de la zone intrinsèque est optimisée afin de maximiser le rendement et le temps de réponse [27].

Le signal électrique émis par la photodiode n'est pas parfait, il est bruité. Apparaît entre autres le bruit quantique (encore appelé bruit photonique ou de grenaille ou bruit Schottky). Il

provient du caractère aléatoire de la création des paires électron-trou. Ce bruit proportionnel à la puissance optique reçue par la photodiode est inévitable. L'expression de la variance du bruit quantique s'écrit sous la forme :

$$\langle i^2_q \rangle = 2eS P_{opt} B \quad (\text{II.2})$$

où e est la charge de l'électron ; S la sensibilité de la photodiode ; P_{opt} la puissance optique reçue par la photodiode et B la bande passante du signal.

Il est nécessaire de tenir compte aussi du bruit d'obscurité associé au courant d'obscurité. La variance de ce bruit a pour expression :

$$\langle i^2_{obs} \rangle = 2e I_{obs} B \quad (\text{II.3})$$

Est présent également un bruit en $1/f$ (avec f la fréquence du signal) et un bruit thermique, provenant des circuits de polarisation du photorécepteur et notamment du préamplificateur. Le bruit thermique a pour valeur :

$$\langle i^2_T \rangle = \frac{4KT}{R} B \quad (\text{II.4})$$

(K étant la constante de Boltzmann, T la température et R la résistance du schéma équivalent aux circuits du photorécepteur).

Il est possible d'accroître la sensibilité d'une photodiode par un processus de multiplication interne à effet d'avalanche.

Introduction :

Compte tenu des évolutions rapides des services de télécommunications accessibles aux usagers, notamment les services multimédias enrichis comme l'Internet à très haut débit, la visiophonie, la TV Haute définition, les futurs réseaux d'accès et réseaux domestiques devront bientôt être capables de transporter des flux de données pouvant atteindre le gigabit par seconde. Cette demande en très hauts débits va largement au-delà des possibilités offertes par les solutions actuelles à base de câble coaxial (ADSL, VDSL, etc) [28].

L'objectif des télécommunications optiques consiste à effectuer la transmission des informations à des débits très élevés [29].

L'utilisation de porteuses radiofréquences dans le domaine millimétrique (30-300 GHz) permettront dans l'avenir de transporter des flux de données suffisamment rapides (>1Gb/s). Mais la limite principale des ondes millimétriques est une portée utile relativement courte par rapport aux micro-ondes [28, 29].

III. 1. Etude théorique du montage :

Le montage global de notre travail est constitué de trois modules (blocks) de base, chaque block est destiné à une fonction optique bien déterminée (L'émission, la réception et le support de transmission), (voir figure III. 1).

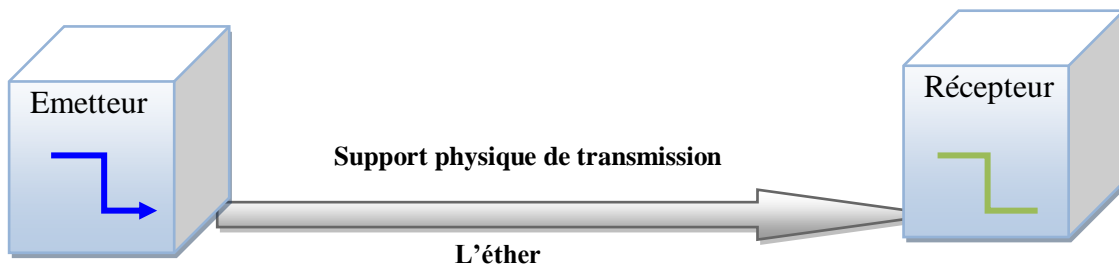


Figure III. 1 : Liaison optique entre deux points

III. 1. 1. Bloc 1 (Module d'émission) :

Cette partie est destinée à l'émission des informations et données, elle-même est constituée des sous-ensembles (La source d'informations, la porteuse et le modulateur...etc), ou chaque sous ensemble a un rôle bien déterminé (électronique, optique et/ou optoélectronique), (voir figure III. 2).

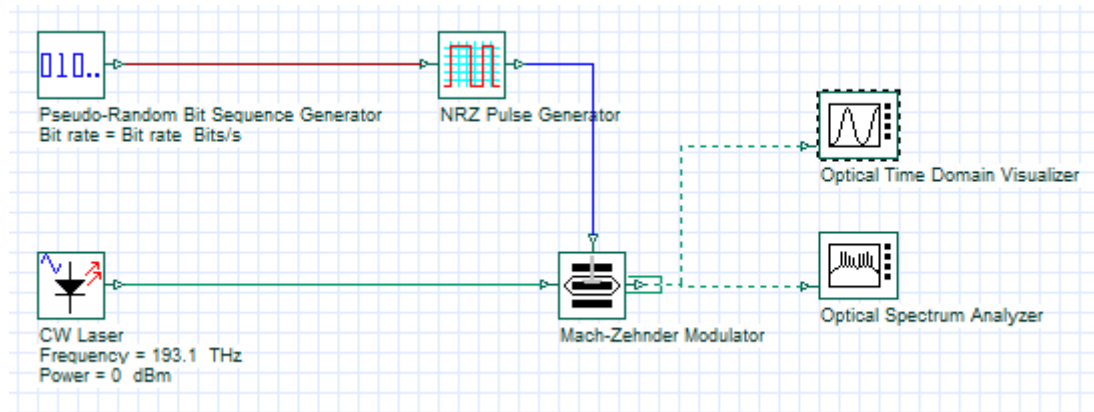


Figure III. 2 : Emetteur optique.

La diode laser CW joue le rôle d'une porteuse à ultra haute fréquence de l'ordre de THz.

La source numérique (PRBS) représente les informations et les données à transmettre [30].

Le modulateur Mach-Zehnder est un composant optoélectronique pour la modulation d'amplitude [31].

III. 1. 2. Bloc 2 (Module de transmission) :

Ce module est le support transportant les informations et les données sous forme des signaux (ondes électromagnétiques ou impulsions optiques), dans ce cas on utilise la fibre optique, qui permet la propagation des ondes électromagnétiques entre deux points A et B (voir figure III. 3).

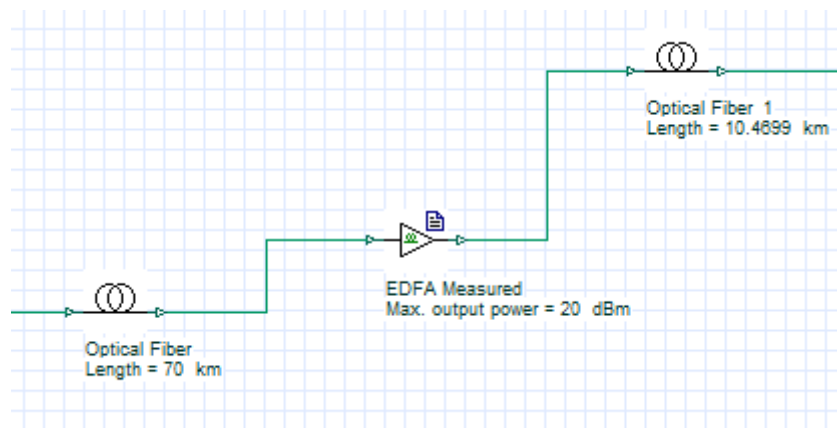


Figure III. 3 : L'espace libre (l'éther).

Comme on a vu au chapitre II, l'onde électromagnétique/l'impulsion optique rencontre lors de sa propagation à travers ce support plusieurs effets de dégradation (l'atténuation, la dispersion chromatique, l'effet de Kerr et l'effet Brillouin...etc).

III. 1. 3. Bloc 3 (Module de réception) :

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

Ce bloc se comporte à un montage optoélectronique destiné à récupérer l'ensemble d'informations et données transmises, il est constitué de quelques composants (optiques, électroniques et optoélectroniques), (voir figure III. 4) [32].

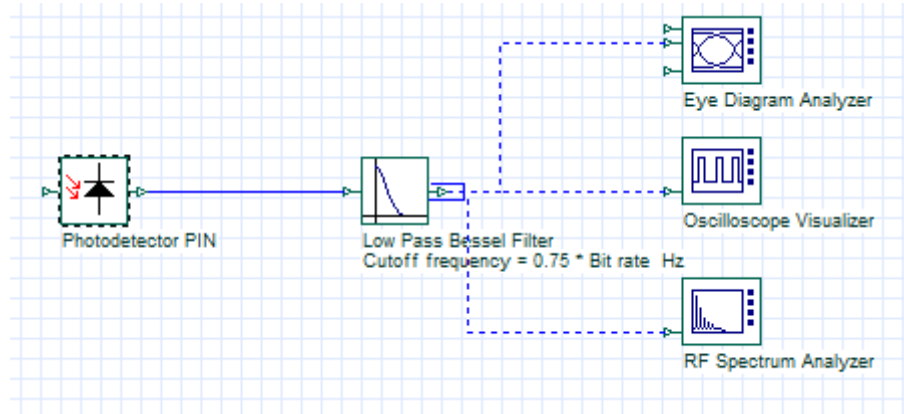


Figure III. 4 : Module de réception.

Ce bloc se comporte à un dispositif détecteur et récupérateur du signal transmis, il est constitué d'une diode photo détectrice (PIN : Pour la détection et la récupération) et un filtre passe bas de Bessel (Pour diminuer l'effet du bruit) [33].

III.2 Présentation du logiciel Optisystem

La conception et l'analyse des systèmes de communications optique, comprennent des dispositifs non-linéaires et des sources de bruit non gaussiennes qui sont très complexes et couteuses en temps, il en résulte que ces tâches ne peuvent désormais être effectuées rapidement et efficacement qu'avec l'aide de nouveaux outils logiciel [34].

Dans notre travail nous avons opté pour un logiciel de simulation des systèmes de communications optique innovants qui conçoit, teste et optimise pratiquement n'importe quel type de liaison optique dans la couche physique d'un large éventail de réseaux optiques, il s'agit d'Optisystem qui est un simulateur basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communications par fibre optique.

Sa vaste bibliothèque de composants actifs et passifs comprend des paramètres réalistes, ces capacités peuvent être étendus facilement avec l'ajout des composants et peuvent être reliés à un large éventail d'outils (figure III.1), une interface complète d'utilisateur graphique(GUI) contrôle la disposition optique des composants, les modèles et ces présentations graphiques (Figure III.1) [35].

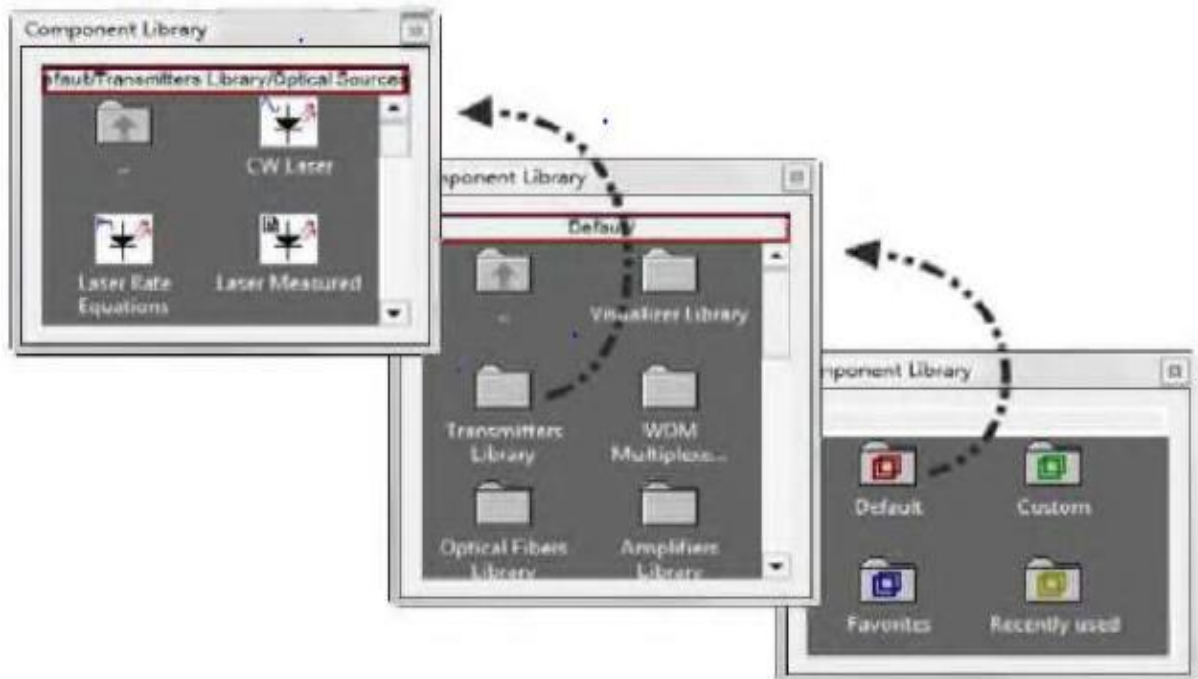


Figure III.5 : Bibliothèque des composants.

III. 3. Caractéristique du simulateur OPTISYSTEM [36]

1. Le logiciel OPTISYSTEM est un simulateur dans le domaine de recherche scientifique (Optique, Electronique et physique).
2. Ce logiciel est une application copiable et non installable, sur le système Windows, est préférable la version 7.(il suffit le copier sur le bureau).

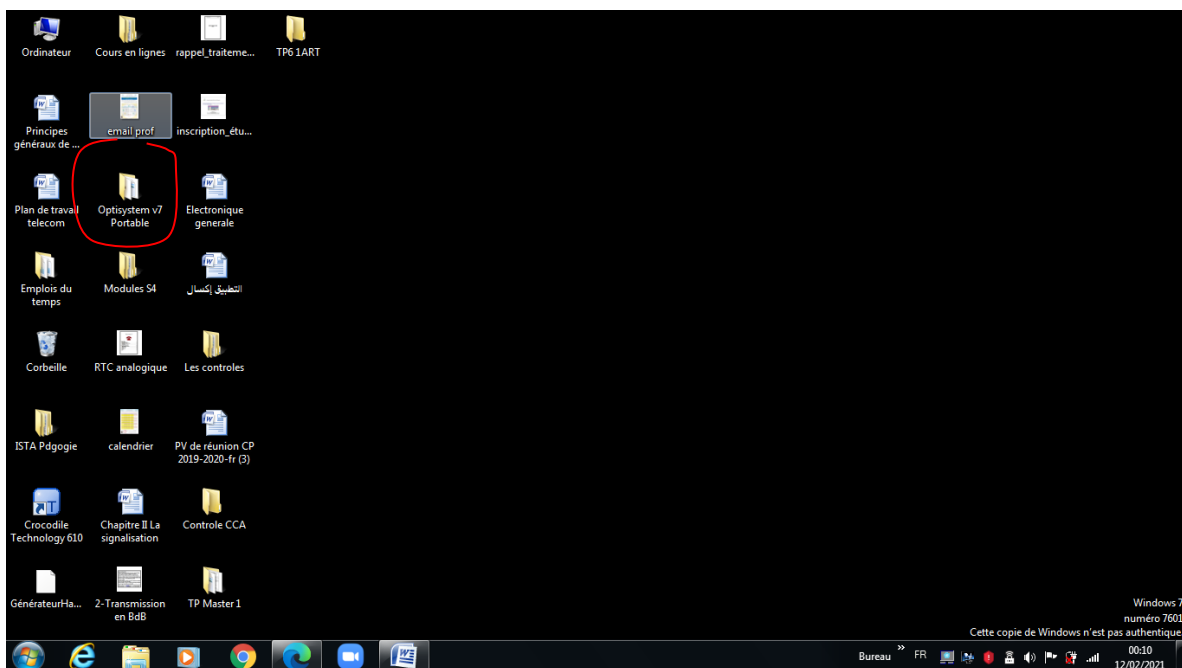


Figure III. 6. Bureau de windows

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

Lancement du simulateur :

Double cliquer sur l'icône entourée par le rouge (une fenêtre s'ouvre)

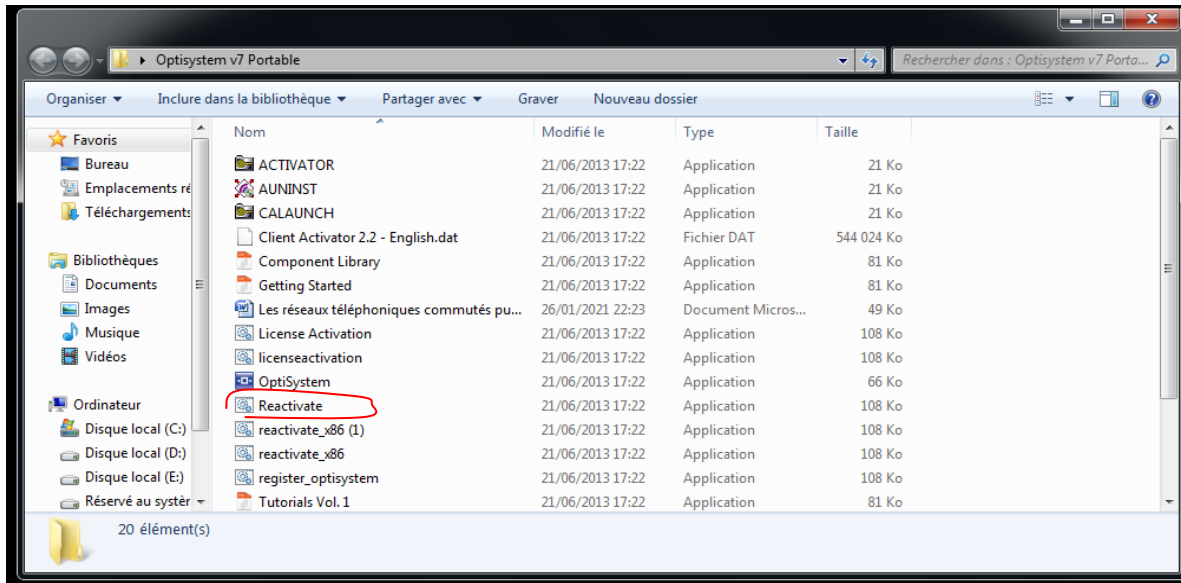
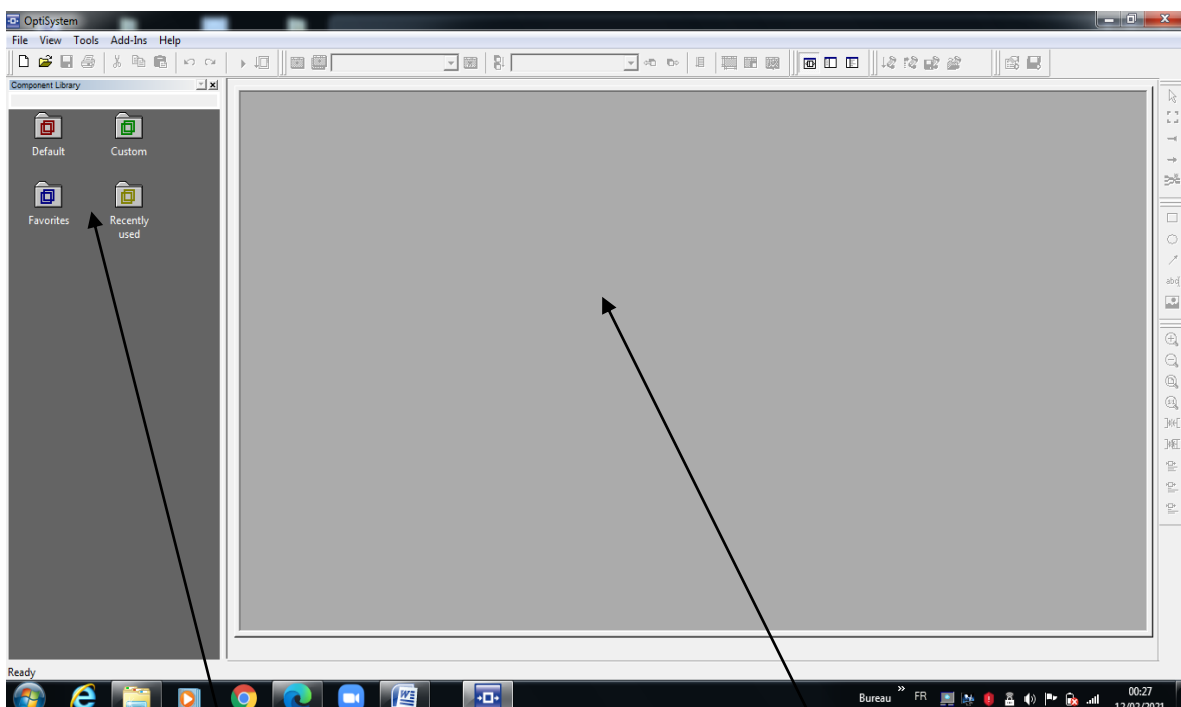


Figure III. 7 : Lancement du logiciel OPTISYSTEM

Cliquer sur le fichier optisystem entouré par le rouge (une fenêtre s'ouvre, est l'interface du simulateur).



La bibliothèque (Composants optiques, électroniques et physiques)

La zone de travail (réalisation des montages)

Figure III. 8 : Interface du logiciel OPTISYSTEM

La bibliothèque

Il suffit de cliquer sur l'icône **DEFAULT** pour que l'ensemble des groupes des composants apparaissent :

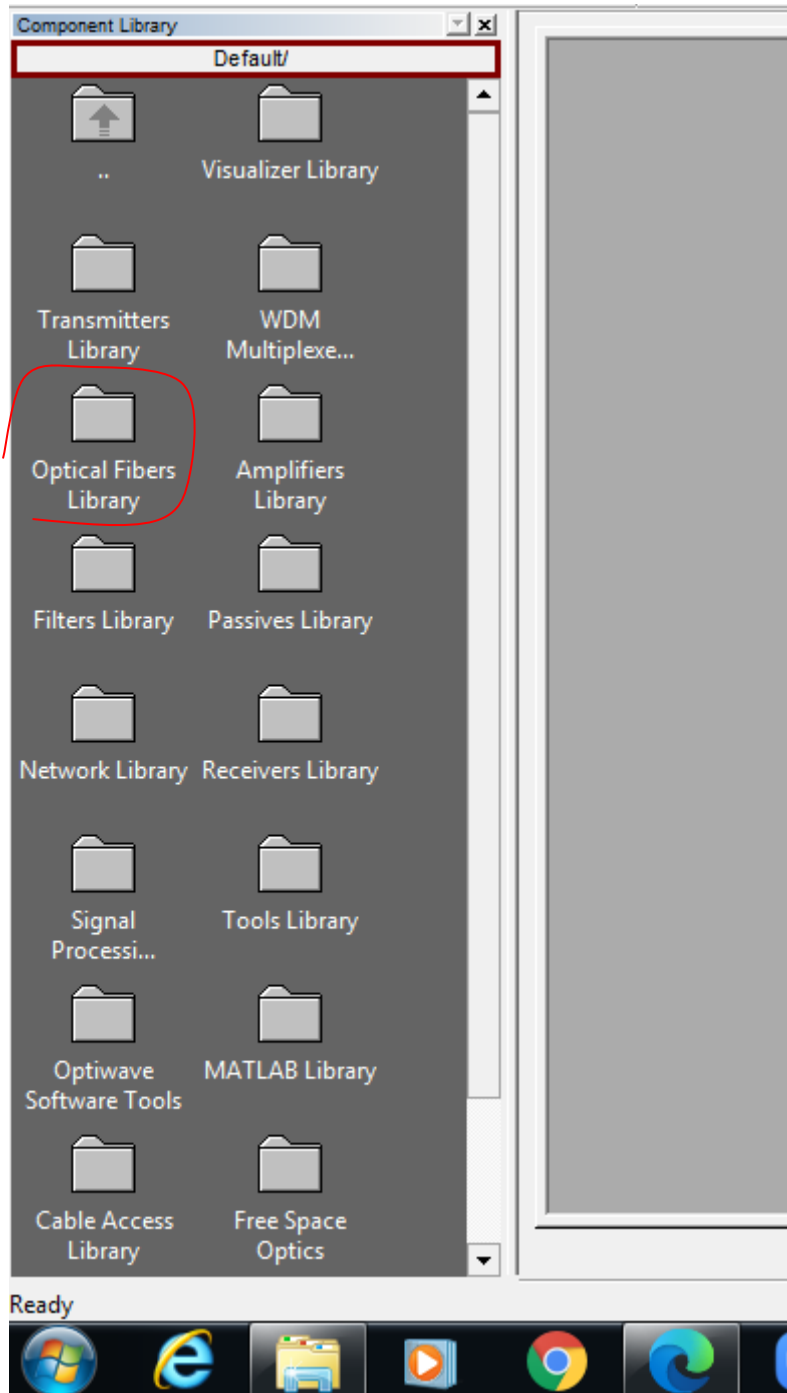


Figure III. 9 : La bibliothèque du logiciel OPTISYSTEM

Maintenant, il suffit de cliquer sur un groupe pour que l'ensemble des composants apparaissent (exemple : **Optical fiber libriry**).

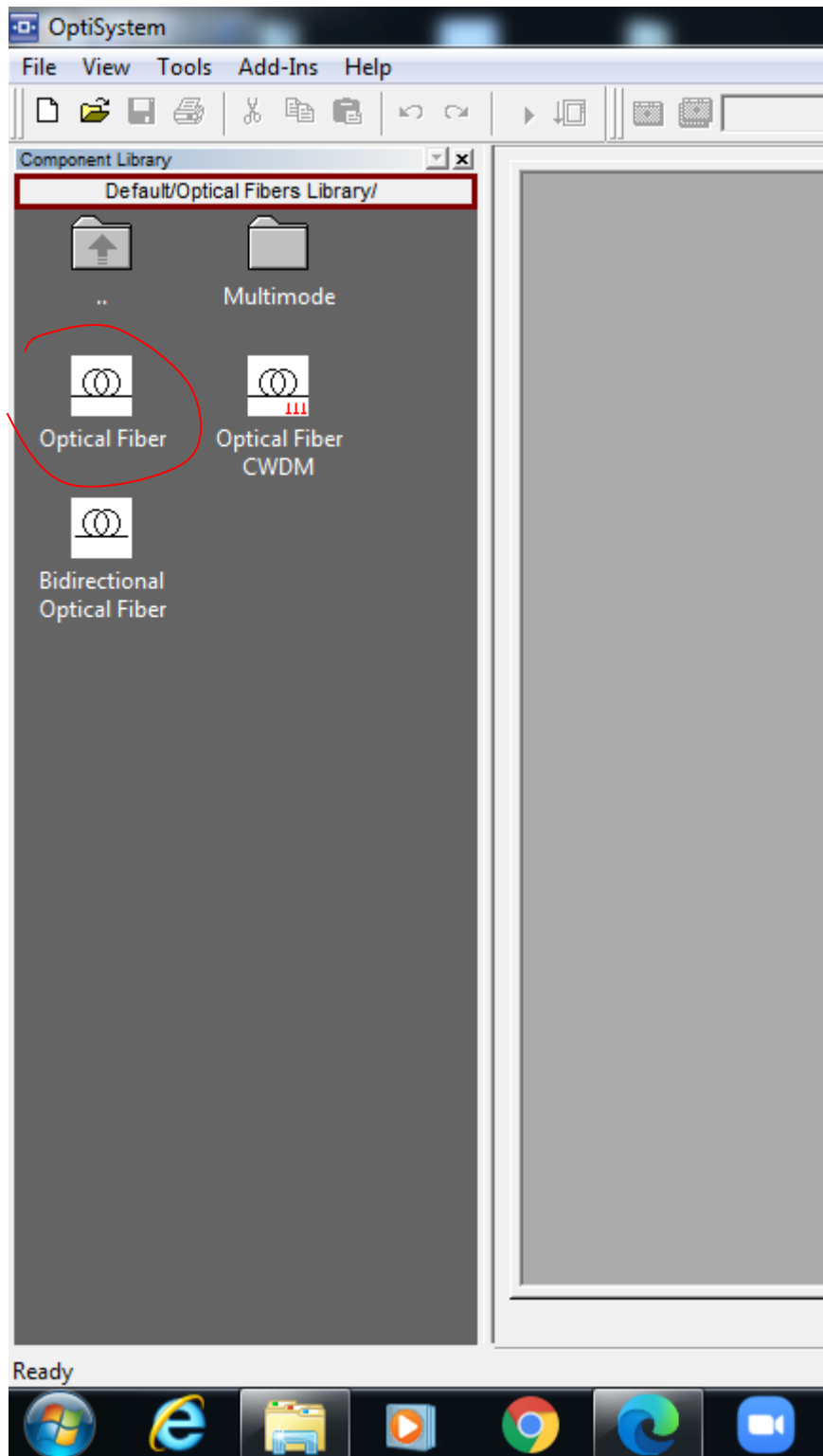


Figure III. 10 : Un groupe de composants

Par la technique de cliquer avec glissement, on peut insérer n'importe quel composants de la bibliothèque vers la zone de travail (exemple : **Optical fiber**).

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

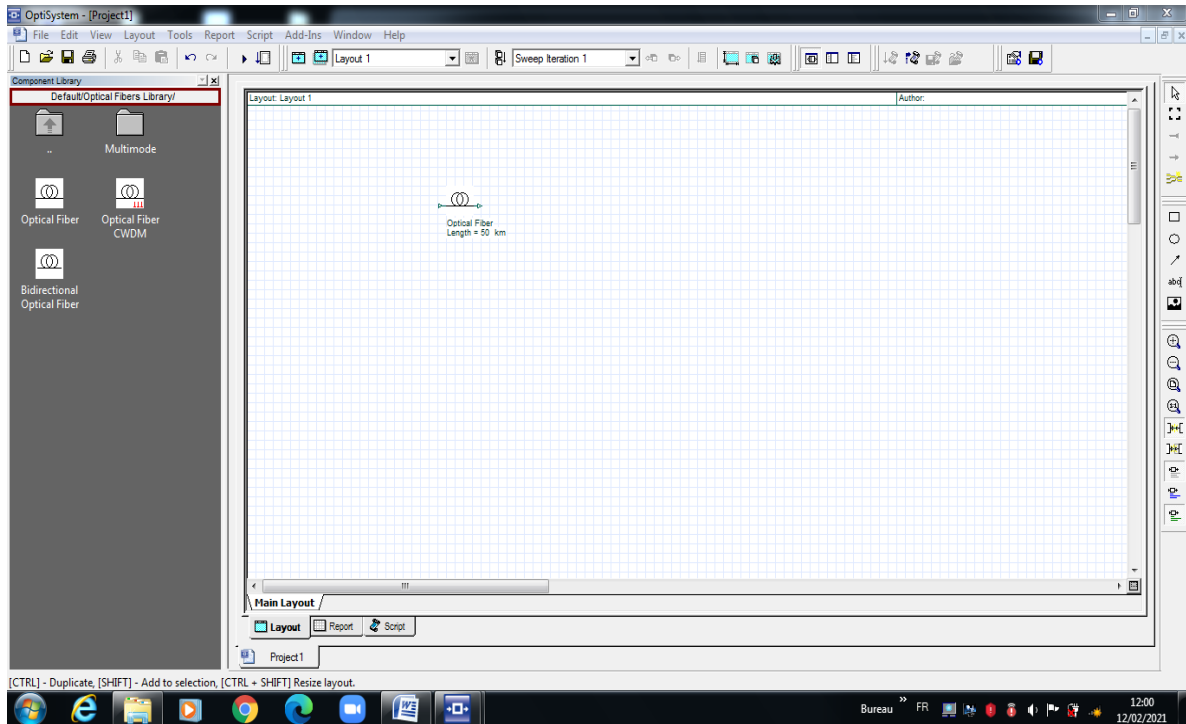


Figure III. 11 : Insertion d'un composant

Pour changer les paramètres d'un composant (exemple la longueur de la fibre (**Length**)), on doit suivre les étapes suivant :

- Double cliquer sur le composant.

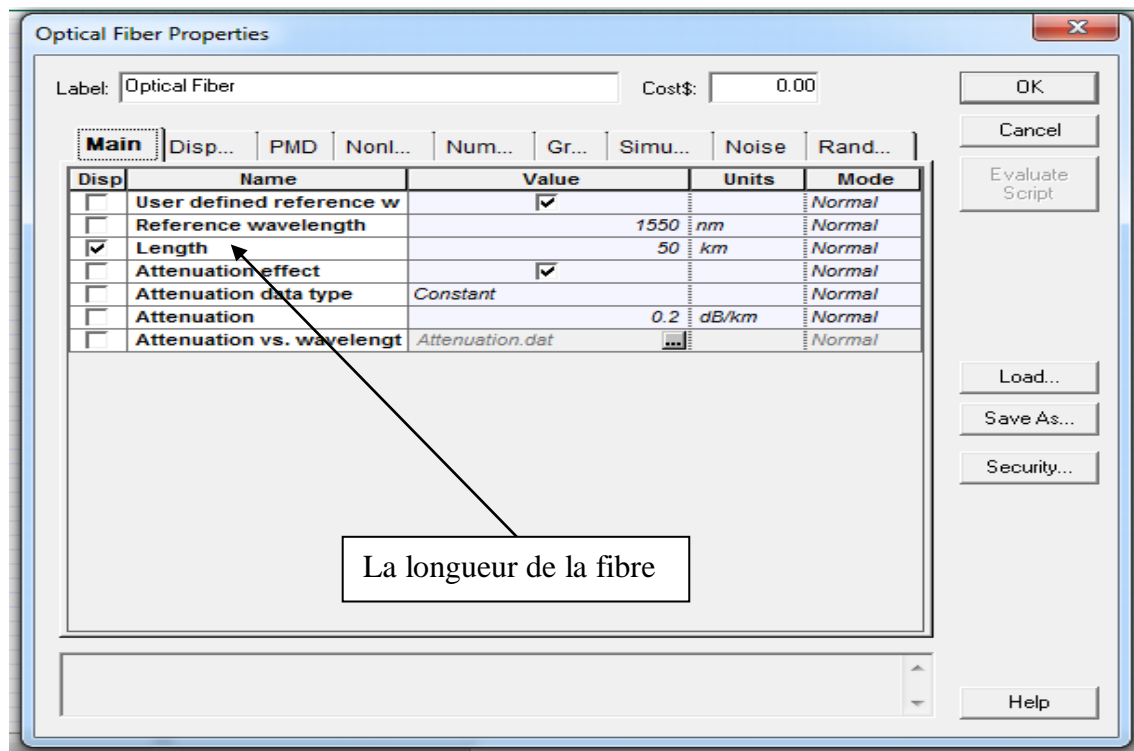


Figure III. 12 : Changement de paramètre d'un composant

Par exemple, on peut changer 50 par 100Km puis cliquer sur Ok

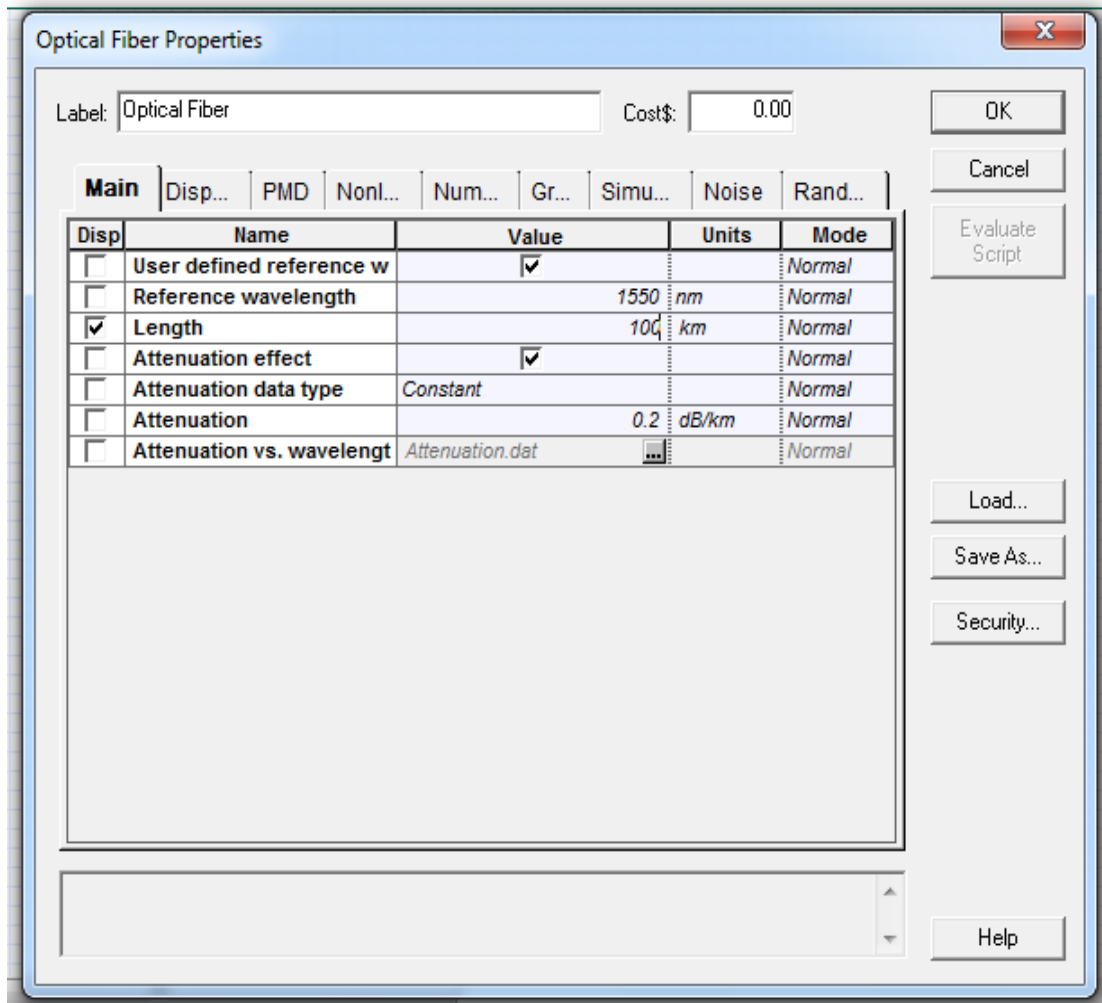


Figure III. 13 : La boîte de dialogue après le changement du paramètre

On peut ajouter un autre composant (expl : Diode Laser).

Je dois cliquer sur l'icône  qui se trouve dans la bibliothèque.

Puis sur Transmitters Library.

Puis sur Optical Sources.

On va obtenir la fenêtre suivante :

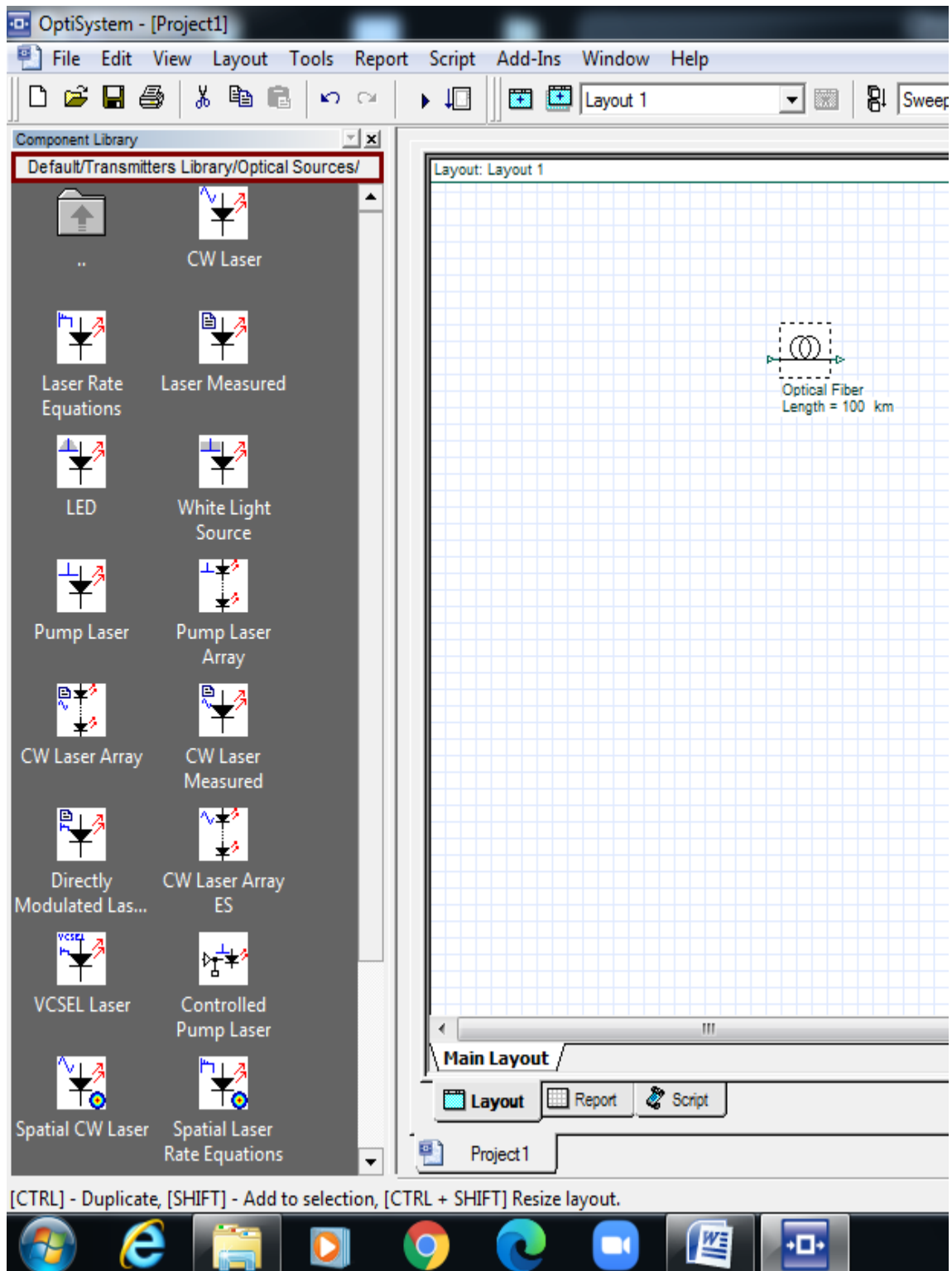


Figure III. 14 : Le groupe de composants Optical Sources

Toujours par la technique de glissement, on peut ajouter un autre composant (expl : **CW Laser**).

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

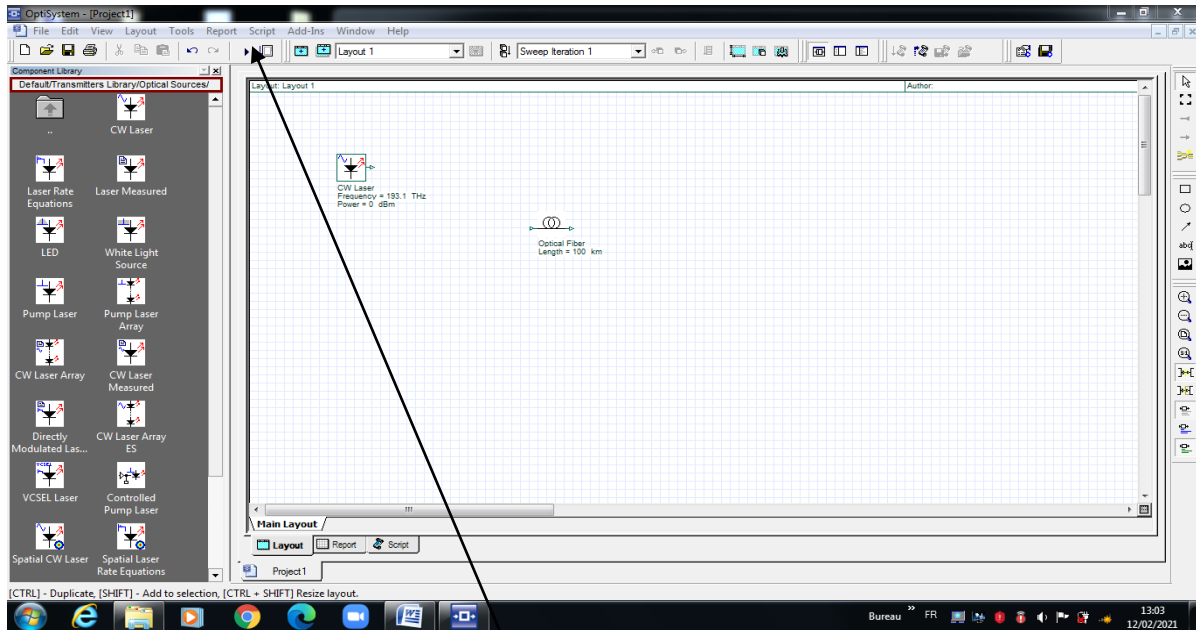


Figure III. 15 : La zone de travail après l'ajout du deuxième composant

Pour relier deux composants, il suffit de cliquer sur la sortie du premier puis sur l'entrée du deuxième.

Simulation d'un montage :

Cliquer sur cette fleche, on obtient cette fenetre.

Une boite de dialogue de simulation s'ouvre

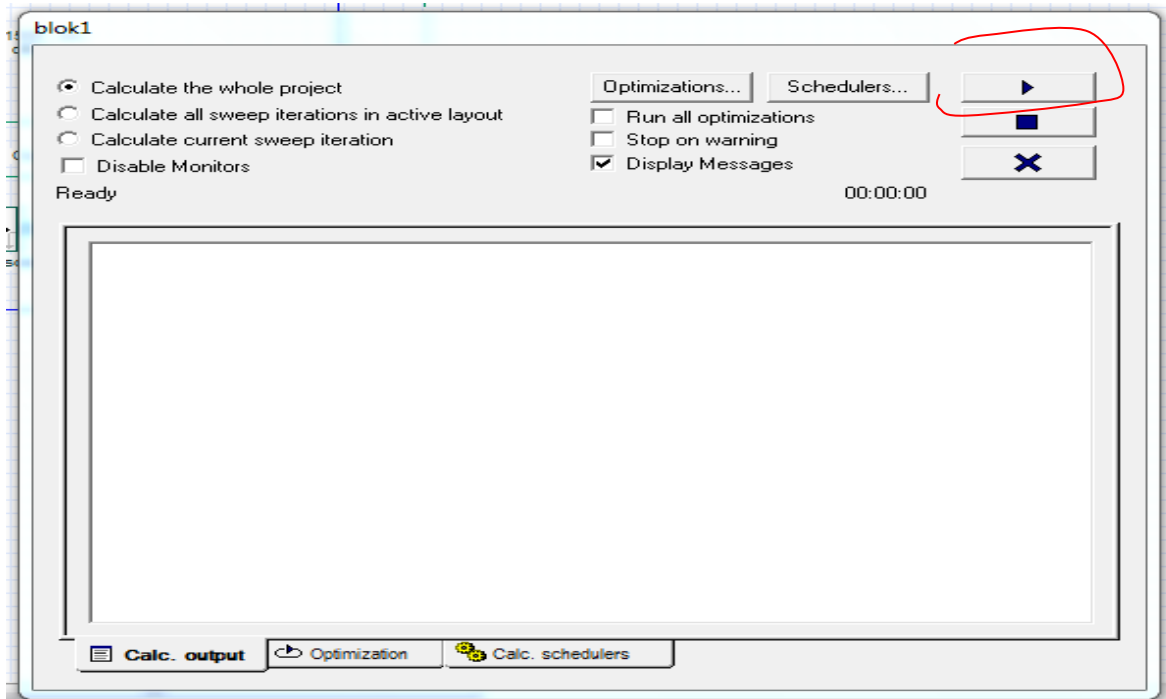


Figure III. 16. Boite de dialogue de simulation

Puis sur le bouton entouré par le rouge.

III. 3. Résultats et discussions :

Après la simulation sous le simulateur Optisystem, on a obtenu les résultats suivants :

- A la sortie de l'émetteur (voir figure III.17) :

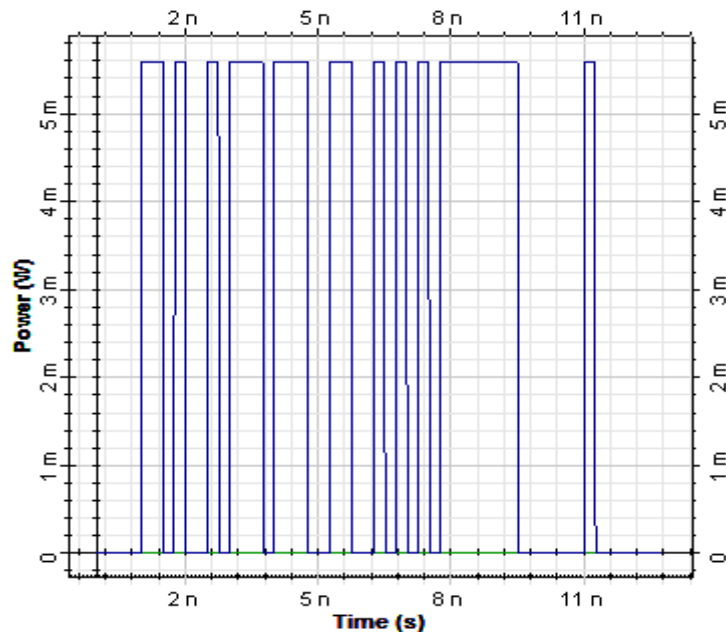


Figure III.17 : Signal temporel à la sortie de l'émetteur.

On a un signal carrée qui représente le signal numérique à transmettre, c'est un signal stable de bon facteur de qualité et une amplitude de 5.6 mW.

- A la sortie de la première fibre optique (voir Figure III.18) :

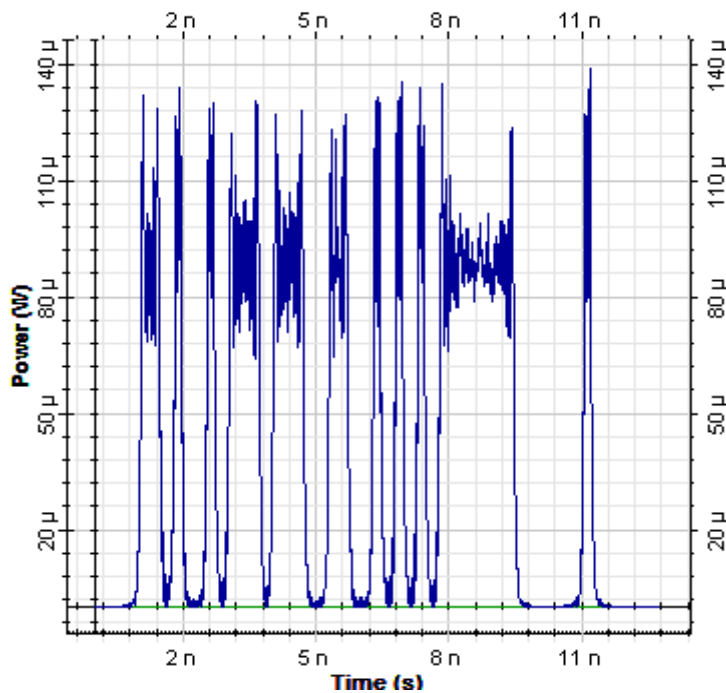


Figure III.18 : signal temporel à la sortie de la deuxième fibre.

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

On remarque toujours la stabilité du signal, alors qu'une chute brusque de l'amplitude se provoque de 5.6 mW à 120 μ W à cause l'atténuation sous l'effet de la fibre avec déformation du signal à partir le niveau 60 μ W est la cause d'insérer l'amplificateur optique EDFA et la deuxième fibre optique afin d'augmenter le signal transmis à nouveau et améliorer le niveau de dispersion (la déformation du signal) voir figures III.19 et III.20.

- A la sortie du EDFA et la deuxième fibre :

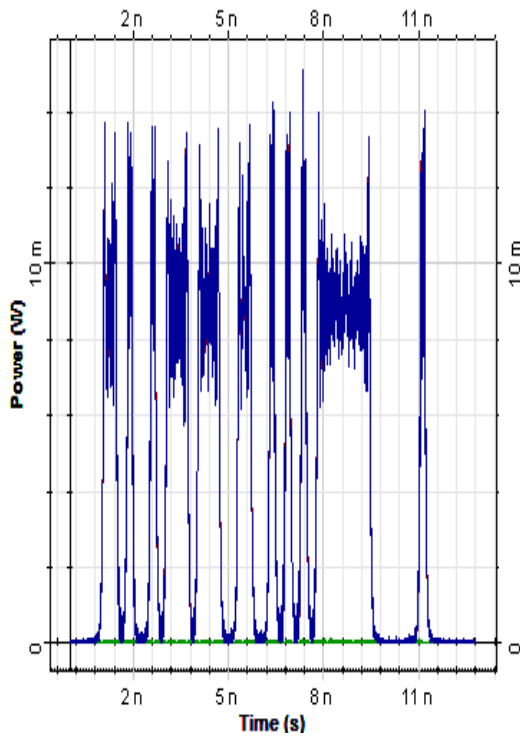


Figure III.19 : Signal temporel à la sortie de l'EDFA.

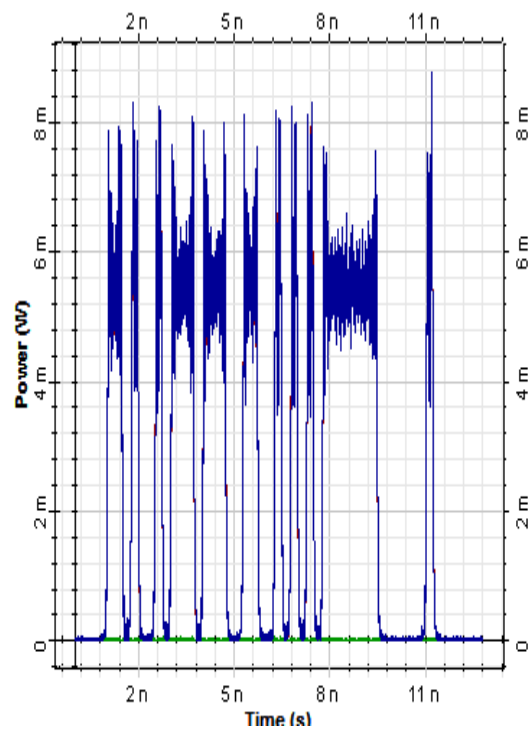


Figure III.20 : Signal temporel à la sortie de la 2ème fibre.

On remarque bien l'augmentation de l'amplitude du signal jusqu'à 12 mW (figure III.9) et l'amélioration du niveau de déformation à 4 mW..

- A la sortie de la diode photo-déetectrice (La PIN) voir Figure III.21.

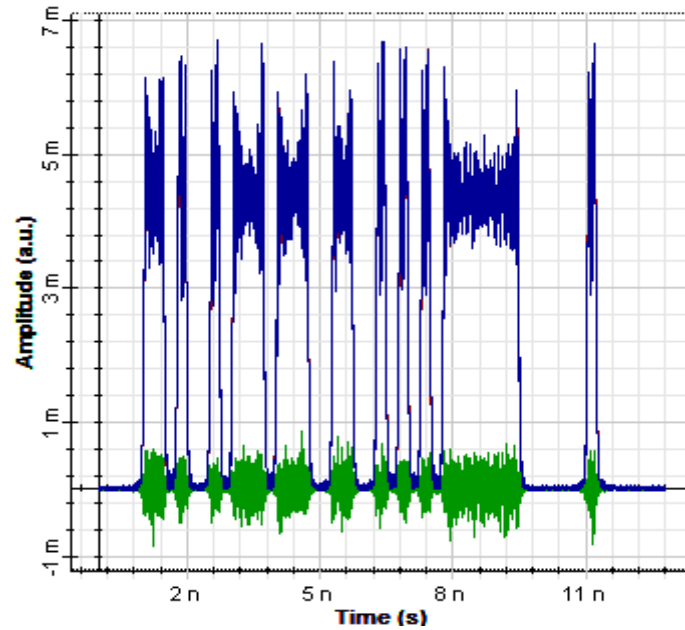


Figure III.21 : Signal temporel à la diode PIN.

Ce composant détecte et démodule le signal transmis est une source de bruit (le signal aléatoire de couleur vert), pour diminuer cet inconvénient (ce bruit), on a ajouté un filtre passe bas de Bessel (voir figure III.22), afin de diminuer au maximum le taux d'erreur binaire (le BER \equiv Ratio Error Binary) et par la suite l'amélioration du facteur de la qualité (Q) du signal reçu (voir figure III.23).

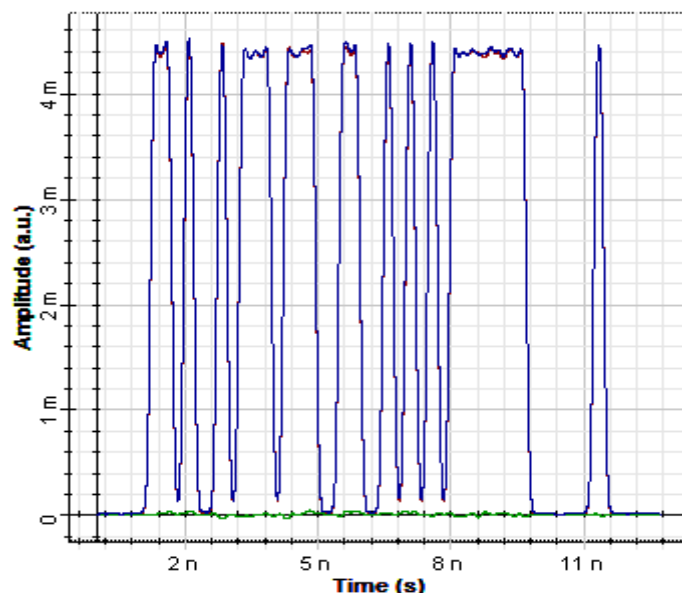


Figure III.22 : Signal temporel à la sortie du filtre de Bessel.

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

En fin, on a branché l'appareil de jugement de la qualité du signal au niveau du récepteur, ainsi que le taux d'erreur binaire, on a réussi d'obtenir $Q = 48,4885$ le BER $\rightarrow 0$.

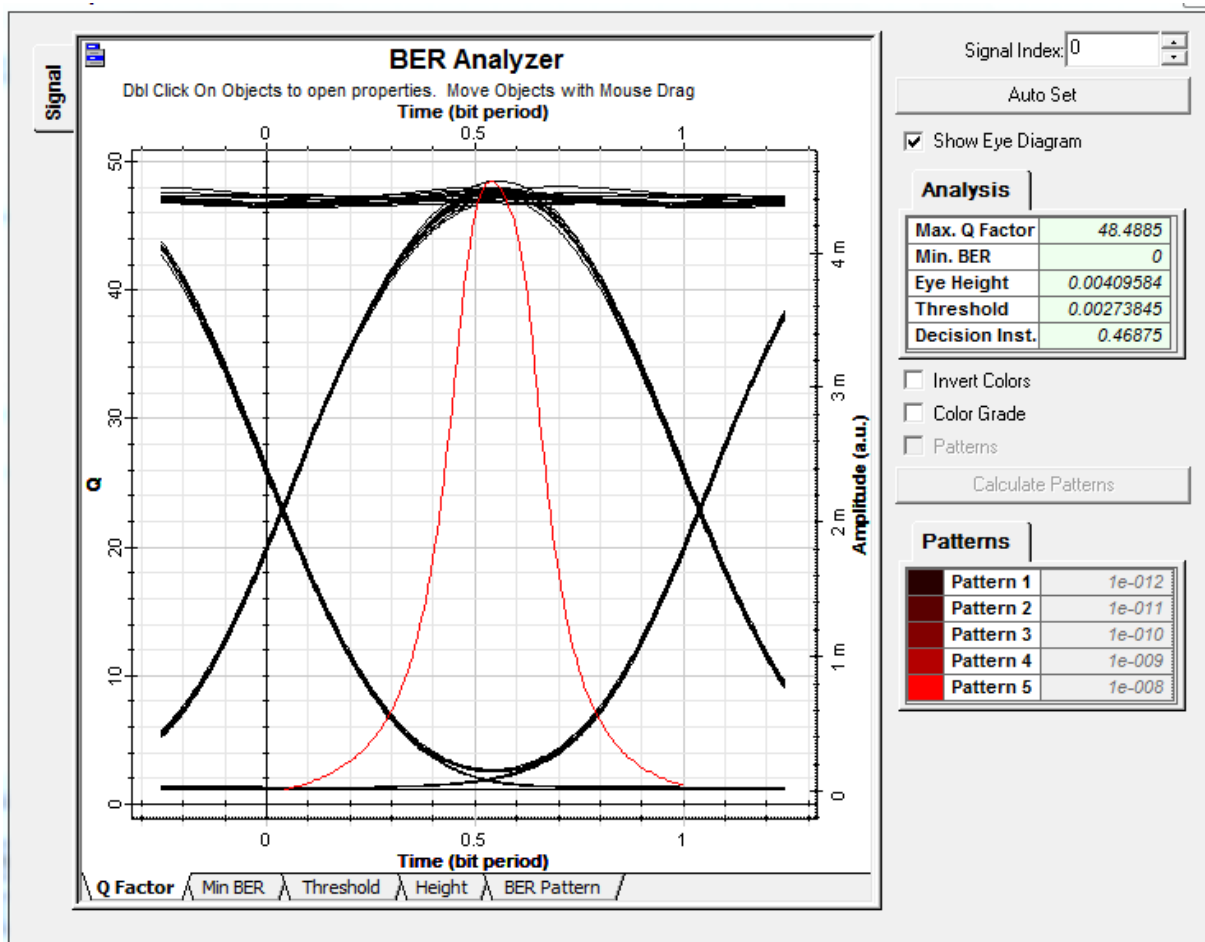


Figure III.23 : L'analyseur de BER pour juger la qualité du signal et le BER.

Conclusion :

Suivant les étapes de simulation de cette liaison optique, on a trouvé que la qualité du signal optique, qui se propage dans l'espace la fibre optique est inversement proportionnelle à la longueur de la fibre optique, à cause la dispersion chromatique d'ordre deux créée par le support, c'est pour ça, on a ajouté un amplificateur EDFA en série avec la fibre optique, ce phénomène est la cause de trouver ces bons résultats (facteur de qualité, hauteur de l'œil et le TEB minimal).

Conclusion générale

Ce projet avait pour ambition de décrire et faire une brève étude d'un système de transmission par fibre optique. Afin d'avoir toute information qui nous permettra de réaliser et superviser une liaison par fibre optique.

C'est pourquoi, nous avons décidé de choisir ce thème de mémoire. Et pour bien comprendre le fonctionnement d'une chaîne de transmission par fibre optique et avoir la possibilité de superviser un réseau FO réel, grâce à l'outil de supervision Optisystem, nous avons intégré les ingénieurs de laboratoire de télécommunication, où nous avons fait notre stage pratique à l'institut de technologie de Ain Mlila.

Un système de transmission par fibre optique se repose sur trois fonctions fondamentales :

- Génération du signal
- la propagation
- la détection en réception.

Nous avons donc effectué les recherches nécessaires concernant les éléments contribuant à la transmission des données numériques. Nous avons aussi présenté les différents phénomènes et les événements qui réagissent et influent sur la transmission du signal.

Nous avons montré que l'interface de transmission qui véhicule les données, comporte la fibre optique qui est l'élément essentiel de la transmission, et se divise en trois types : fibre optique monomode utilisée pour les longues distances, et la fibre multimode qui regroupe, la fibre optique à saut d'indice, et à gradient d'indice, exploitée dans les réseaux LAN et les moyennes distances. Pour l'amélioration de la qualité de transmission, des techniques d'amplifications et de multiplexages sont utilisées.

Nous avons aussi présenté le simulateur Optisystem et son importance, après la simulation finale de notre montage global, on a obtenu de bons résultats (le facteur de qualité de signal transmis Q et le taux d'erreur binaire BER).

Nous avons aussi abordé la résolution d'un problème survenu durant la supervision, qui est une coupure dans la fibre optique, et le matériel nécessaire utilisé pour effectuer une fusion de la fibre.

Cette expérience à l'institut de technologie a été très intéressante et enrichissante, elle nous a permis d'acquérir une grande connaissance théorique, pratique et professionnelle.

Références

- [1] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Micro-onde>
- [2] <https://www.clicours.com/introduction-aux-reseaux-telecommunications>
- [3] [Réseaux : Accès Multiple \(pagesperso-orange.fr\)](#)
- [4] L. Ourahmoune, «Systèmes de transmission » Mémoire de Master En Electronique Option système de télécommunication, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU. 2011.
- [5] Zouad T., Lemouchi D., «Turbo décodage à bruit impulsif stable symétrique», mémoire de Master, Université Hamma Lakhder d'El-Oued, 2015.
- [6] M. Mekouar, «Compression d'image medical», Mémoire à l'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC 2001.
- [7] Tahi M, Chadouli S, Université de Blida 1,mémoire Master, Thème Analyse Numérique Et Etude Spectrale De Réseaux De Bragg A Fibre,2019.
- [8] F. PIERRON, «la réflexion totale de l'OEM', Physique – Chimie, Programme : BO spécial n° 4 du 29 avril 2010.
- [9] A-E. Willner, S-R. Nuccio, B-G. Potter, “Photonic Communications Engineering: Module 3 - Attenuation in Optical Fibers”, 8 September 2010.
- [10] A. Ghatak, K. Thyagarajan, “Optical Waveguides and Fibers”, Department of Physics Indian Institute of Technology New Delhi, India, 2000 University of Connecticut, pp 255.
- [11] Fabrice M 2006 Les fibres optiques et les transmissions des données par voie optique édition paris. 120.
- [12] SLIMI O, UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF, MEMOIRE MAGISTER, THEME MICROLENTILLAGE D'UNE FIBRE OPTIQUE, 2011.
- [13] J.M.MUR, ” Les fibres optiques Notions Fondamentales (câbles, connectique, composants, protocoles, réseaux...)”, Edition : ENI, 2012, France.
- [14] R.SAIDI, « Etude d'une Structure de Liaison par Fibre Optique : Caractérisation de la Propagation et Bilan Energétique » Mémoire de magister En Electronique, Université Mohamed Kheider, Biskra, 18/03/2010.
- [15] Minou prof, Apprendre et comprendre, 12 juin 2016, consulté le : 13 MARS 2020.URL :<https://emrecmic.wordpress.com/2016/06/12/domaines-dapplications-desfibres-optiques>.
- [16] :[https://www.ftmesures.com/Technologie réseau de Bragg](https://www.ftmesures.com/Technologie%20réseau%20de%20Bragg).
- [17] D. REVUZ, E. DURIS, Transmission sur Fibre Optique, consulté le : 07 MARS 2020.URLhttp://igm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/index.html Pierre Lecoy, ” Communications sur Fibres Optiques”, 4eme Edition : Lavoisier, 2015, Paris.
- [18] W.BIANC, L.LABONTE, La fibre optique et le guidage de la lumière, consulté le : 14 MARS 2020.URL:
- [19] Câble Organizer France, consulté le : 07 MARS 2020.URL : <http://cableorganizer.fr/learning-center/categ-articles/1-fibre-optique.html>
- [20] Fibre Optique, consulté le : 07 MARS 2020.URL: https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique
- [21] SEBBAGH Housseayne, MEDDOUR Messaoud, « Etude et optimisation d'une diode laser a base de matériaux III-V, Mémoire de Master en télécommunications, Université HAMMA Lakhdar El-Oued, 2020/2021.
- [22] Vincent Auroux, « Application des lasers fibrés à verrouillage de modes à la génération très haute fréquence à haute pureté spectrale ». Micro et nanotechnologies/ Microélectronique. UNIVERSITE TOULOUSE 3 PAUL SABATIER (UT3 PAUL SABATIER), 2017.
- [23] Othman Rehioui. « FIABILITE DE DIODES LASER DE FORTE PUISSANCE 808 nm

Références

- MICRO ASSEMBLEES POUR DES APPLICATIONS SPATIALES : Approche expérimentale et modélisations par éléments finis. Electronique ». Université Sciences et Technologies-Bordeaux I, 2011.
- [24] Charles Cayron. « Etude théorique et expérimentale de diodes lasers, pour horloges Rubidium et Césium, refroidissement d’atomes et capteurs inertiels ». Physique Quantique [quant-ph]. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2011.
- [25] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electronique>
- [26] https://fr.wikipedia.org/wiki/Photodiode_pin
- [27] HAMITOUCHE Arezki, LAHLOUH Hassina, « Multiplexage SDH et dimensionnement des réseaux DWDM », diplôme d’ingénieur en communication, Université de Tizi-Ouzou, 2009/2010.
- [28] Salmi Khalid, « Etude et modélisation d’un système de transmission radio-sur-fibre », Université Med premier, juillet 2012.
- [29] C. FORTIER, THESE DE DOCTORAT, «Génération de sources optiques fibrées très hautes cadences et caractérisations de fibres optiques microstructures en verre de Chalcogénure », Université De Bourgogne, Année 2011.
- [30] J. Fatome, S. Pitois, and G. Millot, "*Sensitivity of SHG-FROG for the characterization of ultrahigh-repetition-rate telecommunication laser sources*", Optical Fiber Technology, 10(1):73–78, 2004.
- [31] Harry J. R. Dutton, "*Understanding Optical Communications*", First Edition, International Technical Support Organization, September 1998.
- [32] D.D. Marcenac, A.D. Ellis and D.G. Moodie, "*80 Gbit/s OTDM using electroabsorption modulators*", Electron. Lett. Vol. 34, pp. 101-103, 1998.
- [33] [Diode PIN — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)
- [34] [OptiSystem \(version gratuite\) télécharger pour PC \(freedownloadmanager.org\)](#)
- [35] [OptiSystem \(version gratuite\) télécharger pour PC \(freedownloadmanager.org\)](#)
- [36] [Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem \(123dok.net\)](#)