

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Larbi Ben M'Hidi Oum El Bouaghi



Faculté Des Sciences Exactes Et Des Sciences De La Nature Et De La Vie
Département Des Sciences De La Matière

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de
MASTER en physique

Spécialité : physique appliquée

*Amélioration de la performance d'une communication
optique en espace libre (FSO) point à point en utilisant
des faisceaux optiques modulés (application aux Satellites
et Radar embarqués)*

Présenté Par :

Moudjari Amel

Kouassah Hayat

Soutenu le: 20/06/2023

Sous la direction de :

- **Dr. Amar Hamouda**

Devant le jury de soutenance suivant :

Président : Dr. Hebbire Nacer

Univ Larbi Ben M'Hidi O.E.B

Encadreur : Dr. Hamouda Amar

Univ Larbi Ben M'Hidi O.E.B

Examineurs : Dr. Goumeidane Fayçal

Univ Larbi Ben M'Hidi O.E.B

Année universitaire : 2022/2023

Remerciement

Nous remercions en premier lieu Dieu tout puissant nos avoir accordé la Puissance et la volonté de terminé ce travail.

Nous tenons à remercier la famille académique de l'Université Larbi Ben M'hidi et particulièrement tous les enseignants qui nous ont donné la meilleure formation et education.

*Nous voudrions exprimer, avec cet humble travail, notre gratitude, notre appréciation et nos grands remerciements au **Dr Amar Hamouda** pour avoir suggéré ce travail, le suivre et le corriger, en particulier les connaissances techniques qu'il nous a données, et aussi. Une partie de son temps et de ses efforts pour nous aider à faire avancer notre mémoire.*

*Nous tenons également à exprimer nos plus sincères remerciements à **M. Bordji Bachir** pour avoir enrichi nos connaissances et de nous avoir guidé .*

Nous saluons également les membres du jury pour avoir accepté l'évaluation de cet humble message. Sans oublier tous les élèves avec qui nous avons passé de belles et inoubliables journées.

Dédicaces

Je dédie cet ouvrage

Aux propriétaires d'une biographie parfumée et d'une pensée éclairée, à ceux qui m'ont guidé sur le bon chemin, à mes parents qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de ma vie.

À ma sœur et mes frères qui ont eu un grand impact sur de nombreux obstacles et difficultés.

A ma grande famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la Vivacité.

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de Succès.
A tous ceux que j'aime.*

Merci !

AMEL

Dédicaces

À celui qui a récolté les épines de mon chemin pour me paver le chemin de la connaissance, mon cher père, et à celle qui m'a soigné avec amour, tendresse et baume guérisseur, ma mère bien-aimée, aux cœurs bons et aux âmes innocentes, mes chers frères à mon cœur, alors mes sincères remerciements à vous tous.

A mon cher mari, je lui dédie cette recherche. Il a été le plus grand supporter de tout, alors merci beaucoup d'avoir cru en moi pour réussir et de m'avoir poussé à être meilleur.

A ma grande famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la Vivacité.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de Succès.

A tous ceux que j'aime.

Merci !

HAYAT

Résumé

La communication optique en espace libre (FSO) est une technologie très récente et émergente pour établir le haut débit des systèmes de transmission de données sans fil utilisant des faisceaux optiques modulés. L'adoption du système FSO est principalement nécessaire lorsque toute connexion physique entre l'émetteur et le récepteur est pratiquement impossible et où une transmission de données à bande passante élevée est attendue. La performance de la technologie de communication FSO dépend fortement de l'atténuation atmosphérique qui est liée à la visibilité des différentes conditions météorologiques les conditions ainsi que les longueurs d'onde de fonctionnement.

Abstract

Free space optical communication (FSO) is a very recent and emerging technology to establish high speed of wireless data transmission system using modulated optical beams. The adoption of the FSO system is mainly necessary when any physical connection between the transmitter and the receiver is practically impossible and high bandwidth data transmission is expected. The performance of FSO communication technology is highly dependent on atmospheric attenuation which is related to the visibility of different weather conditions as well as operating wavelengths.

ملخص

الاتصالات الضوئية للفضاء الحر (FSO) هي تقنية حديثة جداً وناشئة لإنشاء نظام نقل بيانات لاسلكي عالي السرعة باستخدام حزم ضوئية معدلة. يعد اعتماد نظام FSO ضرورياً بشكل أساسي عندما يكون أي اتصال مادي بين المرسل والمستقبل مستحيلاً عملياً ومن المتوقع إرسال بيانات ذات نطاق ترددي عالٍ. يعتمد أداء تكنولوجيا الاتصالات FSO بشكل كبير على الضياعات عبر أمواج الاثير التي ترتبط بالرؤية في الظروف الجوية المختلفة بالإضافة إلى أطوال الموجات العاملة.

Sommaire

Titres	Page
Remerciement	i
Dédicace	ii
Résumé	iv
Sommaire	v
Liste des figures	vii
Introduction générale	1
Chapitre I : Supports physiques de transmission	Page
I. 1. Le guide rectangulaire	3
I.1.1. Aspect matériel	3
I.1.2. Fréquence de coupure	4
I. 2. Ligne imprimée	4
I.2.1. Ligne micro-ruban	4
I.2.2. Ligne coplanaire	5
I.2.3. La ligne tri-plaque	5
I.3. Câble coaxial	6
I. 4. Fibre optique	8
I.4.1. Pertes de la fibre optique	9
I.4.2. Dispersion	10
I.5. Ether (L'atmosphère)	11
I.5.1. Structure	11
I.5.2. Troposphère (0 à 10 Km)	12
I.5.3. Stratosphère (10 à 50 Km)	12
I.5.4. Mésosphère (50 à 100 Km)	12
I.5.5. Thermosphère (100 à 600 Km)	12
I.5.6. Exosphère (plus de 600 Km)	12
I.6. Ionosphère	13
I.6.1. Ionisation	13
Chapitre II : Types de diodes Laser et principe de fonctionnement	Page
II.1. Définition de la diode Laser à semi-conducteur	14
II.2. Principe de fonctionnement	14
II.2.1. Fonctionnement électrique d'une diode Laser	16
II.3. Matériau utilisé pour les diodes Lasers	17
II.4. Caractéristiques	17
II.4.1. Caractéristiques Puissance-Courant	17
II.4.2. Rendement quantique différentiel externe de la diode	18
II.4.3. Dépendance de la température	18
II.4.4. Distribution spectrale de rayonnement	19
II.5. Types des Lasers	21
II.5.1. Double hétéro structure	21
II.5.2. Laser à gaz	21
II.5.3. Cristallins	22
II.5.4. Laser à fibre	23
II.5.5. Laser à colorant moléculaires	23
II.5.6. Diode Laser	24
II.5.7. Laser à électrons libres	24
II.6. Laser et sécurité	24

Sommaire

	Page
Chapitre III : Simulation de la liaison optique	
III.1. Etude théorique du montage.....	25
III.1.1. Bloc 1 (Module d'émission)	25
III.1.2. Bloc 2 (Module de transmission).....	26
III.1.3. Bloc 3 (Module de réception)	27
III.2. Présentation du logiciel Optisystem	27
III.3. Caractéristique du simulateur OPTISYSTEM.....	28
III.4. Résultats et discussions	37
Conclusion générale	39
Références	40

Liste des figures

Liste des figures	page
Figure I.1 : Guide d'onde rectangulaire [4]	3
Figure I.2 : Ligne Micro-ruban [5].	4
Figure I.3 : Ligne coplanaire [6].	5
Figure I.4 : Ligne tri-plaque[6].	5
Figure I.5 : Câble coaxial [8].....	6
Figure I.6 : Constitution du câble coaxial [8].....	6
Figure I.7: Mode TEM de propagation.....	7
Figure I.8: Section d'u câble coaxial [7].....	7
Figure I.9: (a) La structure de la fibre, (b) L'évolution du profil de la fibre [9].....	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: Structure de l'atmosphère [10].....	13
Figure II. 1 : Structure de base d'une diode laser.....	17
Figure II. 2 Cavité optique de la diode laser.....	18
Figure II. 3 Diode laser rouge 300mW 650nm.....	19
Figure II. 4Caractéristique d'une diode laser.....	20
Figure II. 5Exemple d'évolution de la caractéristique d'une diode laser avec la température.....	22
Figure II. 6Spectre d'émission d'une diode laser.....	22
Figure II. 7Evolution du spectre d'émission d'une diode laser avec le courant de polarisation.....	23
Figure II. 8Diode laser à gaz.....	25
Figure II. 9Diode Laser cristallin.....	25
Figure II. 10Diode laser à fibre.....	26
Figure II.11 Diode Laser à colorant moléculaire.....	27
Figure III. 1 : Liaison optique entre deux points.....	28
Figure III. 2 : Emetteur optique.....	29
Figure III. 3 : L'espace libre (l'éther).....	29
Figure III. 4 : Module de réception.....	30
Figure III.5 : Bibliothèque des composants.....	31
Figure III. 6. Bureau de Windows.....	31
Figure III. 7 : Lancement du logiciel OPTISYSTEM.....	32
Figure III. 8 : Interface du logiciel OPTISYSTEM.....	32
Figure III. 9 : La bibliothèque du logiciel OPTISYSTEM.....	33
Figure III. 10 : Un groupe de composants.....	34
Figure III. 11 : Insertion d'un composant.....	35
Figure III. 12 : Changement de paramètre d'un composant.....	35
Figure III. 13 : La boîte de dialogue après le changement du paramètre.....	36
Figure III. 14 : Le groupe de composants Optical Sources.....	37
Figure III. 15 : La zone de travail après l'ajout du deuxième composant.....	38
Figure III. 16. Boîte de dialogue de simulation.....	38

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Chronologiquement, l'utilisation de la lumière pour transmettre de l'information n'est pas un concept novateur récent. En effet, depuis l'antiquité, les signaux sonores et optiques ont été reconnus capables de transmettre une certaine forme d'information. Dans ce contexte, on trouve la trompe du berger médiévale, le tam-tam africain, le phare d'Alexandrie, la fumée des indiens d'Amérique, le photophone d'Alexander Graham Bell (1880), etc. Toutefois, ces moyens de communications primitifs, à capacité et portée très limitées, ont évolués dans le temps pour aboutir aux moyens de communications modernes.

Présentement, nous communiquons par faisceaux hertziens, par satellites, par câbles en cuivre et en fin le retour de la lumière comme moyen de communication en utilisant de la fibre optique comme support de transmission. Car, celle-ci semblait aujourd'hui offrir une capacité de transmission quasi-illimitée [1].

Le progrès de la civilisation humaine ne cesse de faire ces preuves et de nous réjouir par des gadgets technologiques était inimaginables le siècle précédent. Deux grands chantiers de cette haute technologie restent ouverts ce début de siècle et sont loin d'être achevés : la télécommunication et l'informatique. Un mariage de raison entre ces deux grandes domaines a donné naissance à des nouvelles technologies tel que VOIP (la voix sur IP ou en anglais Voice over IP prononcer voïp) qui est basée sur le protocole IP, et qu'elle peut être réalisé sur n'importe quel réseau informatique ayant un protocole IP comme les réseau LAN, intranet ou internet. Cette technologie joue un rôle très intéressant dans le monde de la communication vocale. En effet, la convergence du triple play (voix, données et vidéo) fait partie des enjeux principaux des utilisateurs de la télécommunication moderne.

Actuellement, nous nous sommes en possession d'une grande variété d'applications commerciales et de laboratoire de la technologie de la fibre optique. Les applications qui sont discutées dans ce travail seront limitées aux technologies de l'information et des télécommunications. Parmi tous les composants tout-optique utilisés dans le domaine des télécoms, nous nous intéressons qu'aux réseaux d'aces pour leur grande importance pour la création de la multi-porteuses dans les lignes de transmission optique. Les propriétés spectrales de ces réseaux, qui sont considérés comme l'une des inventions du siècle, seront étudiés en détail dans les chapitres de ce mémoire. Dans ce sens, le développement de tout projet de recherche est abordé par la modélisation et la simulation numérique [2], qui est une étape vitale, rapide, et efficace et économique vers la conception et la réalisation pratique sur

Introduction générale

le terrain. A l'état actuel, les techniques de programmation orientées-objet sont devenues des outils populaires très puissants pour l'étude de la faisabilité de tout projet de développement industriel. Donc, notre étude est théorique et pratique est basée sur la modélisation et la simulation numérique sous OPTISYSTEM.

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).

Par ailleurs, les réseaux d'accès [3] et réseaux domestiques devront répondre à des exigences d'usage telles que la mobilité, c'est-à-dire la possibilité de se connecter au réseau à partir d'un terminal mobile, sans avoir recours à un câble, ce qui assure une flexibilité et une facilité d'utilisation. L'utilisation de porteuses radiofréquences dans le domaine millimétrique (30-300 GHz) permettront dans l'avenir de transporter des flux de données suffisamment rapides ($>1\text{Gb/s}$). Mais la limite principale des ondes millimétriques est une portée utile relativement courte par rapport aux micro-ondes. Par conséquent, l'utilisation des ondes millimétriques nécessite de déployer un plus grand nombre de points d'accès radio pour assurer la couverture à très haut débit d'une même surface de référence que dans le cas des micro-ondes. Le réseau radio devient donc un réseau multicellulaire (pico-cellulaire ou femto-cellulaire).

Chapitre I

Chapitre I : Supports physiques de transmission

Introduction :

Pour transférer des informations de l'émetteur au récepteur, nous avons besoin d'un support de transmission qui les relie. Ils existent de nombreux type des supports transmissions : les supports matériels (guide avec fils ou câble) et les supports immatérielles l'air (non guide sans fils). Les supports matériels tel que : les supports métalliques à base de cuivre (les paires torsadées et les câbles coaxiaux) et non métallique comme fibre optique, les communications en l'espace libre les ondes électromagnétiques (ondes radio, ondes hertzien...) se propagent dans l'atmosphère

I.1. Le guide rectangulaire :

I.1.1. Aspect matériel [4]:

On utilise les guides d'onde pour transporter des OEM a très haute fréquence. (Au-delà de 1 GHz), essentiellement sur les parties terminales des lignes avant les antennes paraboliques (satellites ou radar) et pour transporter de fortes puissances. Leur principe découle directement de la première partie : il s'agit de "coincer" l'OEM entre deux de ses plans nodaux pour y concentrer l'énergie sans perturber son trajet.

En principe, 2 plaques métalliques en parallèle suffisent. En pratique une section rectangulaire est utilisée. [NB : On trouve également des sections circulaires].

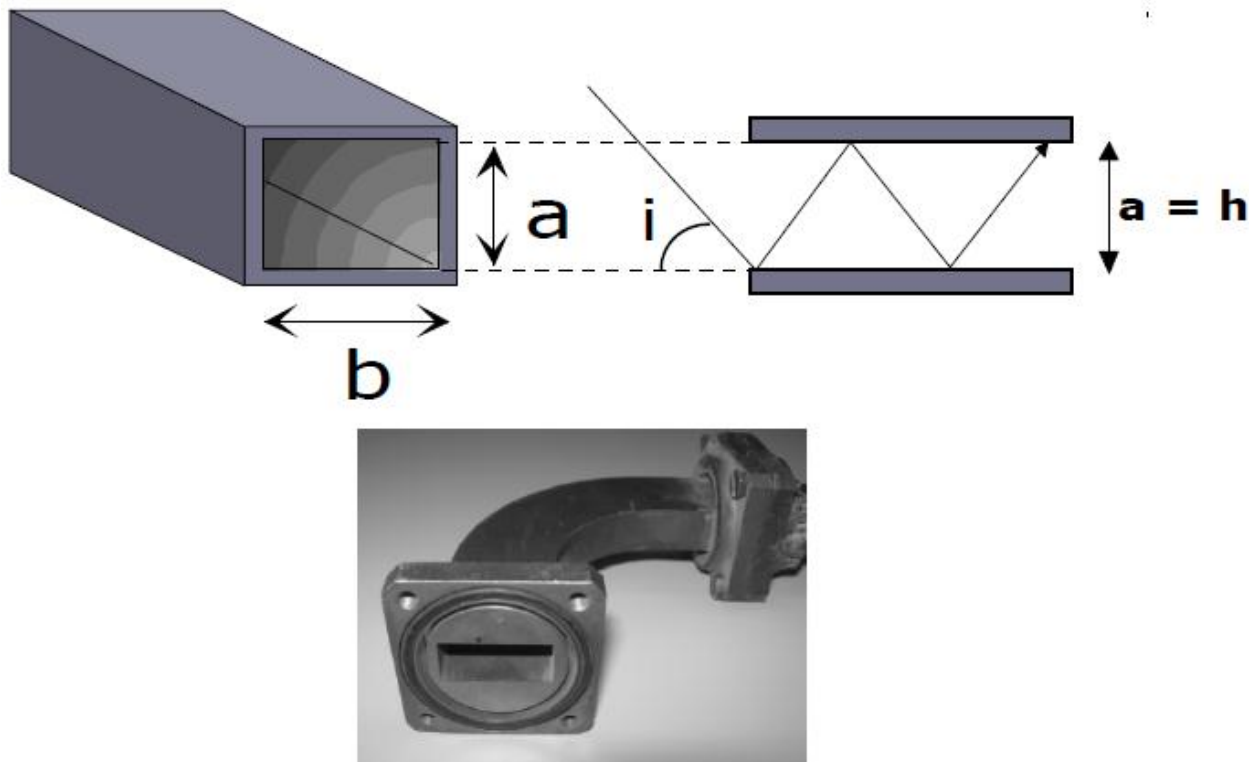


Figure I.1 : Guide d'onde rectangulaire [4]

I.1.2. Fréquence de coupure :

Un guide rectangulaire se comporte comme un filtre passe-haut.

C'est un cas particulier des supports de transmissions, les lignes métalliques étant elles des passe-bas.

Le calcul de la fréquence de coupure basse est simple et détaillé ci-dessous :

La condition sur la distance entre deux plans nodaux impose [4]:

$$a = h = \frac{\lambda}{2 \sin i} \Rightarrow \lambda = 2a \sin i$$

Le $\sin i$ étant toujours plus petit que 1, on a une valeur supérieure limite pour la longueur d'onde : $\lambda \leq 2a$ et $f \geq \frac{c_0}{2a}$

Ainsi on a pour f_c est la fréquence de coupure *basse* du guide

$$f_c = \frac{c_0}{2a} [\text{Hz}]$$

I.2. Ligne imprimée [5] :

La ligne imprimée en haute fréquence est un cas particulier de guide d'onde. On la rencontre pour la réalisation de circuits ou de fonctions SHF. A noter que les pistes de cartes PC ont des comportements similaires du point de vue du rayonnement étant données les fréquences utilisées.

I.2.1. Ligne micro-ruban [5] :

En anglais, *microstrip Line* (MSL). Cette technique est sans doute la plus utilisée en hyperfréquence aujourd'hui. La ligne de transmission est gravée sur une face de la plaquette de diélectrique (isolant) et le verso est constitué d'un plan de masse.

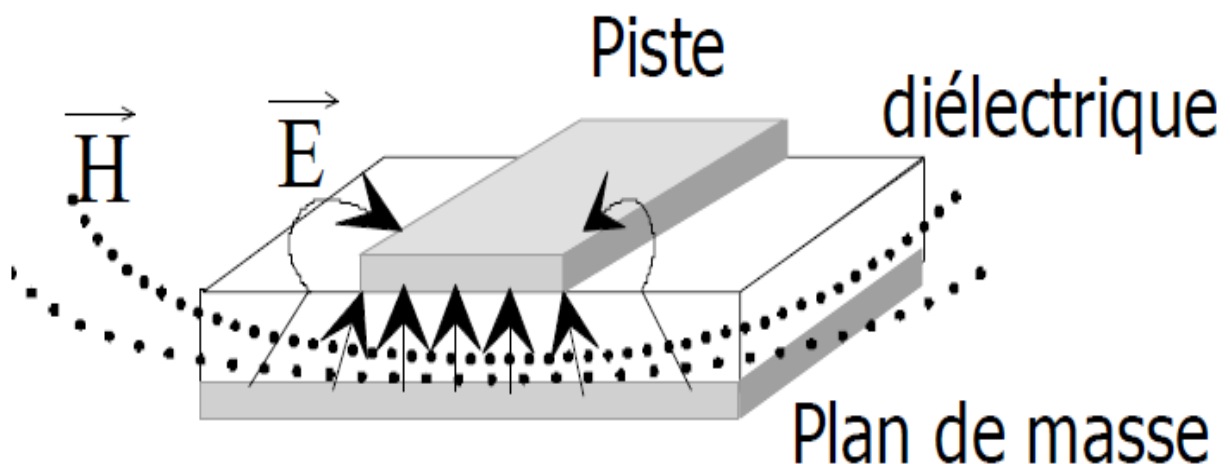


Figure I.2 : Ligne Micro-ruban [5].

La largeur de la piste influera sur l'effet capacitif et sa longueur sur l'effet inductif. Il sera ainsi possible de réaliser des opérations de filtrages et d'adaptation à l'aide de stub. D'autres parts, le rapport entre la distance piste/masse et largeur de piste permet de déterminer l'impédance de la ligne.

NB : on parle ici de mode de propagation *quasi* TEM car les lignes de champs électrique et magnétique se trouvent dans un milieu inhomogène, en partie le diélectrique et en partie l'air [5].

I.2.2. Ligne coplanaire [6]:

En anglais *coplanar stripline*. Les surfaces conductrices sont toutes deux du même côté du substrat diélectrique et la ligne de transmission est gravée entre deux plans de masse.

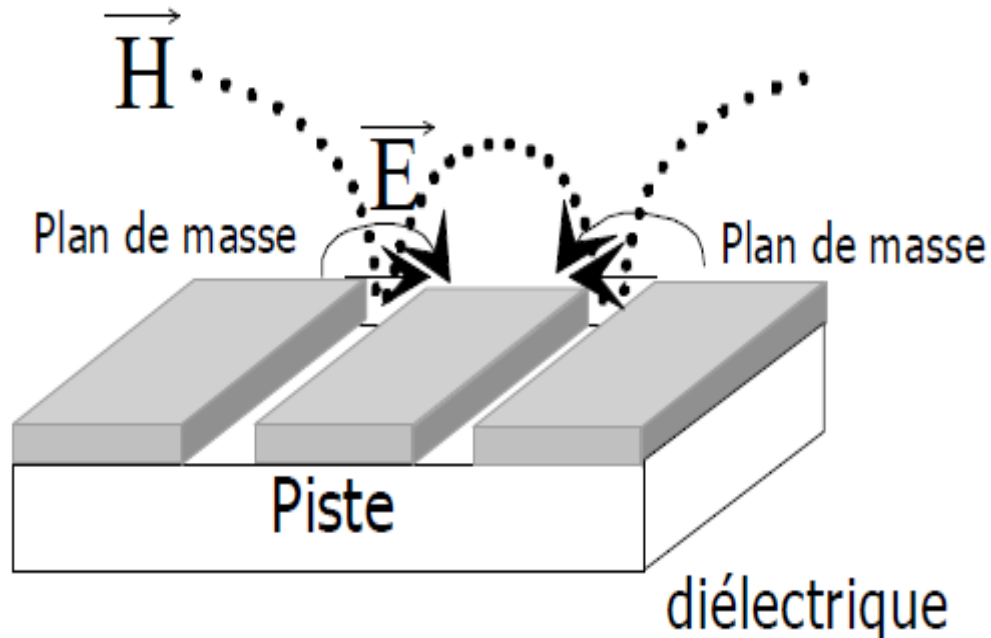


Figure I.3 : Ligne coplanaire [6].

I.2.3. La ligne tri-plaque :

Cette dernière technologie présente l'intérêt d'éviter les rayonnements hors du circuit et de présenter un mode TEM. En revanche sa réalisation technologique est plus délicate et il est beaucoup moins utilisé [6].

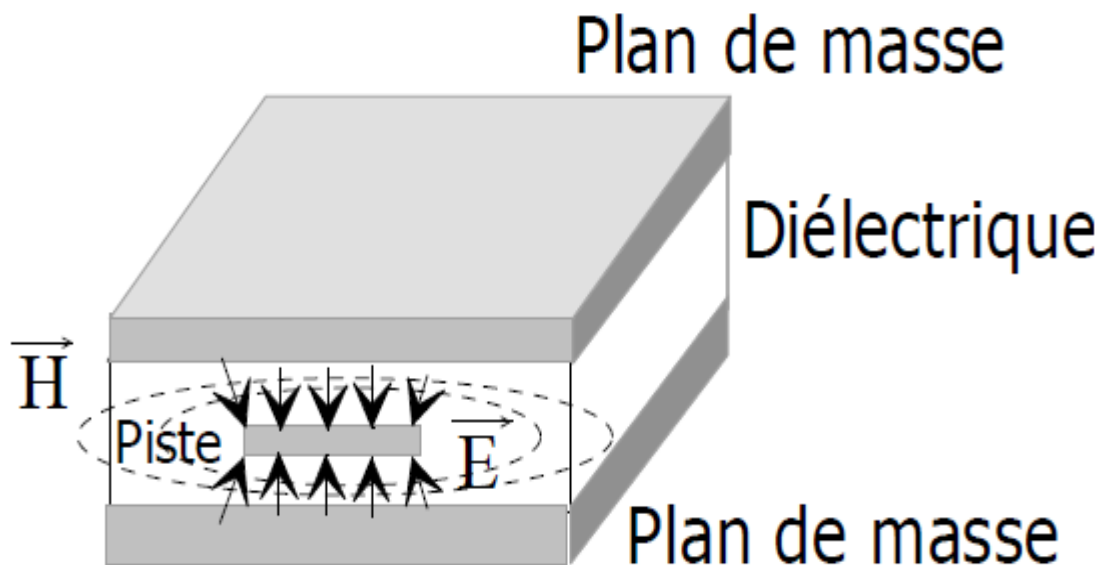


Figure I.4 : Ligne tri-plaque,[6].

I.3. Câble coaxial [7] :

C'est un type de guide particulier : on peut le considérer comme un guide rectangulaire limite dont la fréquence de coupure basse serait nulle. Il s'obtient en déformant (tordant) de manière continue un guide d'onde rectangulaire. Cette explication permet de comprendre qu'il n'y a plus de limitation quant à la fréquence de coupure basse, puisque les plans conducteurs imposant la longueur d'onde ont disparus.

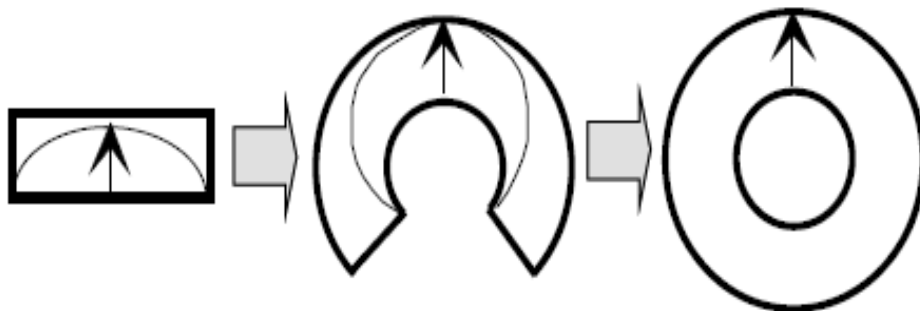


Figure I.5 : Câble coaxial [8].

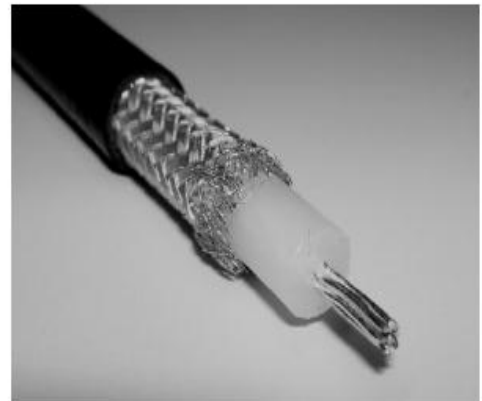
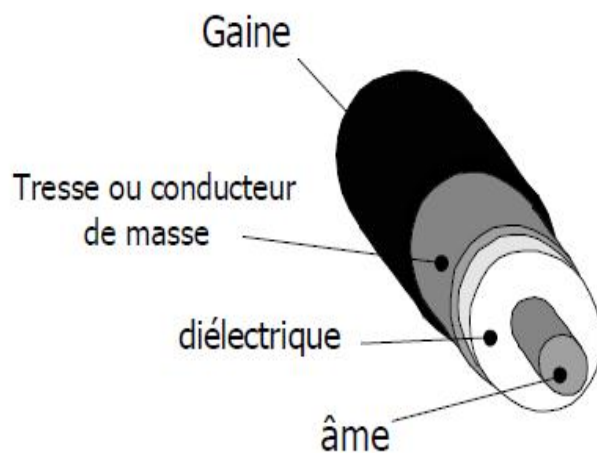


Figure I.6 : Constitution du câble coaxial [8].

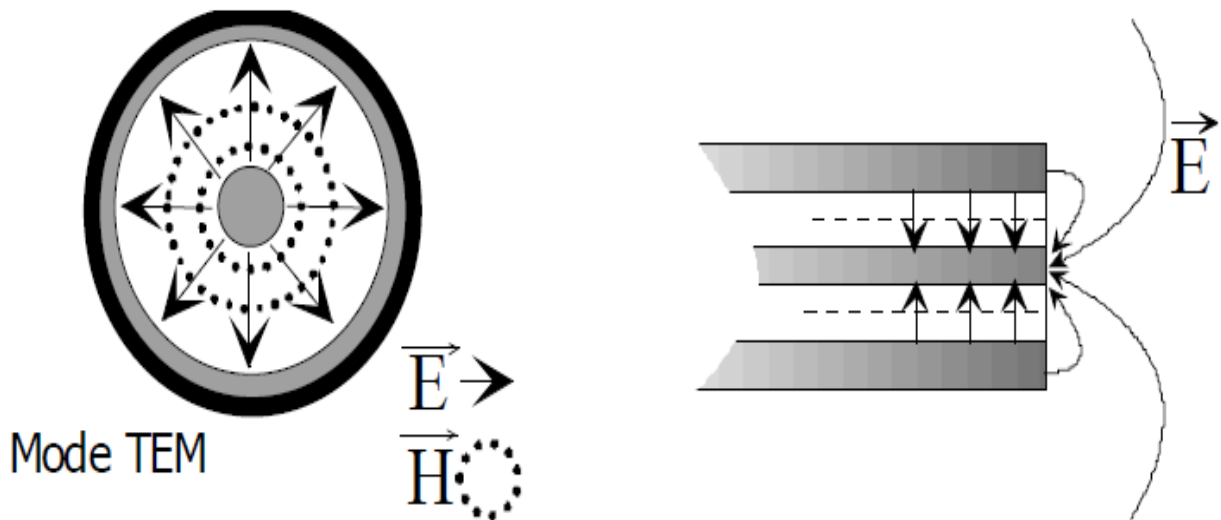


Figure I.7 : Mode TEM de propagation.

Ainsi, un câble coaxial est naturellement blindé ; c'est à dire que l'énergie électromagnétique est confinée dans le diélectrique. La tresse de masse joue le rôle d'un blindage. On notera cependant qu'il existe des câbles avec deux tresses de masse pour améliorer la protection : ce sont les câbles triaxiaux. (Cas du coaxial *Ethernet jaune*, reproduction ci-dessous). L'extrémité d'un câble coaxial sera cependant source de rayonnement, même si ceux-ci sont faibles [7].

L'impédance caractéristique d'un câble coaxial peut se calculer avec la formule :

$$Z_c = 138 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \log \frac{D}{a}$$

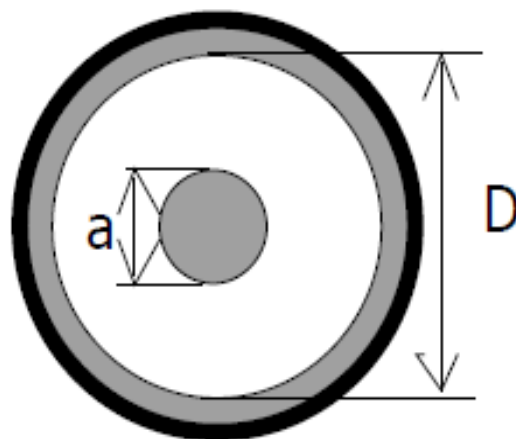


Figure I.8 : Section d'un câble coaxial[7].

Chapitre I : Supports physiques de transmission

Tableau 1 : Caractéristique de cette ligne [7]:

Paramètres linéiques	Résistance $\Omega/m.$	Capacité F/m.	Inductance H/m.
D et a en mètres f en Hz $\epsilon_r = 2,3$	$8 \cdot 10^{-8} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{D} \right) \sqrt{f}$	$\frac{2\pi\epsilon_r\mu_r}{\log\left(\frac{D}{a}\right)}$	$\frac{\mu_0}{2\pi} 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{a}\right)$
		$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{USI}$	$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{USI}$

Les valeurs les plus utilisées sont :

$Z_c = 50 \Omega$ en télécommunication

$Z_c = 75 \Omega$ en vidéo/TV

Les choix sont dus à un affaiblissement minimal pour la valeur 50Ω en télécommunication et une adaptation aisée aux antennes de types dipôles ($\sim 73 \Omega$) en V/UHF[7].

I.4. Fibre optique [9]

La fibre optique est un support d'apparition plus récente mais son utilisation prend de l'ampleur de jour en jour, car elle permet des débits de plusieurs Gbit/s sur de très longues distances. Elle est particulièrement adaptée à l'interconnexion des réseaux. En plus de ses capacités de transmission, ses grands avantages sont son immunité aux interférences électromagnétiques et sa plus grande difficulté d'écoute, contrairement aux supports électriques, ce qui la rend attrayante dans les contextes où la confidentialité est requise.

Les avantages que la fibre optique procure peuvent être présentés par la performance de transmission, l'avantage de mise en œuvre, la sécurité électrique, la sécurité électromagnétique et l'avantage économique.

La fibre optique est un guide d'onde diélectrique constitué essentiellement de silice fondue (SiO_2). De manière générale et schématique, la Figure I.8-(a) en illustre la structure grâce à un développement en trois dimensions. La fibre optique est constituée d'un cœur cylindrique ayant le diamètre a de quelques μm , et d'indice optique n_c . Une gaine extérieure de diamètre plus élevé b et d'indice n_g , enrobe le cœur tandis qu'une gaine plastique de protection enveloppe le tout. Le guidage de la lumière dans le cœur de la fibre est assuré par réflexion totale à l'interface cœur-gaine et est obtenu lorsque l'indice de réfraction du cœur est supérieur à celui de la gaine optique. Le cœur et la gaine étant principalement constitués de silice fondue, la différence d'indice entre ces deux parties est obtenue par adjonction de dopants. Le Germanium ou le Phosphore permettent, par exemple, d'augmenter l'indice de la silice fondue et seront donc introduits dans la partie centrale de la fibre tandis que l'addition de Fluor qui permet de diminuer l'indice du verre, sera préférentiellement employée pour former la gaine.

La Figure I.8-(b) montre, par exemple, l'évolution du profil d'indice sur une section transverse d'une fibre optique dite (à saut d'indice). L'indice est constant et homogène dans le cœur et la gaine de la fibre mais varie de manière discontinue à leur interface. Ces fibres se distinguent de

Chapitre I : Supports physiques de transmission

celles dites (à gradient d'indice) dans lesquelles, l'indice décroît de manière continue du centre jusqu'à l'interface cœur-gaine.

Pour des fibres à saut d'indice, qui sont les fibres les plus répandues dans le domaine des Télécoms, le guidage est obtenu pour une différence d'indice entre le cœur et la gaine aussi petite que $\sim 10^{-3}$ [7].

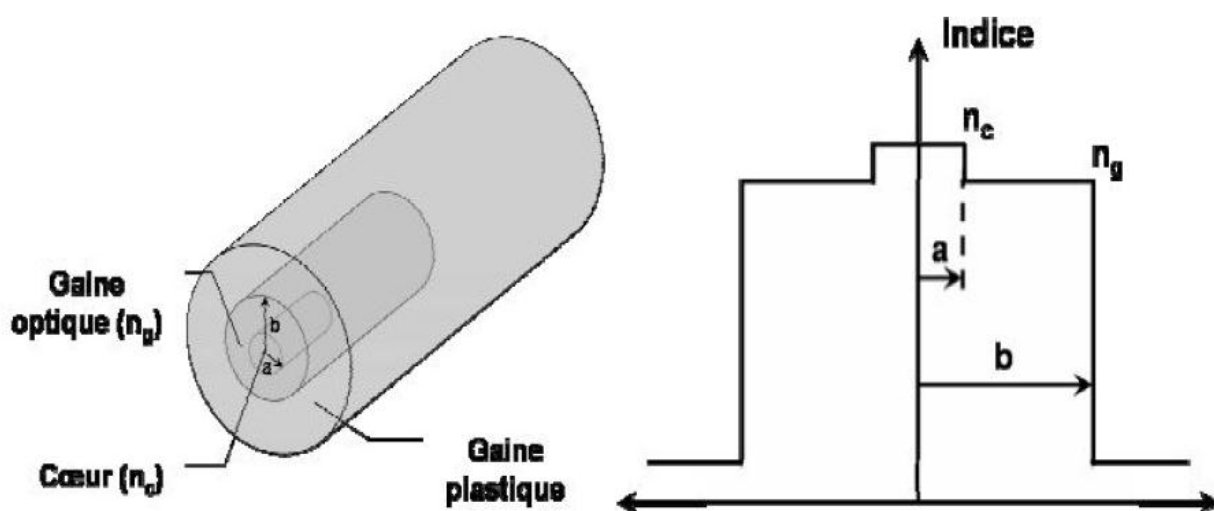


Figure I.9 : (a) La structure de la fibre, (b) L'évolution du profil de la fibre [9].

I.4.1. 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. 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 [9].

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, dû 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. 9). 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 : après 100 km de propagation, il restera

Chapitre I : Supports physiques de transmission

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 :

$$P_T = P_0 \exp(-\alpha_L \cdot L)$$

Où α_L est le coefficient d'atténuation linéaire. On utilise souvent le coefficient α_{dB} exprimé en dB/km et relié à α_L par l'expression [9] :

$$\alpha_{dB} = -\frac{10}{L} \log \left[\frac{P_T}{P_0} \right]$$

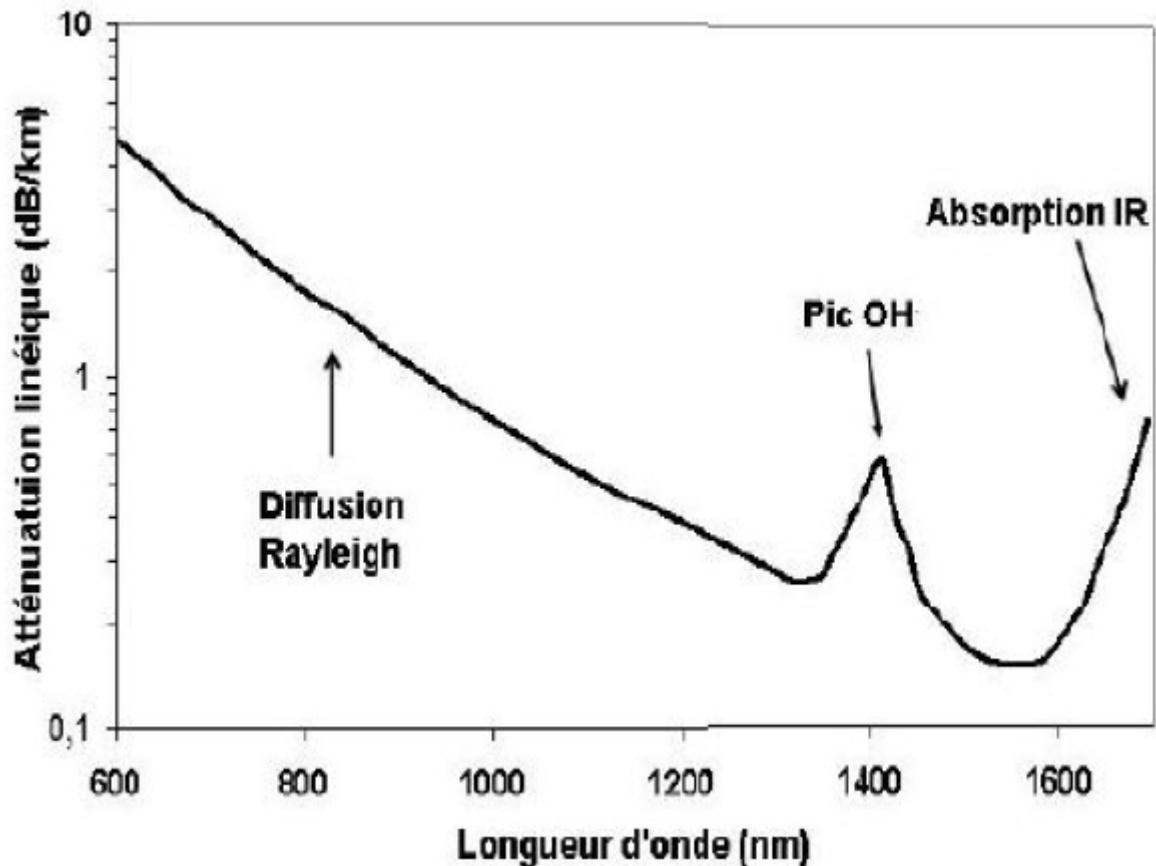


Figure I.10 : Représentation schématique de l'évolution de l'atténuation d'une fibre optique en fonction de la longueur d'onde.

On constate dans la Figure I.9, que les pertes intrinsèques atteignent un minimum de $0,21 \text{ dB.km}^{-1}$ autour de la longueur d'onde 1550 nm qui a donc été choisie pour transmettre les informations sur de longues distances.

I.4.2. 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

Chapitre I : Supports physiques de transmission

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.

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.

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_2 , en (en ps.nm⁻¹.km⁻¹).

$$D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2$$

Ou β_2 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.

I.5. Ether (L'atmosphère) [10] :

Dans le domaine grand public les applications les plus courantes de la transmission sans fil incluent les téléphones portables, les GPS, les souris et les claviers d'ordinateur, les réseaux informatiques étendus (les WAN), les casques audio, les récepteurs radio et la télévision numérique terrestre et par satellite.

Dans le domaine professionnel les applications concernent les communications maritimes et aériennes, celles des services de sécurité et des armées, les liaisons entre satellites et installations à terre, les télécommandes RF civiles et militaires, les transmissions vidéo et bien d'autres usages.

Dans certaines gammes de fréquences (micro-ondes et radiofréquences faisant partie des rayonnements non ionisants, leurs effets biologiques et environnementaux, à certaines fréquences et intensités sont très discutés, en raison des résultats contradictoires de nombreuses études entreprises en lien avec le développement des communications sans fil et de la 5G).

Les émetteurs, les récepteurs ainsi que les programmes qui permettraient de recevoir les émissions diffusées par les ondes radio.

I.5.1. Structure [10]:

L'atmosphère représente la couche de gaz entourant la terre. Elle se compose de différentes épaisseurs possédant des particularités et des propriétés diverses tant sur le plan de l'épaisseur, de la température et de la composition :

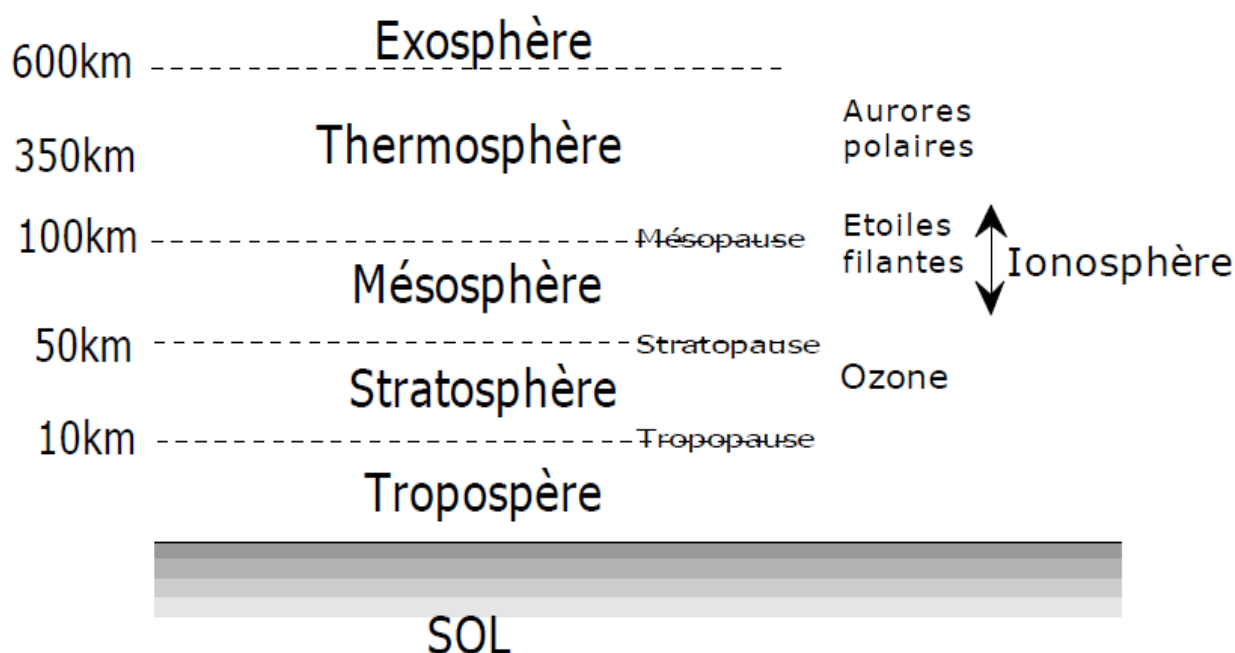


Figure I.11 : Structure de l'atmosphère[10].

I.5.2. Troposphère (0 à 10 Km) [11]:

Cette couche représente environ trois quart de la masse de l'atmosphère. Elle se compose d'oxygène dans une proportion voisine de la composition de l'air, d'azote, de gaz rares, de gaz carbonique, mais aussi d'eau entre 0.1 et 5%, par volume, localement et sous n'importe quels états.

Son épaisseur varie globalement entre 17 km à l'équateur et 7 km aux pôles et, localement, suivant les variations climatiques car elle est soumise à de violents courants d'air engendrés par la différence de température (10° au sol, -55° à 12 Km).

I.5.3. Stratosphère (10 à 50 Km) [11]:

Elle se situe entre la tropopause et la stratopause, comme la troposphère, elle héberge de puissants courants « d'air ». Elle contient la majeure partie de la couche d'ozone. Le gradient de température augmente continuellement dans cette couche depuis -60°C à 20km à 0°C vers 50km.

I.5.4. Mésosphère (50 à 100 Km) [11] :

Zone où brûlent les météorites. La température y décroît à nouveau jusqu'à -80°C.

I.5.5. Thermosphère (100 à 600 Km) [11] :

La température y augmente à nouveau, mais avec très peu d'aire et de pression. C'est dans cette couche qu'orbite l'ISS et les satellites en orbite basse (LEO).

I.5.6. Exosphère (plus de 600 Km) [11] :

Cette dernière couche n'est pas très bien définie, mais de par son altitude, sa composition semble proche du vide. Elle comprend en partie des sous couches dont la magnétosphère et ses

Chapitre I : Supports physiques de transmission

propriétés permettent de protéger le sol des rayonnements solaires très énergétiques. Elles piègent en particulier des particules dans les ceintures de Van Allen qui jouent un rôle dans l'étude des orbites satellites (MEO et GEO).

I.6. Ionosphère [11] :

I.6.1. Ionisation [11] :

L'ionosphère s'étend de 50 à 400 km environ (à cheval sur la mésosphère et la thermosphère), et présente de nombreuses propriétés de conduction électrique.

Les processus qui provoquent l'ionisation de la haute atmosphère sont par ordre d'importance décroissante :

- le rayonnement ultraviolet et X en provenance du soleil,
- le rayonnement corpusculaire du soleil,
- les traînées de météorites.

Le Soleil joue donc le rôle principal et, par suite, les caractéristiques de l'ionosphère varient surtout à son rythme (jour/nuit, été/hiver, cycle de 11 ans, ...). La densité d'électrons libres (dont l'action est prépondérante sur celle des ions car leur inertie est plus faible) résulte d'un équilibre entre le processus de création d'électrons libres et celui de recombinaison entre ceux-ci et les atomes ionisés (ions).

Lorsqu'un rayonnement UV ou X pénètre dans l'atmosphère, il rencontre des couches de plus en plus denses, ce qui tendrait à faire augmenter le taux de production d'électrons libres. Mais l'intensité du rayonnement décroît à cause de l'absorption. Il existe donc une altitude où le taux de production d'électrons libres est maximal.

Le rayonnement corpusculaire qui constitue le vent solaire peut provoquer des ionisations par collisions mais son influence est surtout limitée à la haute atmosphère dans les régions polaires. En effet, les lignes de force du champ magnétique terrestre, presque verticales, n'empêchent pas les particules chargées de pénétrer dans l'atmosphère.

Les traînées ionisées météoriques sont le plus fréquemment produites par des particules de faible masse (0,1 mg) aux altitudes de l'ordre de 100 km. Elles ont une vie individuelle très courte (quelques secondes).

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre, les différents types de supports physiques de transmission, et les propriétés de chaque support, nous concluons que l'espace libre (FSO) est le meilleur support car il a la plus grande bande passante... pour transmettre le plus grand nombre de données sans fil.

CHAPITRE II

Introduction :

Le LASER est un procédé d'amplification de la lumière, défini en anglais par Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. L'amplification de la lumière par émission stimulée de photons produit une lumière qui est monochromatique, directionnelle, cohérente et de haute intensité. Différentes sortes de lasers existent. Ils comprennent tous trois éléments nécessaires qui sont : le milieu émetteur, l'excitation et l'amplification.

Parmi ces lasers nous distinguons le laser à semi-conducteur ou la diode laser [12].

II. 1 Définition de la diode laser à semi-conducteur :

La diode laser à semi-conducteur émet de la lumière monochromatique cohérente (une puissance optique) destinée, entre autres, à transporter un signal contenant des informations sur de longues distances (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 Fibre Amplifier).

Les diodes lasers sont utilisées dans plusieurs domaines, particulièrement dans :

- 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.

II. 2. Principe de fonctionnement :

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 (courant électrique).

La diode laser est un composant similaire à la diode électroluminescente, car elle est constituée d'une jonction p-n réalisée sur des matériaux à gap direct avec une région active où les porteurs injectés, par forte polarisation directe de la diode, se recombinent de façon radiative, produisant une lumière cohérente issue d'émissions stimulées de photons. Une telle diode laser s'appelle laser à homo-jonction, sa structure de base est représentée sur (la figure II. 1). Son faisceau lumineux de sortie est latéral. Il est très directif et de fréquence très précise.

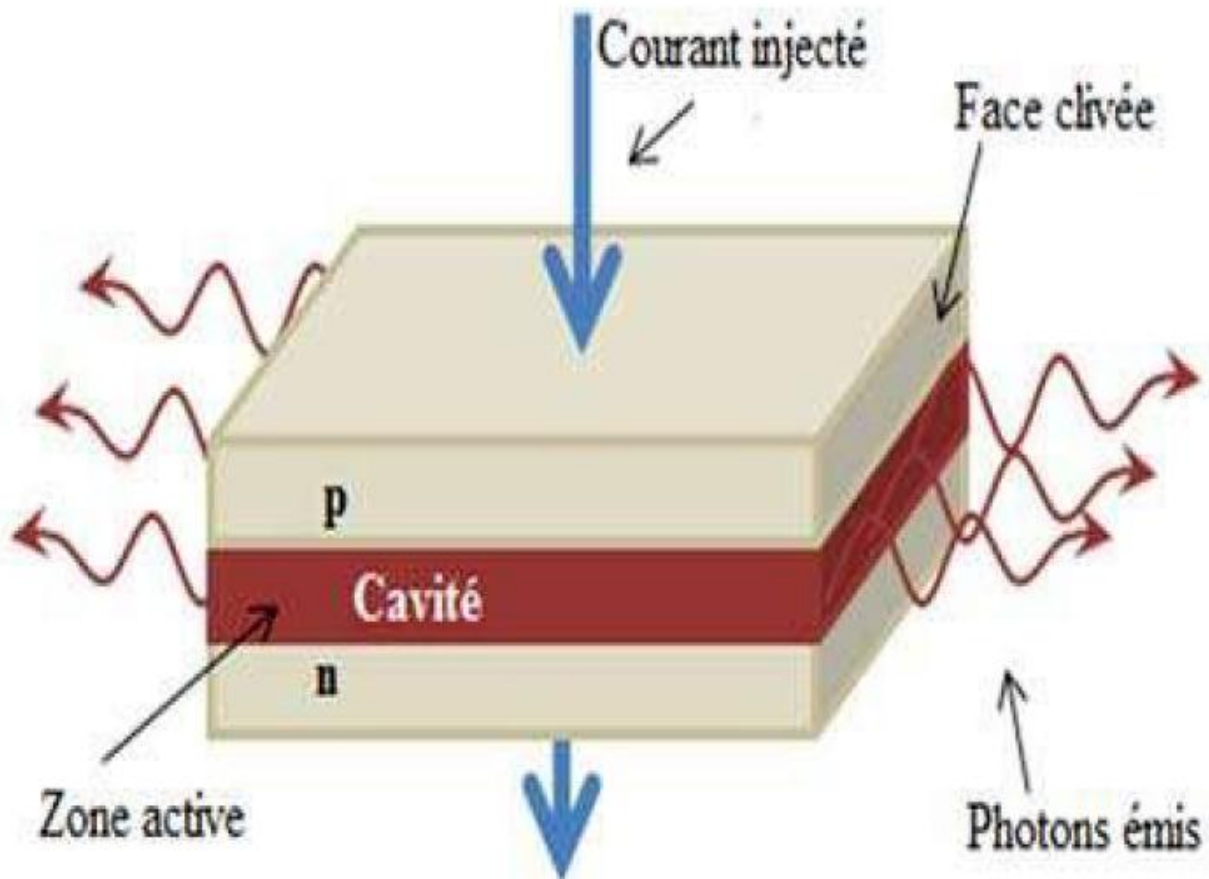


Figure II. 1 : Structure de base d'une diode laser.

La région active de la diode, comprise entre les régions n et p, est quasi neutre. Elle est équivalente à une cavité optique résonnante (Fabry- Pérot cavité) qui consiste en un guide d'ondes délimité par deux faces clivées perpendiculairement au plan de la jonction qui forment deux miroirs semi-transparents de facteurs de réflexion R_1 et R_2 (La figure II. 2), le clivage consistant à réaliser une cassure nette et parallèle à un plan réticulaire. Les autres côtés de la structure sont rugueux pour éviter des réflexions sur les autres faces de la structure [12].

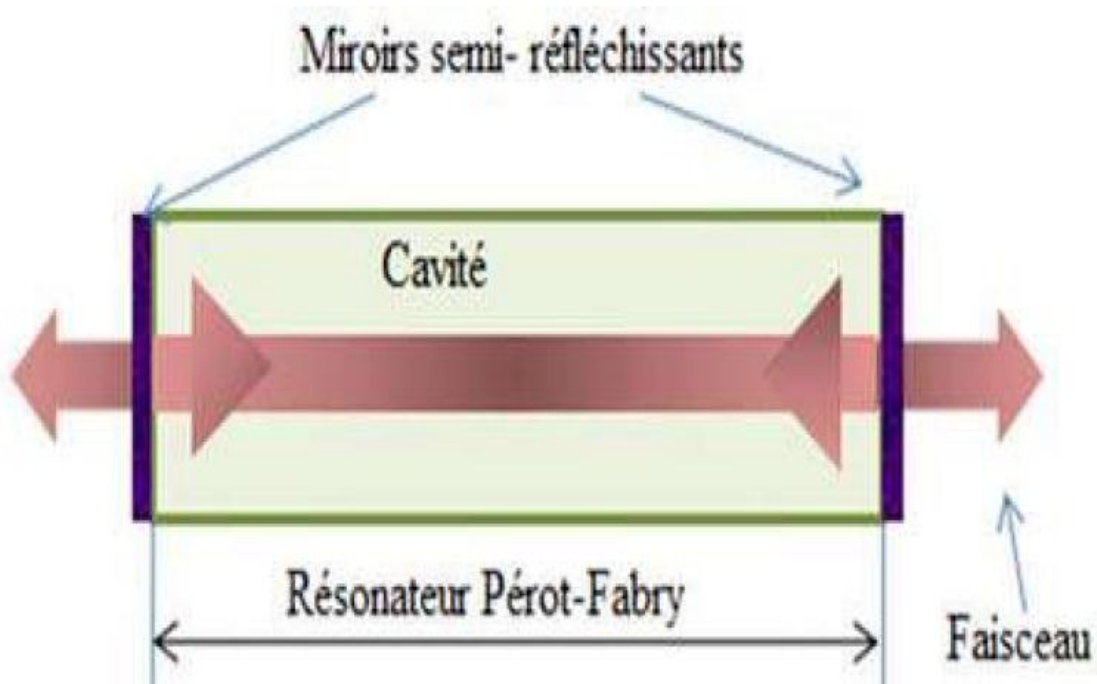


Figure II. 2 Cavité optique de la diode laser.

- La longueur L de cette cavité résonante est un multiple entier de la demi longueur d'onde des photons créés par émission stimulée.
 $L = m \cdot \lambda / 2$, avec m est un entier égal à 1, 2, 3, 4, ...
- L'épaisseur d de la zone active est limitée par la longueur de diffusion des Porteurs.
- Les dimensions types de la diode à homo-jonction ont :
 L : longueur de la diode : 200-500 μm .
 l : largeur de la diode : 100-300 μm .
 d : épaisseur zone active (au voisinage de la jonction) : 0.1-0.3 μm [12].

II. 2. 1. Fonctionnement électrique d'une diode laser :

Electriquement, une diode laser s'alimente comme une LED. Comme toute diode, elle est polarisée. Le courant qui circule dans la diode laser doit être maîtrisé avec une beaucoup plus grande précision que pour une LED. En effet, une pointe de courant, même très brève, ou une décharge d'électricité statique sont fatales à une diode laser. En tension inverse, une diode laser ne supporte que 2 ou 3V, donc attention à la polarité.

Comme une LED, la caractéristique courant-tension fait qu'il s'établit une tension aux bornes de la diode laser qui varie assez peu avec le courant. La diode laser doit donc être contrôlée en courant [13].



Figure II. 3 Diode laser rouge 300mW 650nm.

II. 3. Matériaux utilisés pour les diodes laser :

La longueur d'onde de la lumière émise d'une diode laser est directement liée au matériau de la région active, région où a lieu le maximum d'émissions stimulées. Elle est une fonction de la largeur de la bande interdite et est déterminée par la concentration de dopants et la configuration de la zone active. Ainsi, Les mêmes types de matériaux et alliages utilisés pour les LED sont aussi utilisés pour les diodes laser.

- Les diodes Laser actuelles sont à hétérojonctions et à base d'alliages ternaires. (exemple : GaAlAs) et quaternaires (exemple : GaInAsP).
- Ainsi en variant la fraction x d'aluminium dans le mélange $Ga_{1-x}Al_xAs$, une jonction pn au GaAlAs peut émettre de 750 nm à 900 nm. L'InGaAsP est principalement utilisé pour la fabrication de composants qui émettent vers 1300 nm et 1550 nm.
- L'InGaAlP est utilisé pour les lasers à semi-conducteurs dans la plage visible à partir de 630 nm. Ces lasers sont adaptés pour la transmission de données avec des fibres plastiques synthétiques. Par exemple pour les scanners de codes à barres [12].

II. 4. Caractéristiques :

II. 4.1. Caractéristiques puissance-courant :

La caractéristique d'une diode Laser ressemble à celle d'une diode normale.

En dessous d'une valeur d'intensité seuil, la diode est absorbante, au-delà, l'émission stimulée est proportionnelle à l'intensité du courant électrique [12].

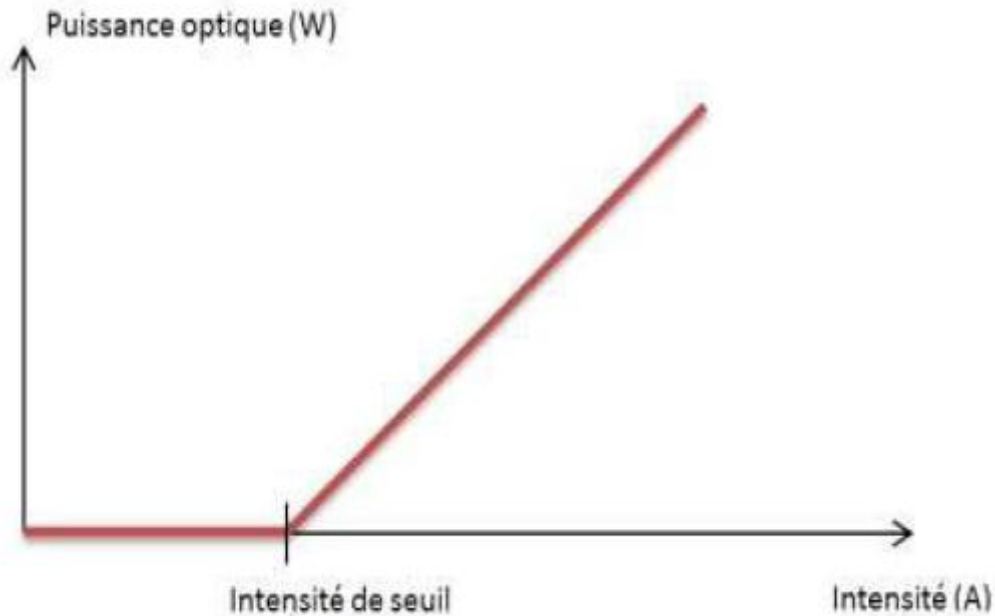


Figure II. 4 Caractéristique d'une diode laser

- Lorsqu'un faible courant lui est appliqué, l'émission stimulée ainsi que les recombinaisons Auger sont négligeables, une diode Laser émet de la même manière qu'une LED. La puissance de rayonnement émis est proportionnelle au courant de polarisation. L'inversion de population n'a encore pas lieu.
- Lorsque le courant qui traverse la jonction devient supérieur au courant seuil, l'inversion de population a lieu. Les photons émis vont générer des photons cohérents qui vont atteindre les faces clivées du laser en se multipliant par émission stimulée.

Les courants seuils typiques varient de 1 à 20 – 25 mA et les puissances émises sont de l'ordre de 15 à 25 mJ pour un courant de 100 mA [12].

II. 4.2. Rendement quantique différentiel externe de la diode :

- Le rendement différentiel de la diode laser représente la pente de la caractéristique P (I), dans la région de fonctionnement normal. C'est le rapport entre la puissance optique émise et la puissance électrique absorbée $\Delta P(W) / \Delta I(A)$. Il est de l'ordre de 100 à 200 mW/A.
- Le rendement quantique différentiel externe est déduit de ce rendement différentiel. Il est donné par :

$$\eta = 2 \frac{\Delta P}{\Delta I} \frac{e}{h\nu} = \frac{2}{E_g(\text{eV})} \frac{\Delta P(W)}{\Delta I(A)}$$

- Il est de l'ordre de 60 %
- Le facteur 2 résulte de l'existence de deux faces émettrices [12].

II. 4.3. Dépendance de la température :

La caractéristique électrique d'une diode laser dépend de la température de la diode.

La température modifie l'intensité de seuil et translate donc la caractéristique. Le courant de seuil augmente rapidement avec la température. A même puissance lumineuse, la puissance électrique

Chapitre II : Types de diodes Laser et principe de fonctionnement

dissipée dans le laser augmente. Ce décalage du courant de seuil est dû à la dépendance à la température de la concentration de porteurs dans la couche active et également à la possibilité d'augmentation des processus de recombinaisons non radiatives.

- Le courant seuil varie, avec la température, suivant la loi :

$$I_s(T) = I_{s0} \exp \frac{T}{T_0}$$

Où T_0 est la température caractéristique de la diode. Sa valeur varie de 120 à 230 K.

Pour les diodes laser à base de GaAlAs et de 60 à 80 K pour les lasers à base de GaInAsP. I_{s0} est le courant de seuil.

- L'expression montre que la réaction de la diode laser aux changements de température est d'autant plus importante que la température caractéristique T_0 est faible.
- Pour une bonne fiabilité avec conservation d'une puissance lumineuse optimale, il est nécessaire de réguler en température la diode [12].

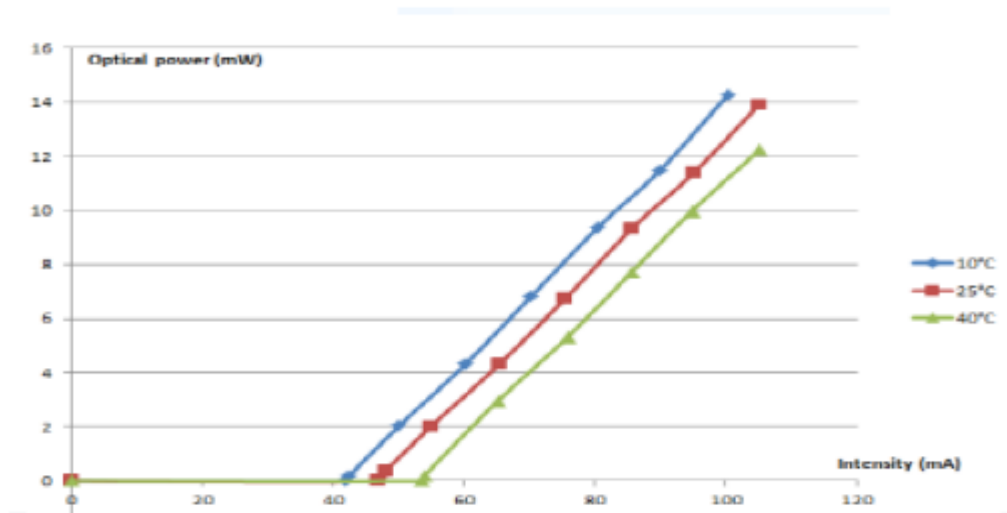


Figure II. 5 Exemple d'évolution de la caractéristique d'une diode laser avec la température

II. 4.4. Distribution spectrale du rayonnement :

Le spectre optique, des cavités Fabry-Pérot, composé d'un ensemble de raies spectrales individuelles avec un espacement régulier $\Delta\lambda$ appelées aussi modes longitudinaux (figure II. 5). La largeur spectrale de chaque raie dépend de nombreux facteurs, en particulier de la puissance de la diode laser. Ces raies sont comprises à l'intérieur d'une enveloppe plus large appelée courbe de gain [12].

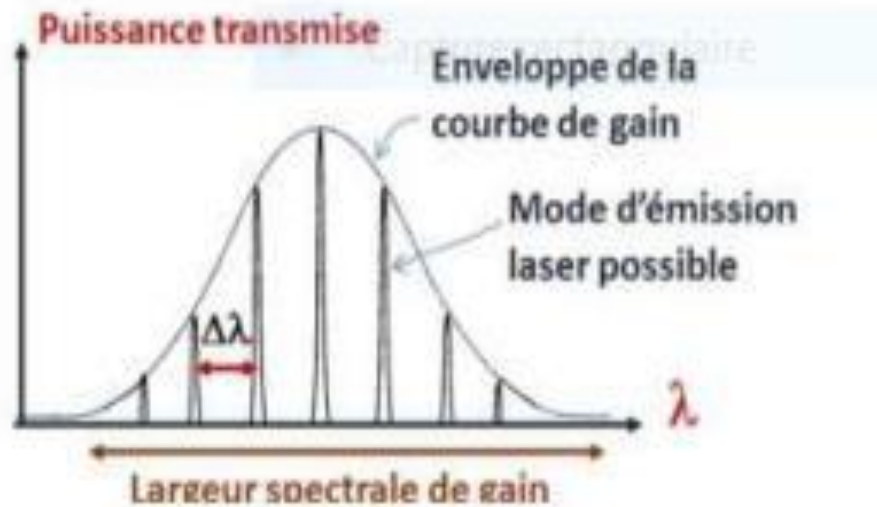


Figure II. 6 Spectre d'émission d'une diode laser.

Le spectre d'émission de la diode laser est conditionné par le gain de la cavité, donc par le courant de seuil. La répartition des modes varie avec le courant de polarisation et présente un décalage vers les longueurs d'onde les plus élevées quand le courant augmente.

Ainsi, comme le montre la figure II. 6, lorsque :

- $I < I_s$: on obtient un spectre continu à forme parabolique avec $\Delta\lambda \approx 20$ nm. Avec une puissance optique émise proportionnelle au taux de recombinaisons spontanées.
- $I \approx I_s$: l'intensité lumineuse croît rapidement faisant apparaître une série de modes séparés de quelques Å.
- $I > I_s$: La cavité résonne sur plusieurs modes avec concentration de la lumière sur le mode principal.

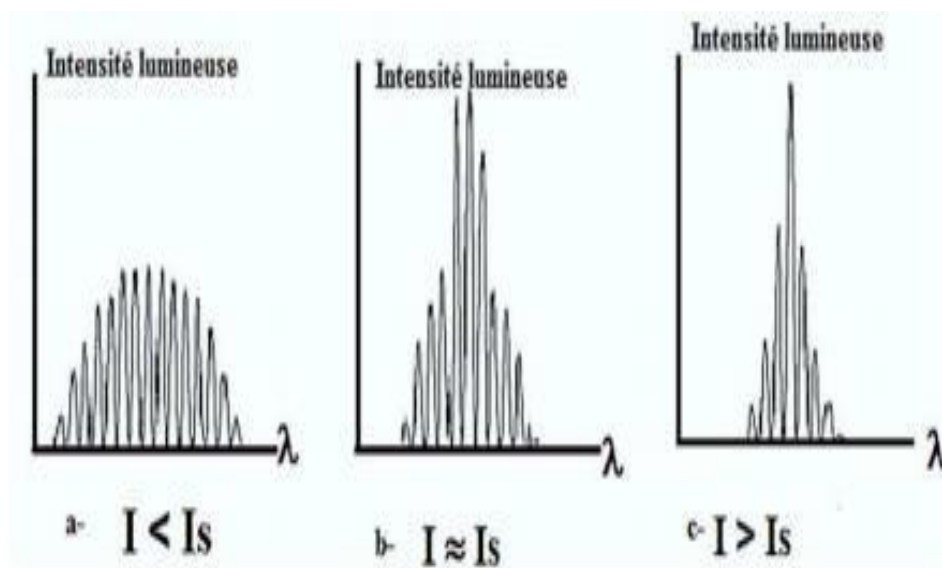


Figure II. 7 Evolution du spectre d'émission d'une diode laser avec le courant de polarisation

Chapitre II : Types de diodes Laser et principe de fonctionnement

Dans certaines conditions la largeur de raie peut n'autoriser qu'un seul mode à $I = I_s$, l'émission de la diode est alors monomode. On distingue alors deux types de diodes lasers :

- Les diodes lasers multimodes : plusieurs modes d'oscillation. Moins coûteuses.
- Les diodes lasers monomodes : un seul mode d'oscillation. Plus performantes mais aussi plus coûteuses.

II. 5. Type des Lasers :

II. 5. 1. Double hétéro-structure :

En microélectronique, une double hétéro-structure consiste en la juxtaposition de deux hétéro-structures. Elle présente un intérêt tout particulier pour la réalisation de sources laser à semi-conducteur.

Dans le cadre des homo-jonctions n-p, du fait de l'absence de confinement des porteurs, on observe un rendement faible et courant de seuil élevé de quelques kA/cm².

En utilisant une double hétérojonction avec une succession de zones n, p, n. La zone P est définie comme la zone active (ZA). Cette zone active est caractérisée par un domaine favorisant la recombinaison des paires électrons-trous.

En choisissant judicieusement la composition des alliages, on assure dans la zone P un confinement électronique des porteurs et un confinement optique des photons par la variation d'indice au niveau des jonctions n-p.

Il existe six familles de laser différentes, classifiées selon la nature du milieu excité.

Les lasers peuvent émettre une lumière continue ou impulsionnelle tel que les lasers femto-seconde (fréquence d'impulsion de 10-12 secondes). La fréquence des impulsions est tellement élevée qu'ils paraissent continus à l'œil [12].

II. 5. 2. Laser à Gaz :

Le milieu laser est un gaz atomique ou moléculaire placé dans un tube en verre ou en quartz. Le faisceau obtenu est très resserré et les fréquences d'émissions peu étendues.

Le laser hélium-néon (rouge 632.8 nm) est très utilisé dans le bâtiment-travaux publics pour les alignements et mesures, ainsi que dans les lasers de spectacle.

Le laser CO₂ est capable de libérer beaucoup d'énergie (en utilisation impulsionnelle) et est très utilisé pour le marquage, la gravure et la découpe de matériaux [14].



Figure II. 8 Diode laser à gaz

II. 5. 3. Cristallins :

A la différence des lasers à gaz, le milieu laser est solide, tels que des cristaux ou du verre. Pour que le solide devienne un milieu laser, celui-ci est dopé (ajout d'une impureté) à l'aide d'un ion. La longueur d'onde du laser dépend surtout de l'ion, même si le milieu solide a lui aussi un peu d'influence.

Ces lasers sont énergétiques et sont utilisés dans la soudure, le marquage et la découpe de matériaux [14].

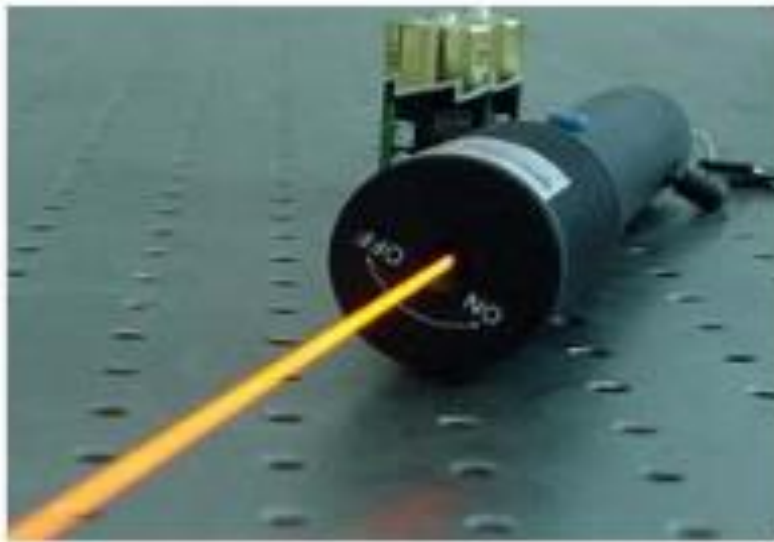


Figure II. 9 Diode Laser cristallin

Chapitre II : Types de diodes Laser et principe de fonctionnement

II. 5. 4. Laser à fibre :

Ce type de milieu laser est similaire à un laser cristallin. La fibre optique est dopée avec des ions de terres rares. De la même manière que les lasers solides, la longueur d'onde dépend de l'ion. Ce milieu laser est relativement récent et est avantageusement moins coûteux, prend peu de place et selon l'énergie produite ne nécessite pas obligatoirement de refroidissement [14].



Figure II. 10 Diode laser à fibre

II. 5. 5. Laser à colorant moléculaires :

Un colorant moléculaire en solution liquide est prisonnier d'une fiole en verre. La longueur d'onde d'un tel laser peut être affinée à l'aide d'un prisme. Ceci permet une grande précision du laser. C'est le choix du colorant qui détermine principalement la couleur du laser [14].



Figure II.11 Diode Laser à colorant moléculaire

Chapitre II : Types de diodes Laser et principe de fonctionnement

II. 5. 6. Diode laser :

C'est ce type de laser que l'on retrouve en majorité dans l'industrie. Il est basé sur la technologie des semi-conducteurs.

Ce type de laser ne nécessite pas de milieu laser volumineux, les appareils peuvent donc être extrêmement compacts. C'est par exemple la technologie utilisée pour les pointeurs laser. Ils sont également peu coûteux. La lumière rouge est la plus courante même si de nombreuses longueurs d'ondes peuvent être produites avec cette méthode.

La diode laser est très utilisée dans les télécommunications et lecture optique. Elle a cependant une précision moindre que la plupart des autres types de laser, mais reste très adaptées pour de nombreuses applications [14].

II. 5. 7. Laser à électrons libres :

Ce ne sont pas des lasers classiques. Au lieu d'utiliser le rayonnement issu de la désexcitation d'atome, il utilise le rayonnement produit par l'accélération d'électrons. Ce type de laser ne peut exister qu'au contact d'un accélérateur de particules, tel que SOLEIL à Saclay en région parisienne ou au CERN non loin de Genève [14].

II. 6. Laser et sécurité :

Certains lasers émettent un faisceau lumineux extrêmement énergétique pouvant provoquer des brûlures, de la rétine voire de la peau [14].

CHAPITRE III

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) [15].

L'objectif des télécommunications optiques consiste à effectuer la transmission des informations à des débits très élevés [16].

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 [15, 16].

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).

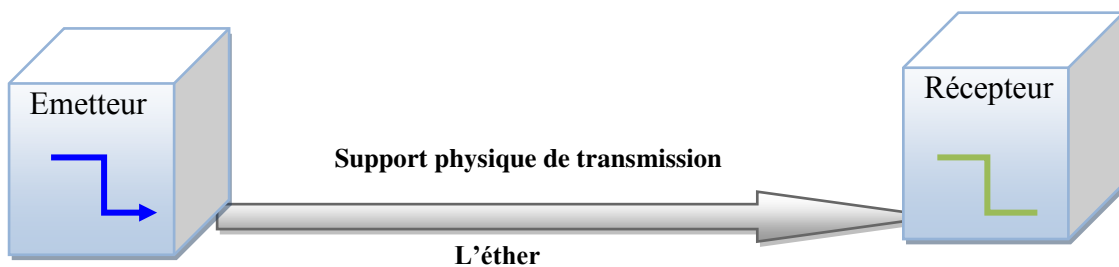


Figure III. 1 : Liaison optique entre deux points

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).

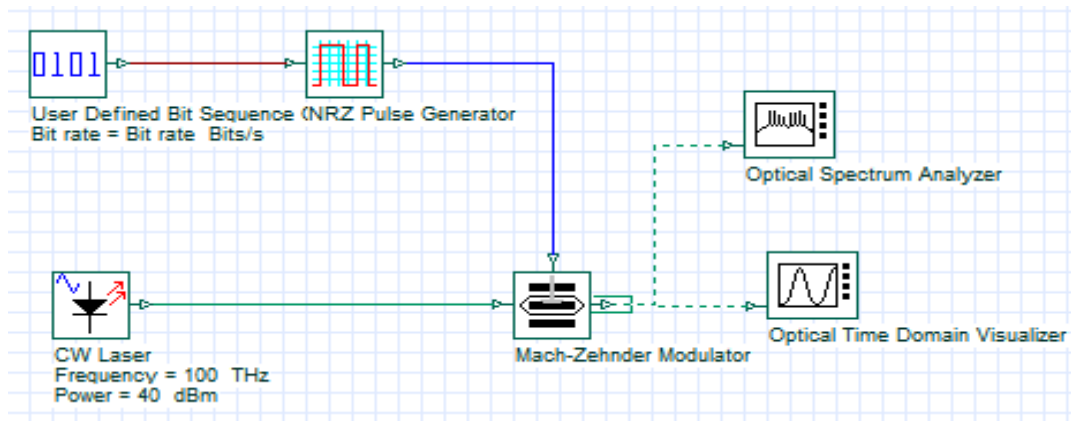


Figure III. 2 : Emetteur optique.

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 [17].

Le modulateur Mach-Zehnder est un composant optoélectronique pour la modulation d'amplitude [18].

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 l'espace libre (l'éther), qui permet la propagation des ondes électromagnétiques entre deux points A et B (voir figure III. 3).

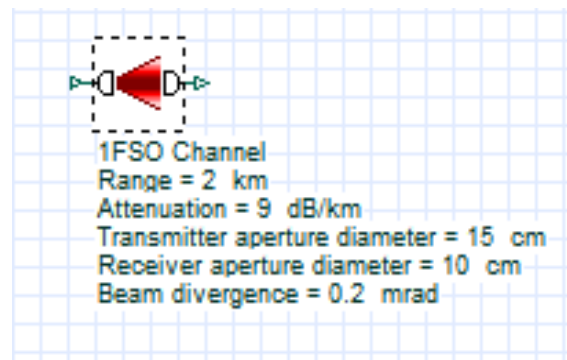


Figure III. 3 : L'espace libre (l'éther).

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) :

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) [19].

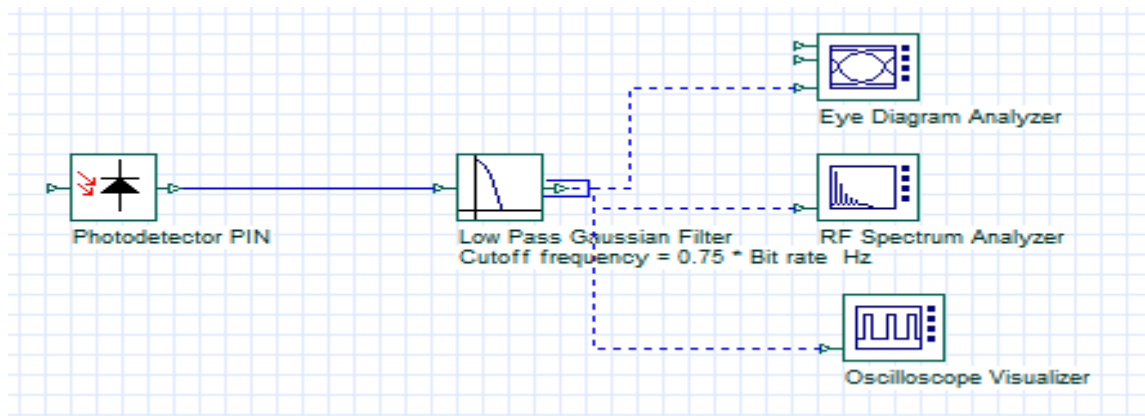


Figure III. 4 : Module de réception.

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) [20].

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 coûteuses en temps, il en résulte que ces tâches ne peuvent désormais être effectuées rapidement et efficacement qu'avec l'aide de nouveaux outils logiciel [21].

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 optiques.

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) [22].

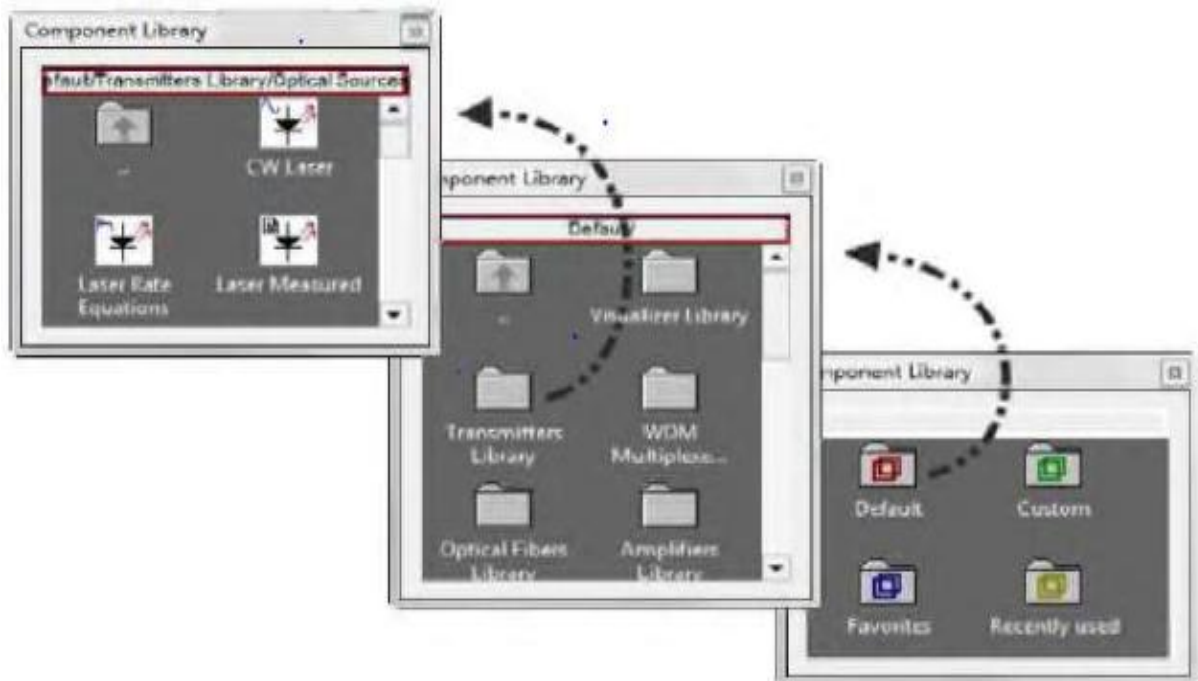


Figure III.5 : Bibliothèque des composants.

III. 3. Caractéristique du simulateur OPTISYSTEM[23]

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).

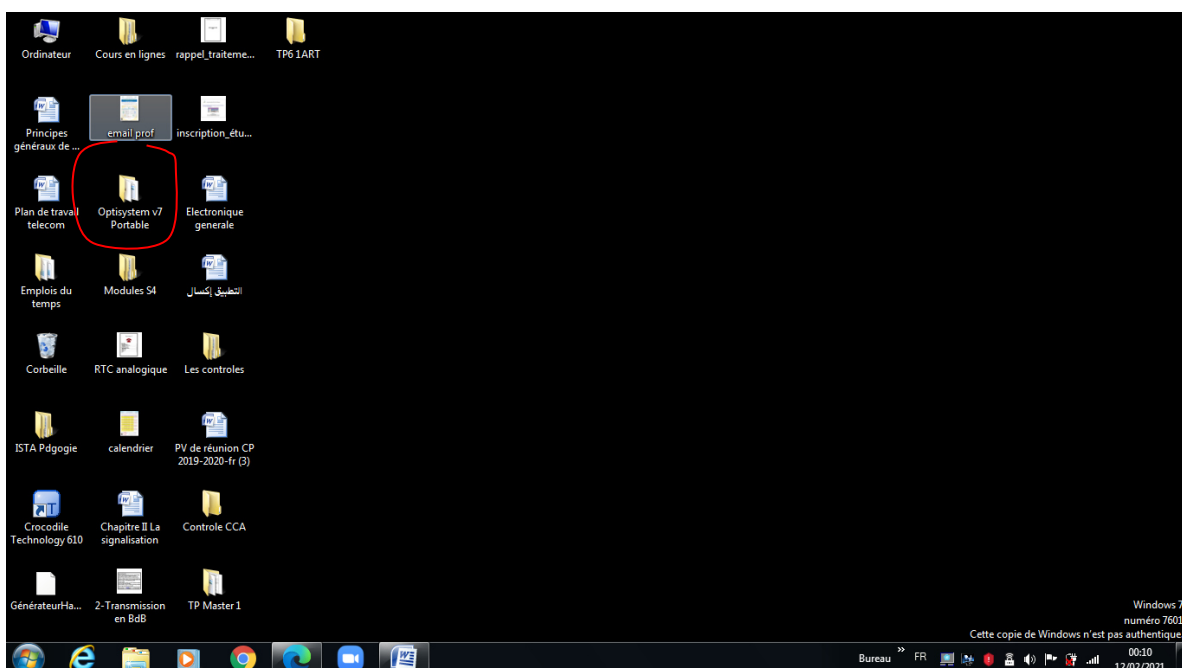


Figure III. 6. Bureau de windows

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

Lancement du simulateur :

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

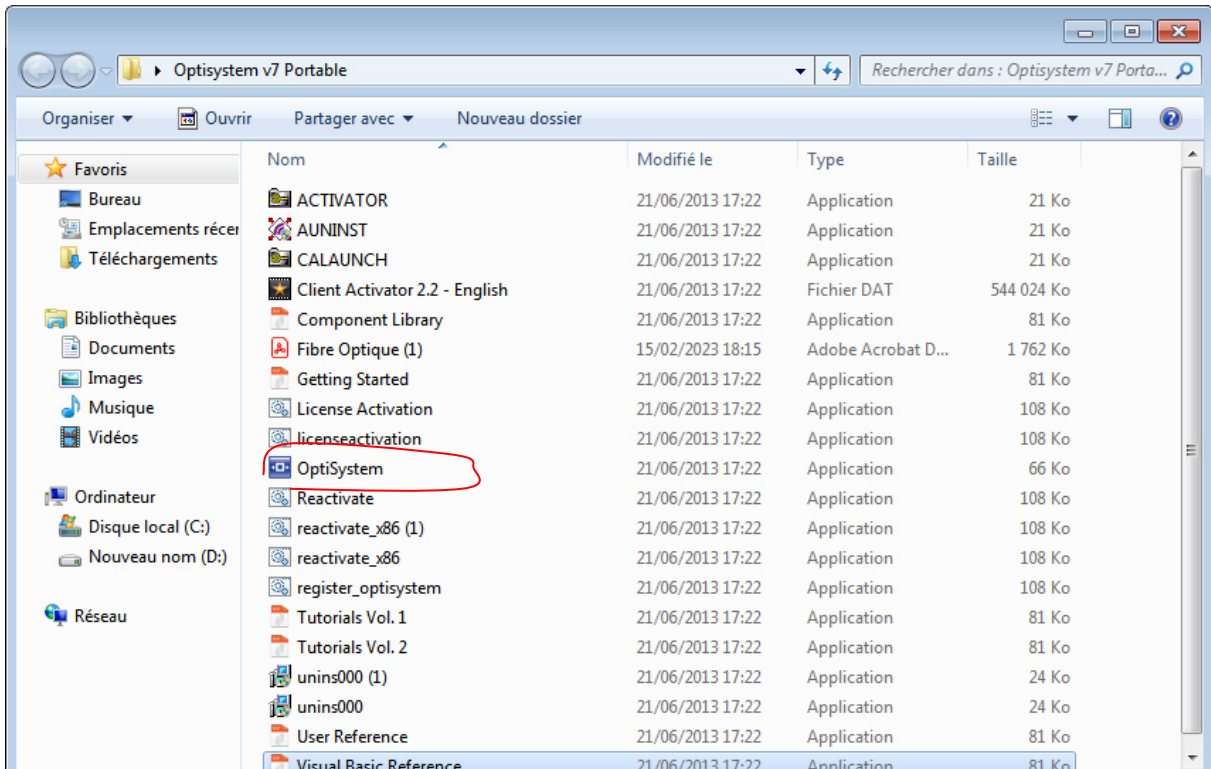
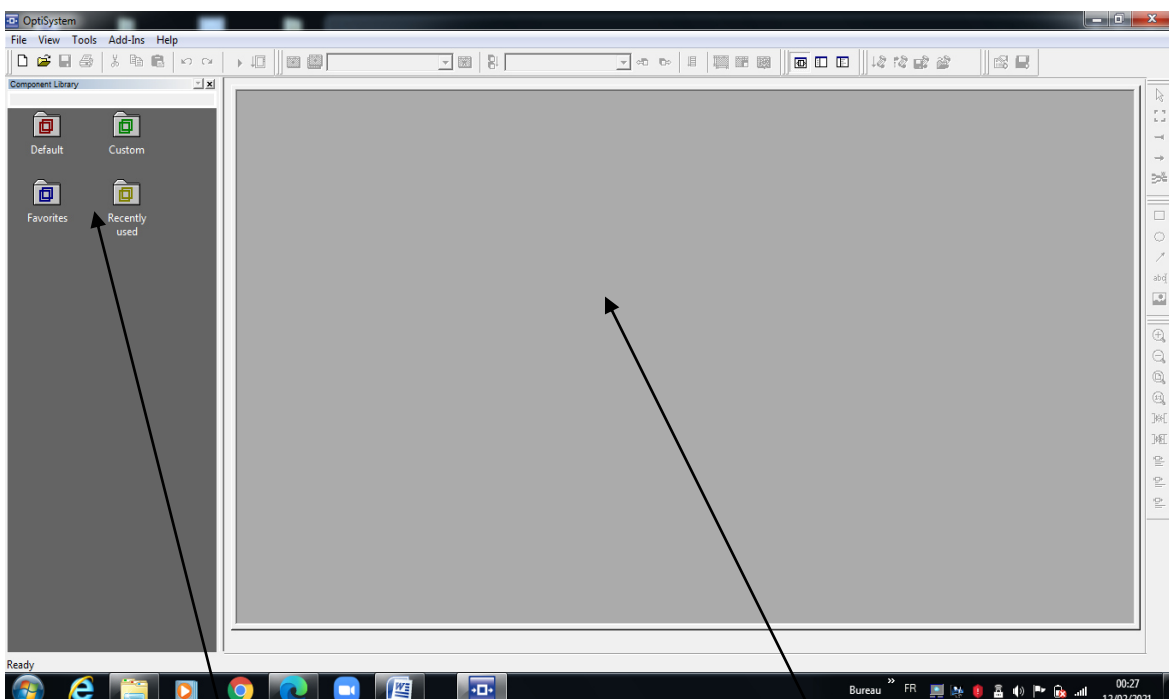


Figure III. 7 : Lancement du logiciel OPTISYSTEM

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



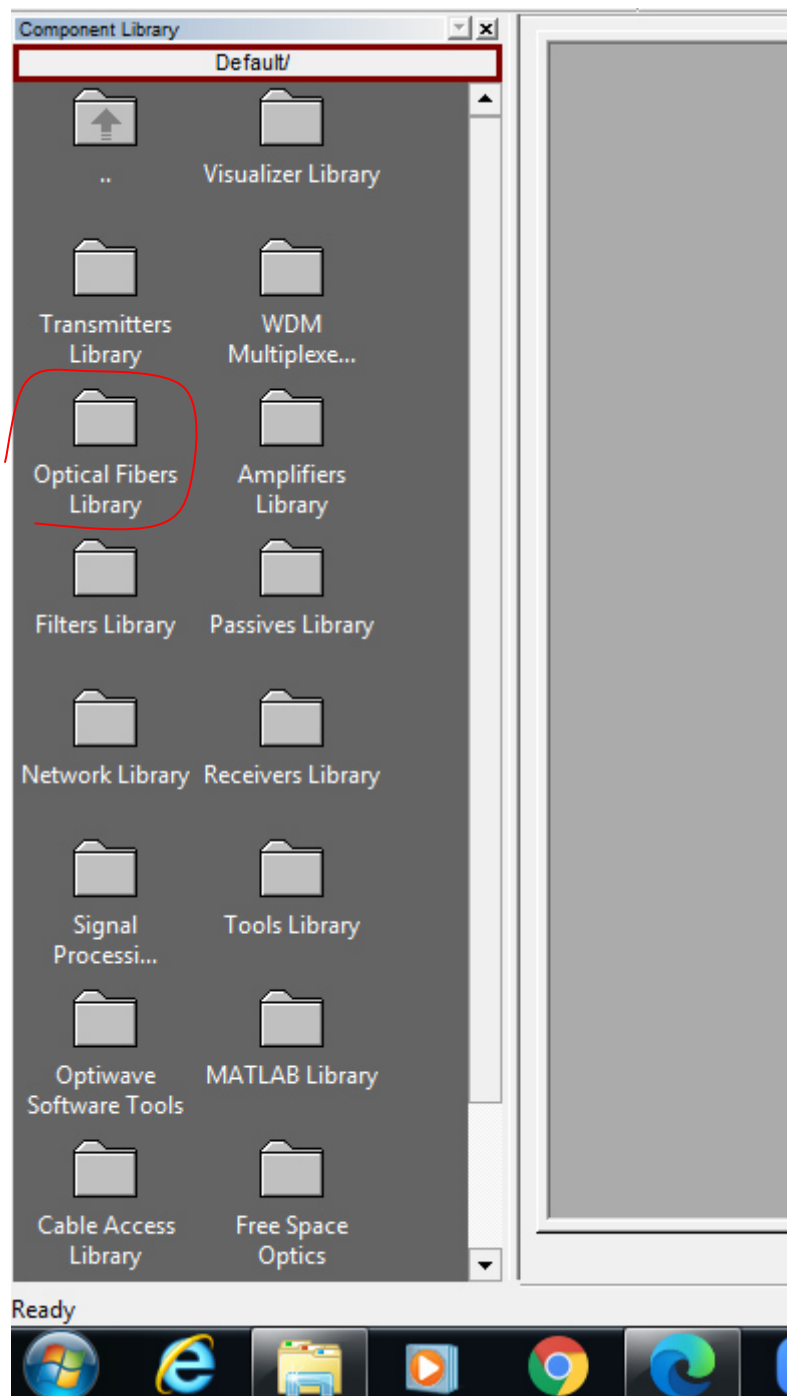
La bibliothèque (Composants optiques, électroniques et physiques)

L'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 :



Chapitre III : Simulation de la liaison optique

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**).

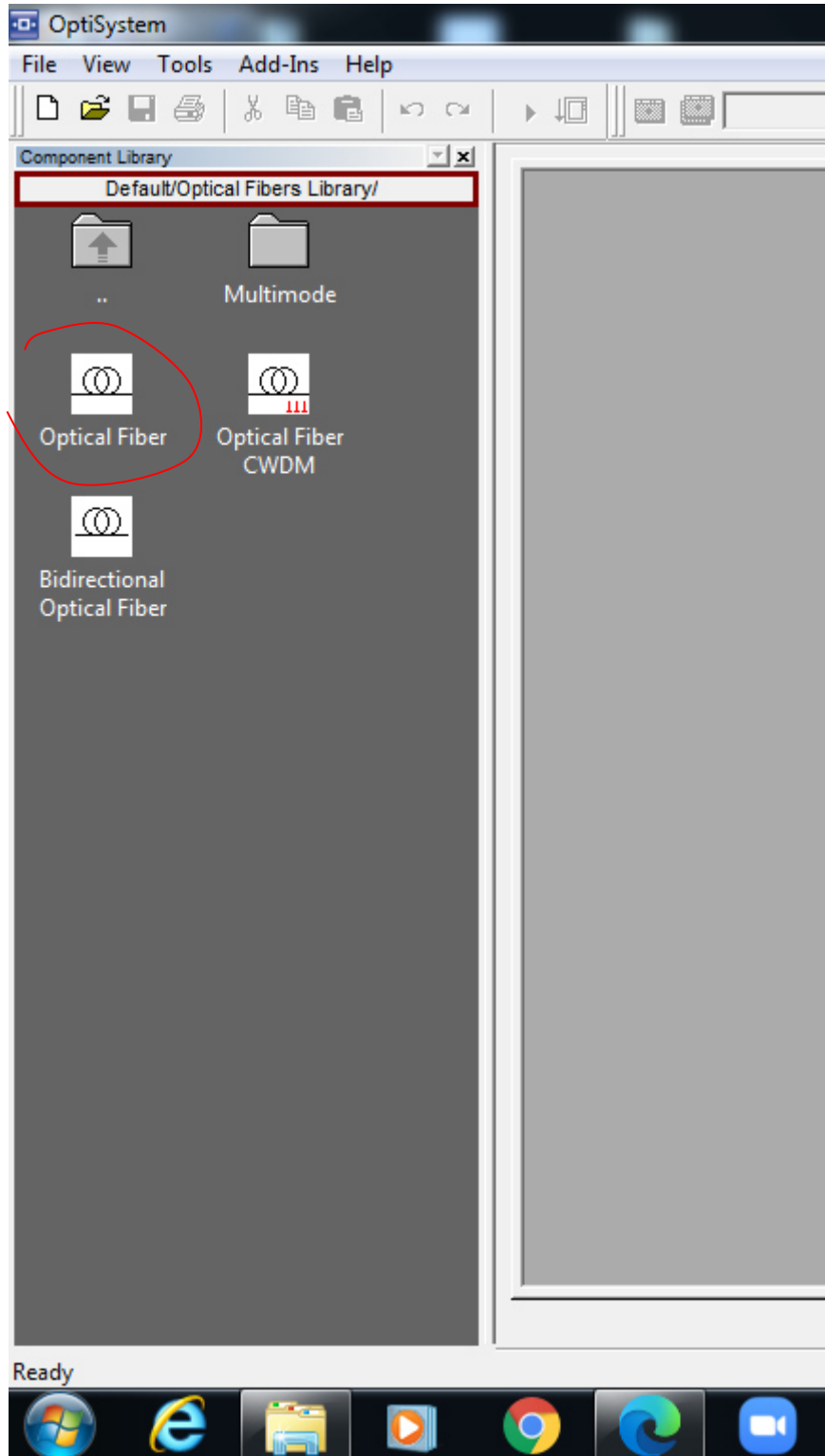


Figure III. 10 : Un groupe de composants

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

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**).

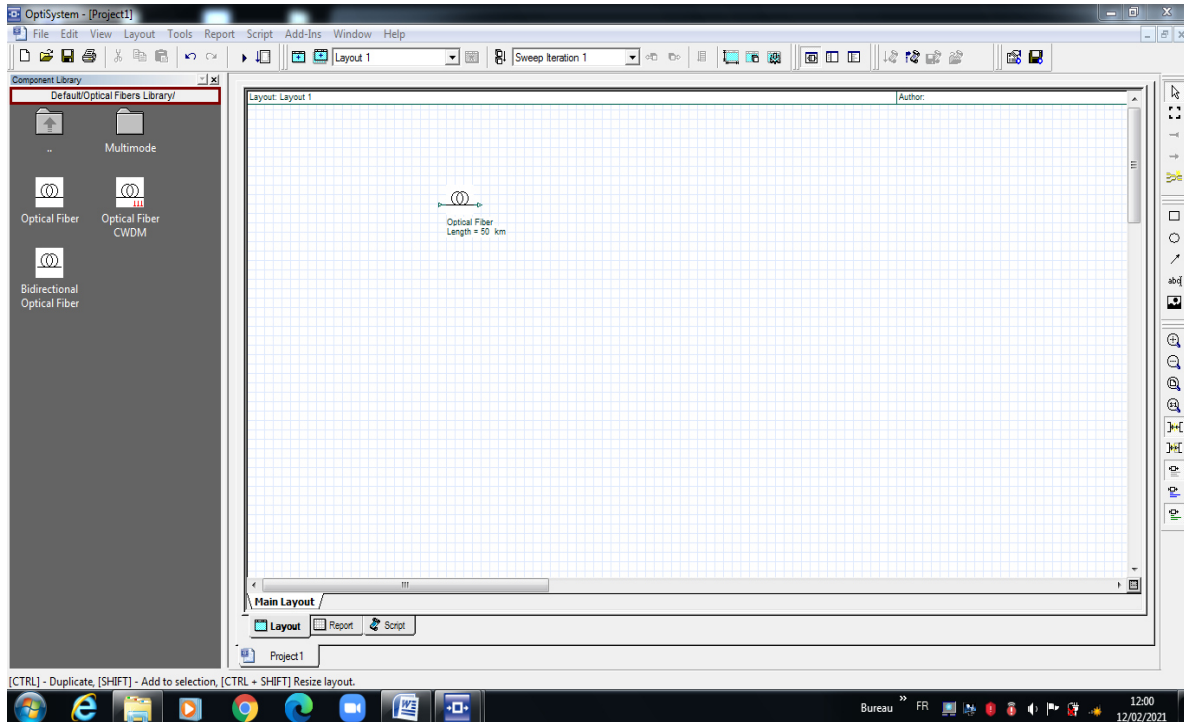


Figure III. 11 : Insertion d'un composant

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.

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

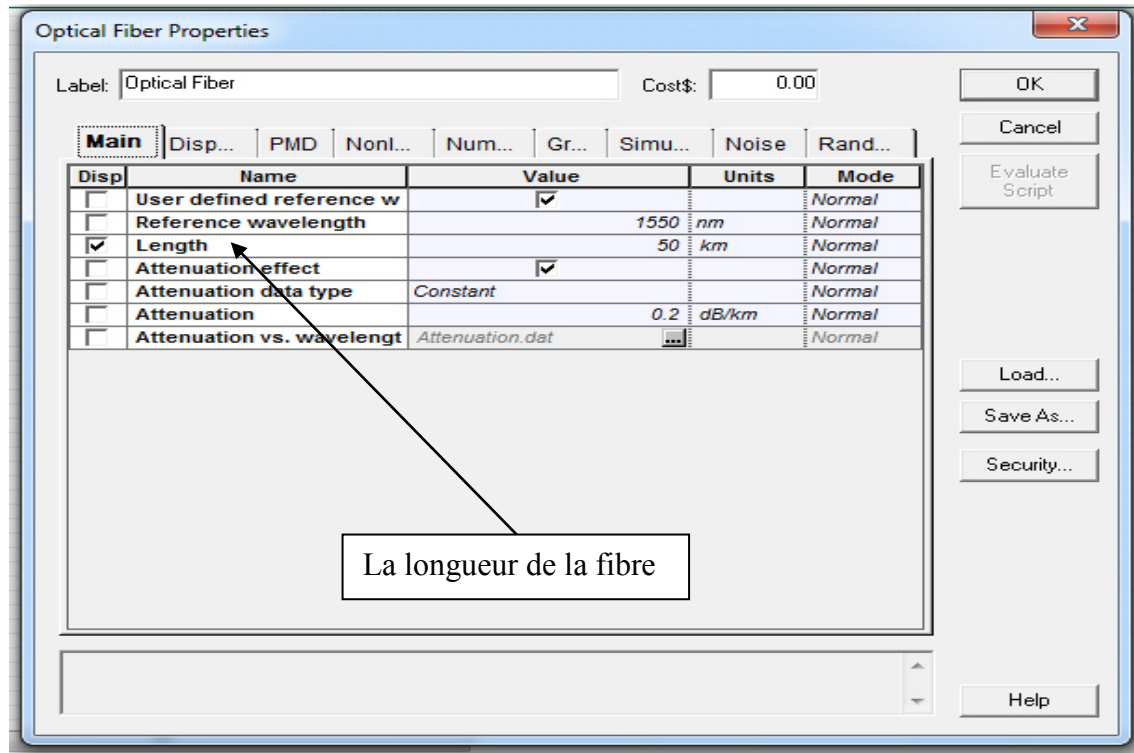


Figure III. 12 : Changement de paramètre d'un composant

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

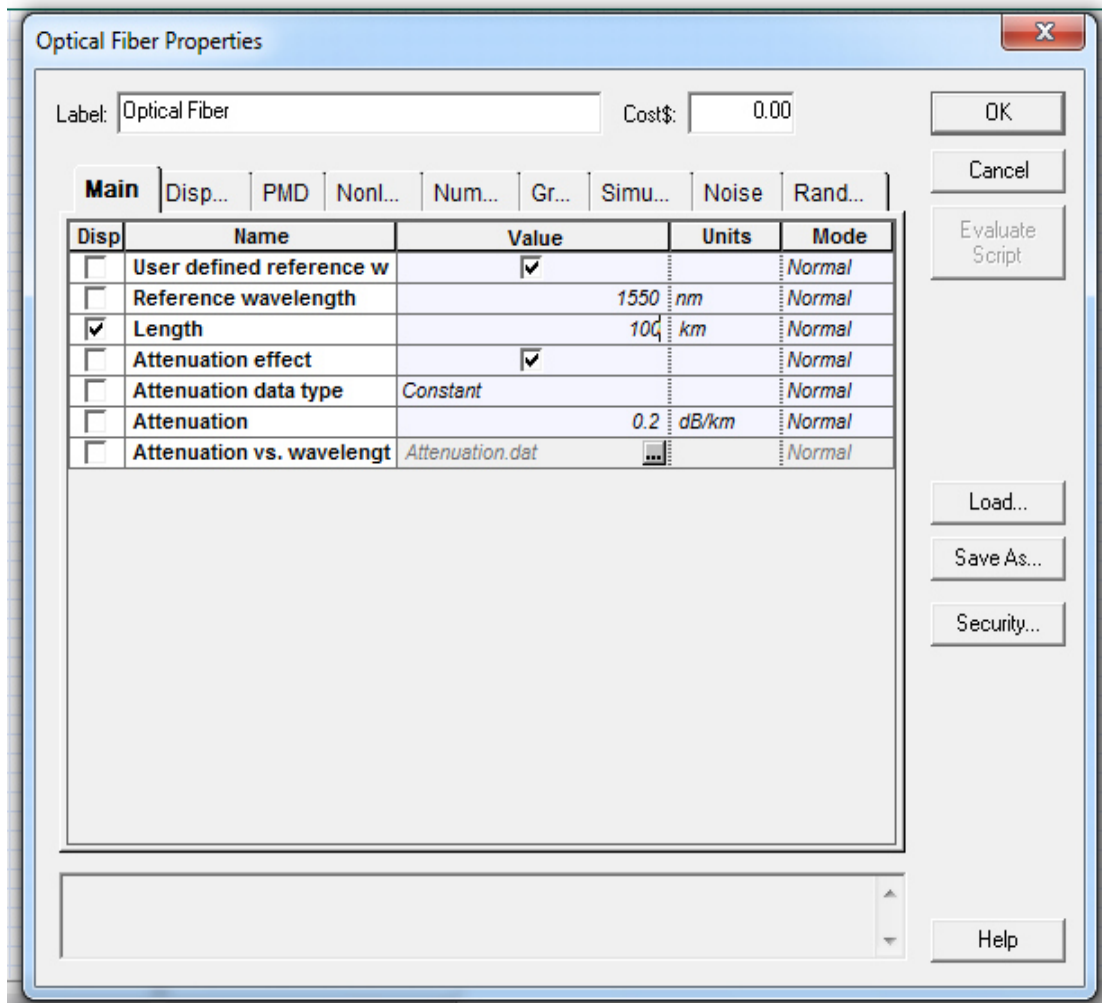


Figure III. 13 : La boîte de dialogue après le changement du paramètre

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 :

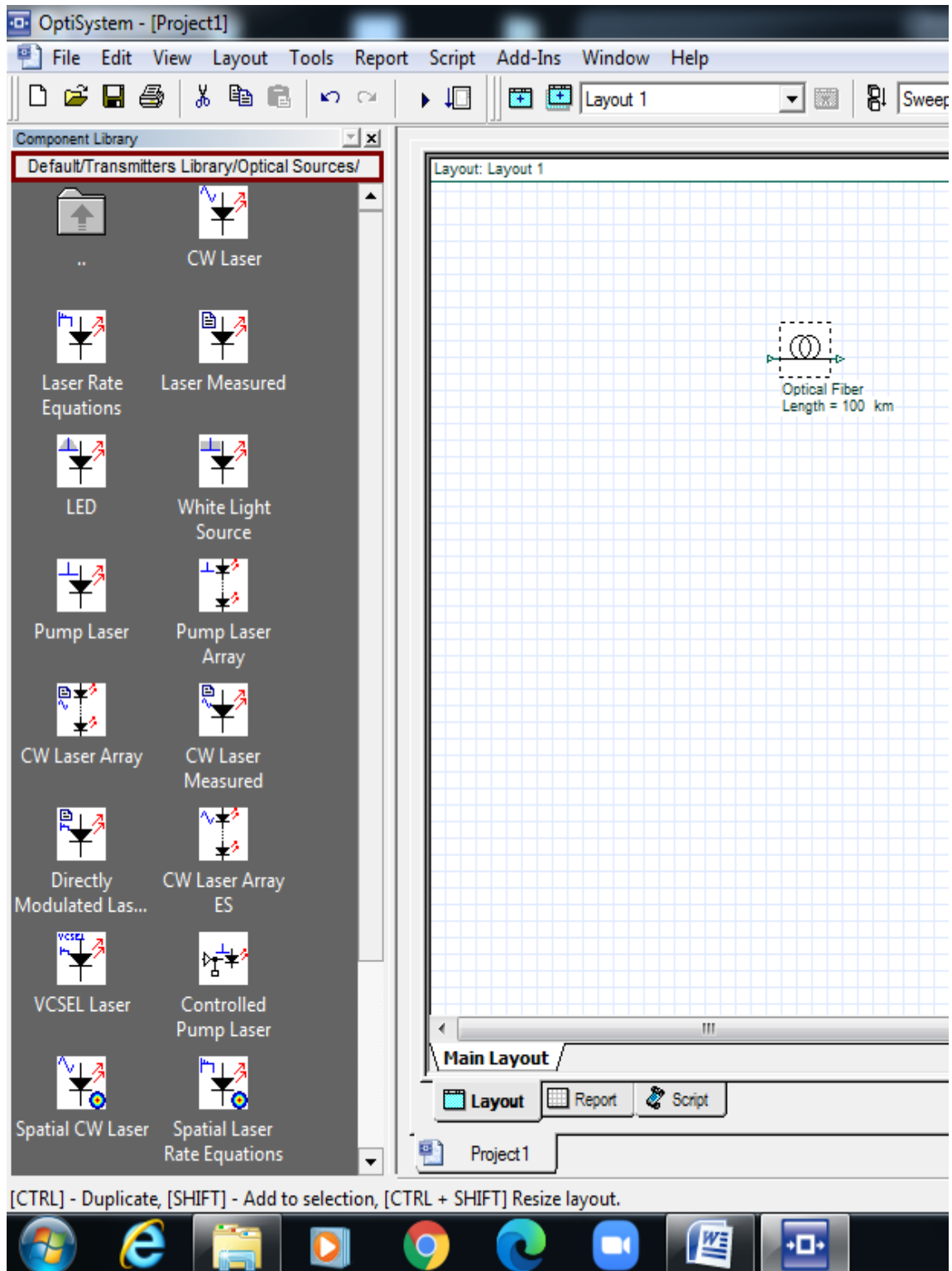


Figure III. 14 : Le groupe de composants Optical Sources

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

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

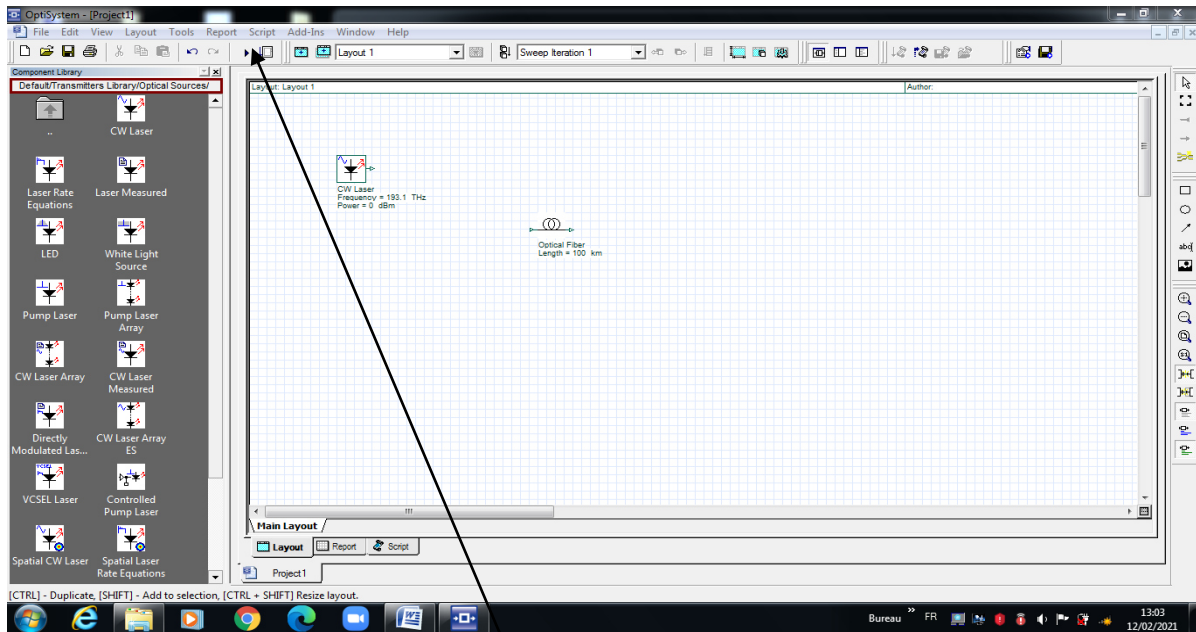


Figure III. 15 : La zone de travail après l'ajout du deuxième composant

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

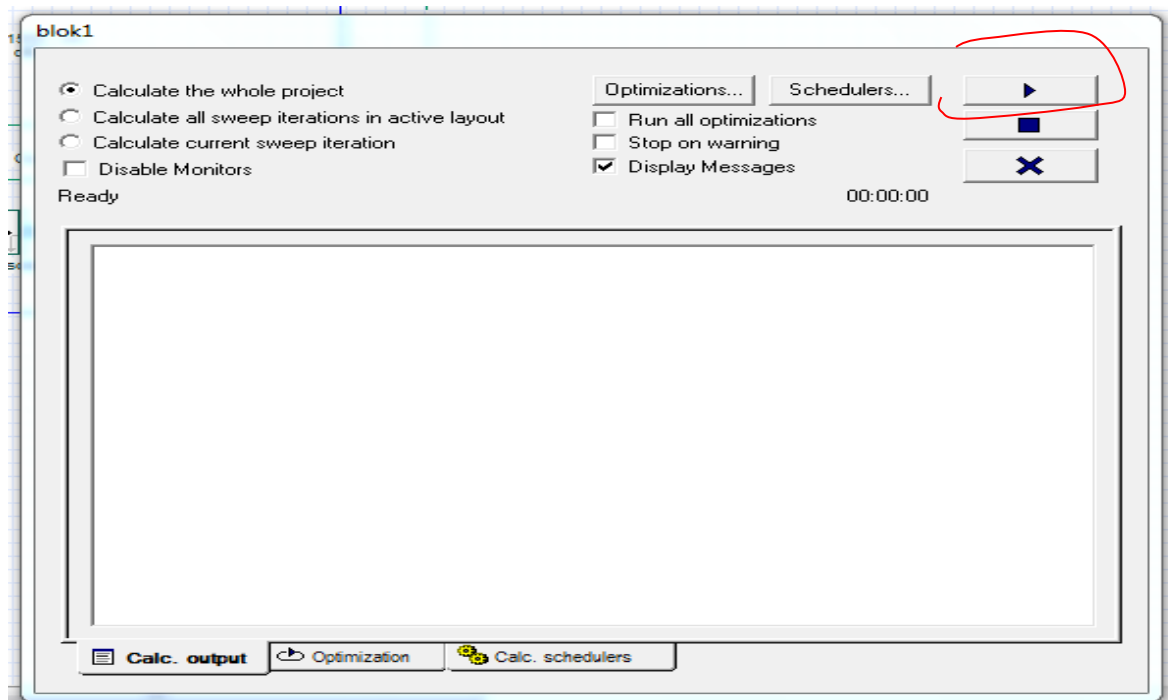


Figure III. 16. Boite de dialogue de simulation

Puis sur le bouton entouré par le rouge.

III. 4. 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) :

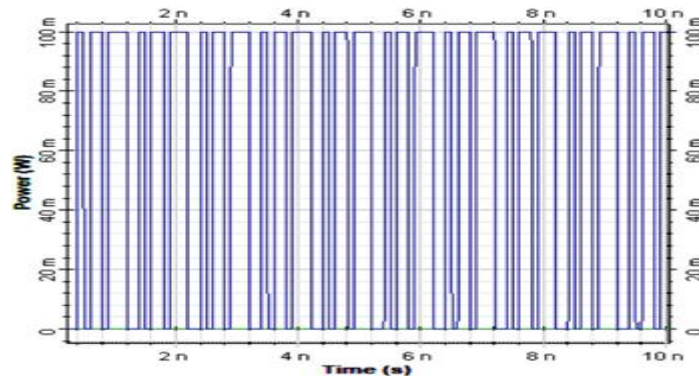


Figure III. 17 : Signal temporel à la sortie de l'émetteur.

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 100 mW.

- A l'entrée du récepteur (voir Figure III. 18) :

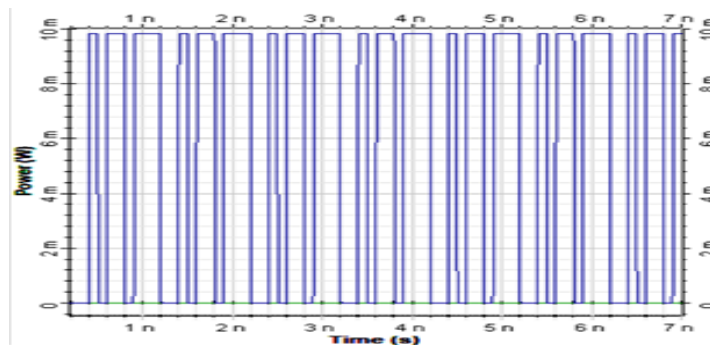


Figure III. 18 : signal temporel à l'entrée du récepteur.

On remarque toujours la stabilité du signal et la bonne qualité, alors qu'une chute brusque de l'amplitude se provoque de 100 mW à 10 mW à cause l'atténuation sous l'effet du milieu atmosphérique de l'espace libre.

- A la sortie de la diode photo-déetectrice (La diode PIN) voir (Figure III. 19) :

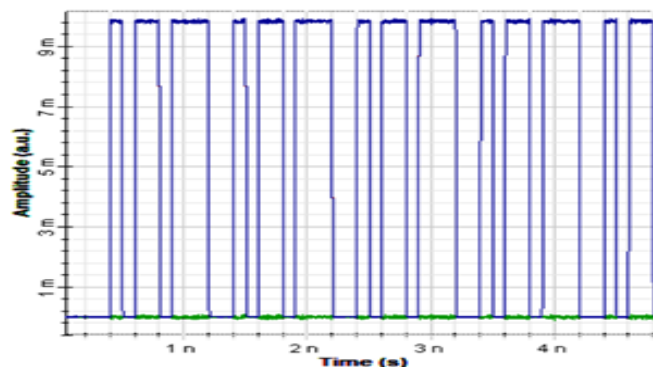


Figure III. 19 : Signal temporel à la sortie de la diode PIN.

Chapitre III : Simulation de la liaison optique

On remarque que bien la dégradation du signal et l'apparition du bruit (signal aléatoire de couleur vert), ce qui indique que la diode photo-détectrice est une source de bruit, par conséquent, on a inséré un filtre passe bas.

- A la sortie du filtre (voir Figure III. 20)

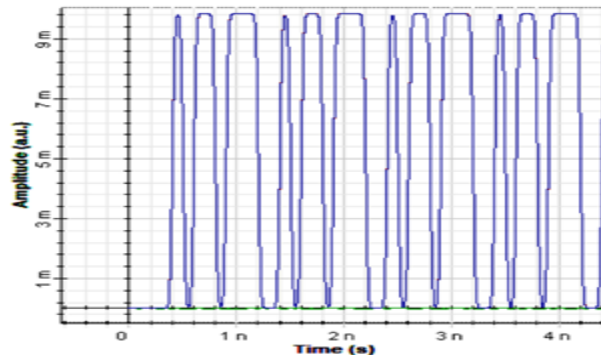


Figure III. 20 : Signal temporel à la sortie du filtre.

L'insertion de ce type de filtre supprime le bruit apparait au niveau de la PIN et améliore la stabilité et par la suite le facteur de qualité et diminue au maximum le taux d'erreur binaire (le BER), voir figure 21.

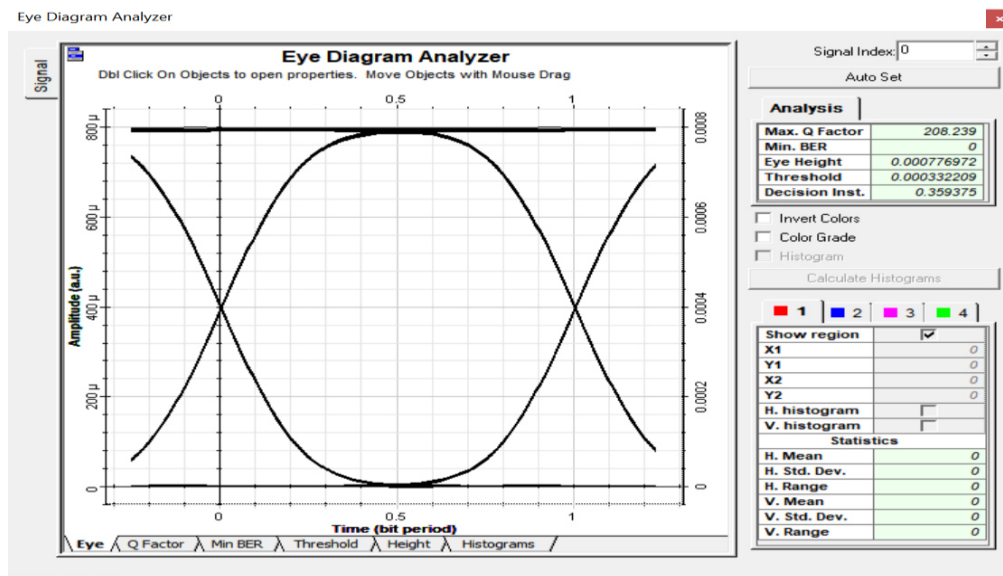


Figure 21 : Le digramme de l'œil pour juger Q et le BER (Q=208.23, BER=0).

Conclusion :

Suivant les étapes de simulation, on a amélioré que la qualité du signal optique, qui se propage dans le vide, qui est inversement proportionnelle à la distance du vide, a cause la dégradation et le bruit créées par le support de transmission (l'espace libre).

CONCLUSION GENERAL

Conclusion générale

Nous l'avons vu, la télécommunication a beaucoup évolué au fil du temps et elle continue également aujourd'hui.

Maintenant, seule une minorité de la population mondiale vit sans aucun moyen de télécommunication. Toutes les personnes ou presque ont accès à un téléphone portable ou à internet. Ces outils sont devenus des moyens utilisés au quotidien pour communiquer au travail, pour accéder à des sources de documents, on peut également se renseigner sur Internet, c'est une source de culture.

Ce projet vise à décrire et à étudier brièvement un système de transport en espace libre. Afin d'obtenir toute information nous permettant de conduire et de superviser la communication en l'espace libre.

C'est pourquoi nous avons décidé de choisir ce thème de mémoire. Et de bien comprendre le fonctionnement de la chaîne de transport en espace libre et la possibilité de superviser un véritable réseau FSO. Nous avons intégré le groupe CT, où nous avons fait notre formation pratique au Centre Ersal dans la wilaya d'Oum El-Bouaghi (Ain Fakroun).

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 en espace libre qui est l'élément essentiel de la transmission, exploitée sur de longues distances. Pour l'amélioration de la qualité de transmission, des techniques d'amplifications et de codage 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).

Références

Références

- [1] R. Ramaswami, K. N. Sivarajan, and G. H. Sasaki. Optical Networks : A Practical Perspective (Third Edition). MORGAN KAUFMANN, 2002.
- [2] Cleve B. Moler. Design of an interactive matrix calculator. In AFIPS.80 Proceedings of the May 19-22, national computer conference, 1980.
- [3] Le Nguyen BINH. Matlab simulink simulation platform for photonic transmission systems. I. J. Communications, Network and System Sciences, 2 :97.117, 2009.
- [4] [e_ph1mp2013.pdf \(cpgemaroc.com\)](#)
- [5] [Ligne microruban — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)
- [6] [Lignes \(coplanaires et micro ruban\) - Dispositifs nécessaires à la caractérisation large bande \(123dok.net\)](#)
- [7] [Câble coaxial — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)
- [8] [Cable coaxial : tout savoir - Ooreka](#)
- [9] A. Hamouda, « Etude et conception d'un générateur d'impulsions solitoniques picosecondes à ultra-haut débit tout fibré », université de Annaba, 2017.
- [10] [Comparaison des liaisons optiques et électriques : Transmissions en espace libre | Techniques de l'Ingénieur \(techniques-ingenieur.fr\)](#)
- [11] [Définition | Éther | Futura Sciences \(futura-sciences.com\)](#)
- [12] Chapitre 3, Optoélectronique, L3Physique, Internet, le 14 avril 2021 l'heur 9 :30 AM, https://elearn.univtlemcen.dz/pluginfile.php/112342/mod_resource/content/1/chapitre%203%20LASER%20opto%C3%A9lectronique.pdf.
- [13] <https://www.astuces-pratiques.fr/electronique/diodes-laser-principe-et-technologie>
- [14] [Le Laser | Superprof](#)
- [15] Salmi Khalid, « Etude et modélisation d'un système de transmission radio-sur-fibre », Université Med premier, juillet 2012.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Harry J. R. Dutton, "*Understanding Optical Communications*", First Edition, International Technical Support Organization, September 1998.
- [19] 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.
- [20] [Diode PIN — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)
- [21] [OptiSystem \(version gratuite\) télécharger pour PC \(freedownloadmanager.org\)](#)
- [22] [OptiSystem \(version gratuite\) télécharger pour PC \(freedownloadmanager.org\)](#)
- [23] [Principales caractéristiques du logiciel OptiSystem \(123dok.net\)](#)