



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 Sciences de la Nature et de La Vie



Département sciences de la matière

N° d'ordre : M..... /2023

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master en Physique

Option : Physique Appliquée.

Réalisation d'une chaîne de transmission numérique MIMO dans un système de Télécommunication avancé

Présenté Par : Meguerra Malika

Sous la direction de : Pr. Goumeidane Fayçal

Soutenu le : 20/06/2023

Devant le jury de soutenance suivant :

président: Pr. Hebbir Nacer

Encadreur: Pr. Goumeidane Fayçal

Examineur: Dr. hamouda Amar

Année universitaire: 2022/2023

Remerciement

Louanges et remerciements à Dieu, le Très-Haut, le Grand, qui m'a donné la force et le courage de terminer mon parcours académique après cet âge

Je remercie mes deux frères dont ma mère n'a pas donné naissance, le Dr Mansser Abdel Karim, chef du département de génie architectural, et le Dr Nasser Habbir, doyen du Collège des sciences exactes et des sciences naturelles, pour leur insistance à ce que je termine mes études.

Un merci spécial et très spécial **au Pr** Goumeidane Fayçal, qui était pour moi et tous mes collègues le professeur, le soutien et la référence dans tous les petits et grands. Et Je remercie le Dr. Amar Hamouda.

Je remercie ma petite famille, ma mère et mes frères, pour mon soutien, et ma grande famille, la famille du lycée, Massas Muhammad al-Ibrahimi, à Ain Melilla, de l'honorable directrice, au plus jeune membre de l'institution, d'avoir été à mes côtés et de m'avoir accordé le temps nécessaire pour pratiquer mes études en parallèle de mon travail.

Je remercie tous les professeurs et docteurs pour le travail qu'ils nous ont fourni durant ces deux années, à commencer par Madame le Professeur Azizi Sharifa. Les docteurs : Mwalakia Hassiba - Borji Bachir - Boulguamh Fella -Laich Nabil - Hobar Farida - Marzougui Amina Et le Dr Ben Ghalia.

Et toujours remercie Dieu

Dédicace

Je dédie mon humble travail avant tout au pouls de ma vie, à mon ciel, ma chère mère, la fleur de ma vie, à l'âme pure de mon père, Jaafar, mille miséricorde et lumière sur lui.

A mes chers frères, mon soutien, après Dieu, Habib et Adel et leurs familles.

Mes sœurs, les roses de mon cœur Naziha Wassila, Hanifa, Samiaa, et leurs maris et fils.

A mon bon professeur et frère, le Dr Amar Hamouda.. Que Dieu le bénisse ainsi que son honorable famille.

Un ami pour la vie : Sabrina, mon soutien en tout, ma sœur qui n'est pas née de ma mère, son fils cher à mon cœur, Raid, et son gentil mari, Abdul Hamid.

Les fleurs de ma vie, Beya, Souad, Iman, Madiha Houda et Amina.

Tous mes amis et collègues sont dans chacun des lycées de Rupal El-Arabi, Henchir Toumghani, et Massas Mohamed El-Ibrahimi, à Ain Melilla en général, et l'équipe de physique en particulier.

Mes camarades de classe de master en physique appliquée Dalal, Souhila, Nawal, Omaima, Amal, Hayat, Ayoub, Asmaa, Hadil, Sawsan, Khadija, Hadjar, Weam et l'inspecteur Hamadou Said.

Résumé :

Dans un système mono-antenne l'augmentation de la taille de la modulation ou de la bande de fréquence utilisée sont les seules solutions pour augmenter le débit de données, avec tous les problèmes de complexité ou d'encombrement que cela entraîne. Partant du point de vue de la théorie de l'information, deux membres des laboratoires de recherche Bell, Telatar et Foschini, ont parallèlement et indépendamment montré que la capacité des systèmes d'antennes multiples en émission et en réception (Multiple Input Multiple Output : MIMO) augmente linéairement avec le nombre d'antennes émettrices, dépassant de manière significative la limite théorique de Shannon. La capacité des systèmes multi-antennes à résister aux évanouissements et aux interférences constitue par ailleurs un avantage supplémentaire garanti.

ملخص :

في نظام أحادي الهوائي ، فإن زيادة حجم التشكيل أو نطاق التردد المستخدم هي الحلول الوحيدة لزيادة معدل البيانات ، مع كل مشاكل التعقيد أو الازدحام التي يتبعها ذلك. بدءًا من وجهة نظر نظرية المعلومات ، أظهر عضوان من مختبرات أبحاث بيل ، وهما Telatar و Foschini ، في وقت واحد وبشكل مستقل أن قدرة أنظمة الهوائيات المتعددة في الإرسال والاستقبال (متعددة المدخلات والمخرجات المتعددة: MIMO) تزداد خطيًا مع عدد هوائيات الإرسال ، يتجاوز بشكل كبير الحد النظري لـ Shannon. تعد قدرة الأنظمة متعددة الهوائيات على مقاومة الخبو والتداخل ميزة أخرى مضمونة.

Summary :

In a single-antenna system, increasing the size of the modulation or the frequency band used are the only solutions for increasing the data rate, with all the problems of complexity or congestion that this entails. Starting from the point of view of information theory, two members of the Bell research laboratories, Telatar and Foschini, have simultaneously and independently shown that the capacity of multiple antenna systems in transmission and reception (Multiple Input Multiple Output: MIMO) increases linearly with the number of transmitting antennas, significantly exceeding Shannon's theoretical limit. The ability of multi-antenna systems to resist fading and interference is another guaranteed benefit.

Sommaire

Introduction générale	p1
Chapitre I : Optique géométrique	p3
Introduction.....	p3
I.1. L'optique géométrique	p3
I.2. Propagation de la lumière	p3
I.2.1 Le rayon lumineux.....	p3
I.2.2. Le chemin optique.....	p3
I.3. Lien entre le rayon lumineux et la théorie ondulatoire	p4
I.4. Lois de l'optique géométrique	p4
I.5. Domaine de validité de l'optique géométrique	p5
I.6. Autres modèles de l'optique et interaction avec le modèle géométrique	p5
I.7. L'optique non-linéaire	p6
I.7.1 Susceptibilités non.....	p6
Chapitre II : Définition et rappels sur l'espace libre pour la transmission	
Introduction	P8
II.1. Historique.....	P8
II.2. Technologie.....	P9
II.3. Application.....	P10
II.4. Avantage	P11
II.5. Inconvénients	P11

Sommaire

Chapitre III : Simulation (Résultats et discussions) .

Introduction	p13
III. 1. Etude théorique du montage :.....	p13
1. Schéma de blocs de la chaine de transmission	p13
2. Description de chaque bloc.....	p14
3. Réalisation de la chaine sous le simulateur OPTISYSTEM	p14
III.3 Présentation du logiciel Optisystem	p14
III. 4 Caractéristique du simulateur OPTISYSTEM	p16
III. 5. Résultats et discussions	p26
III. 6. Conclusion :.....	p30
Conclusion générale.....	p31

Liste des figures

Liste des figures

N° de figure	Légendes	page
Figure .I. 1	Propagation d'un front d'onde plan.....	4
Figure .I. 2	Lois de Snell-Descartes.....	5
Figure .II 1	Laser optique 8 faisceaux en espace libre, assurant un lien de débit 1Gbits/s à une distance approximative de 2 km. Le récepteur est constitué du large disque central, l'émetteur des 8 petits disques latéraux. En haut à droite, un objectif monoculaire d'assistance à l'alignement des deux têtes laser.....	8
Figure III.1	Schéma de bloc de la chaîne de transmission.....	14
Figure III.2	Communication numérique en espace libre.....	15
Figure III.3	Bibliothèque des composants.....	17
Figure III.4	Bureau de Windows.....	18
Figure III.5	Lancement du logiciel OPTISYSTEM.....	18
Figure III.6	Interface du logiciel OPTISYSTEM.....	19
Figure III.7	<i>La bibliothèque du logiciel OPTISYSTEM.....</i>	20
Figure III.8	Un groupe de composants	21
Figure III.9	Insertion d'un composant.....	22
Figure III.10	Changement de paramètre d'un composant	23
Figure III.11	La boîte de dialogue après le changement du paramètre.....	24
Figure III.12	Le groupe de composants Optical Sources	25
Figure III.13	La zone de travail après l'ajout du deuxième composant	26
Figure III.14	Boîte de dialogue de simulation	27
Figure III.15	Signal temporel à la sortie de l'émetteur	27
Figure III.16	signal temporel à l'entrée du récepteur	28
Figure III.17	Signal temporel à la sortie de la diode PIN	29
Figure III.18	Signal temporel à la sortie du filtre	29
Figure III.19	Le digramme de l'œil pour juger Q et le BER(Q=208.23, BER=0).	30

Introduction générale

Introduction générale

La communication optique en espace libre (FSO) est la technologie permettant d'établir une connexion sans fil à large bande système de communication pour transmettre des données en utilisant le faisceau de lumière infrarouge comme porteur et l'espace libre comme canal de communication [1, 2]. C'est un moyen très récent, passionnant et amélioré pour faire court communication à large bande à distance [3, 4]. Il fonctionne généralement entre le 780 – 1600 nm bandes de longueurs d'onde [5].

Ce système nécessite une ligne bien visée, une liaison point à point entre l'émetteur et le récepteur. La liaison peut être mise en œuvre à l'aide de la lumière laser infrarouge et des données infrarouges de technologie d'association (IrDA) [6, 7]. La communication de l'OFS est utile lorsqu'elle est pratiquement impossible d'établir une connexion physique entre l'émetteur et le récepteur et où la transmission de données à large bande passante est attendue [6].

La communication de l'OFS est très efficace en technologie en raison de ses nombreux avantages significatifs, en particulier il n'y a pas besoin de physique connexion entre l'émetteur et le récepteur [3, 4]. Il fournit une large gamme de services et assure un débit binaire plus élevé jusqu'à quelques Gbps.

Actuellement, il est capable de fournir des services jusqu'à 2,5 Gbps de communications de données, vocales et vidéo [2].

Quelques autres avantages importants de ceci en technologie sont : pas besoin d'attribution de bande de fréquences sous licence, pas de coût de creusement des routes, facile à installation, absence de risques radiologiques de radiofréquence, immunité aux interférences électromagnétiques, grande bande passante, faible consommation d'énergie, faibles taux d'erreur binaire, protocole transparent, duplex intégral d'opérations, etc.

Des études récentes ont montré que pour atteindre une performance acceptable pour un lien pratique avec l'OFS, il nécessite de surmonter certains défis majeurs. Les défis sont les suivants : détermination de la modulation techniques, sources lumineuses appropriées, alimentation de la source, alignement émetteur-récepteur et émission Longueurs.

En outre, les types de détecteurs, les différentes sources de bruit et la correction d'erreurs les techniques sont également les facteurs à prendre en compte dans l'installation d'un lien pratique de l'OFS [2]. Cependant, la qualité de la liaison FSO dépend fortement des performances du canal FSO (espace libre) [6].

Introduction générale

La performance du canal est confrontée à plusieurs défis, à partir desquels le l'effet des variations météorologiques sur le canal est l'un d'entre eux. En outre, la visibilité est l'une des plus importants facteurs météorologiques importants affectant les performances du canal.

Avec le changement de temps conditions, changements de visibilité, ce qui modifie par conséquent l'atténuation atmosphérique expérimenté par la chaîne FSO [5]. Le changement de longueur d'onde de fonctionnement est un autre facteur qui affecte également l'atténuation atmosphérique du canal [2]. Le changement d'atténuation modifie les performances des liens [5, 6].

Par conséquent, il est important de considérer l'effet de la visibilité pour différents les conditions météorologiques ainsi que la longueur d'onde de fonctionnement sur le canal de communication FSO avant l'installation de n'importe quel lien FSO.

I.1. L'optique géométrique [8]:

L'optique géométrique est une branche de l'optique qui s'appuie notamment sur le modèle du rayon lumineux. Cette approche simple permet entre autres des constructions géométriques d'images, d'où son nom. Elle constitue l'outil le plus flexible et le plus efficace pour traiter les systèmes dioptriques et catadioptriques. Elle permet ainsi d'expliquer la formation des images.

L'optique géométrique (la première théorie optique formulée) se trouve validée *a posteriori* par l'optique ondulatoire, en faisant l'approximation que tous les éléments utilisés sont de grande dimension devant la longueur d'onde de la lumière¹.

Dans le débat entourant au XIX^e siècle la dualité onde-corpuscule de la lumière, l'optique géométrique ne spécifie pas la nature de la lumière et est alors compatible avec les deux approches

I.2. Propagation de la lumière :

I.2.1 Le rayon lumineux

Un rayon lumineux est un objet théorique : il n'a pas d'existence physique. Il sert de modèle de base à l'optique géométrique où tout faisceau de lumière est représenté par un ensemble de rayons lumineux. Le rayon lumineux est l'approximation de la direction de propagation de l'onde lumineuse ou des photons.

Lorsque l'on considère l'onde lumineuse, si la surface d'onde est un plan, tous les rayons sont parallèles entre eux et si la surface d'onde est sphérique, tous les rayons se dirigent vers un point, ou semblent provenir d'un point : on a un faisceau qui converge en un point, ou qui diverge à partir d'un point.

I.2.2. Le chemin optique

La notion de chemin optique permet de traduire de manière géométrique l'influence de l'indice de réfraction des milieux sur la vitesse de la lumière. Le chemin optique est égal à la distance que la lumière aurait parcourue pendant le même temps dans le vide.

En pratique, dans un milieu homogène d'indice n , pour une distance parcourue $[AB]$, le chemin optique L_{AB} s'exprime :

$$L_{AB} = [AB].n$$

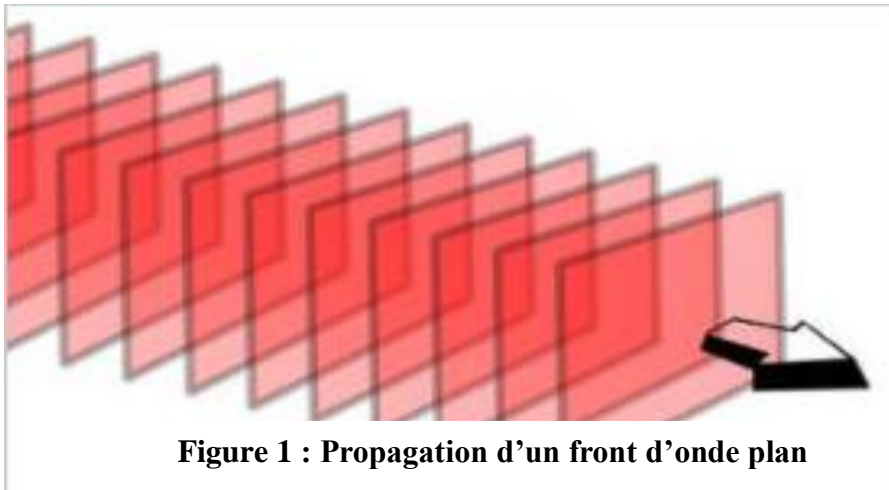
Dans une approche continue et non discrète du chemin optique : $L_{AB} = \int_A^B n(x)dx$

Chapitre I : Optique géométrique

Le principe de Fermat s'appuie sur cette notion de *chemin optique* : « entre 2 points, la lumière suit le trajet correspondant à un chemin optique stationnaire (constant) c'est-à-dire le chemin avec le temps de parcours minima.

I.3. Lien entre le rayon lumineux et la théorie ondulatoire :

Pour relier le modèle du rayon lumineux à la théorie ondulatoire de la lumière, il faut avoir une approche énergétique de la propagation de la lumière. Le rayon lumineux représente la direction de propagation de l'énergie lumineuse. Cette direction est orthogonale aux fronts d'onde de l'onde lumineuse (voir Figure 1).

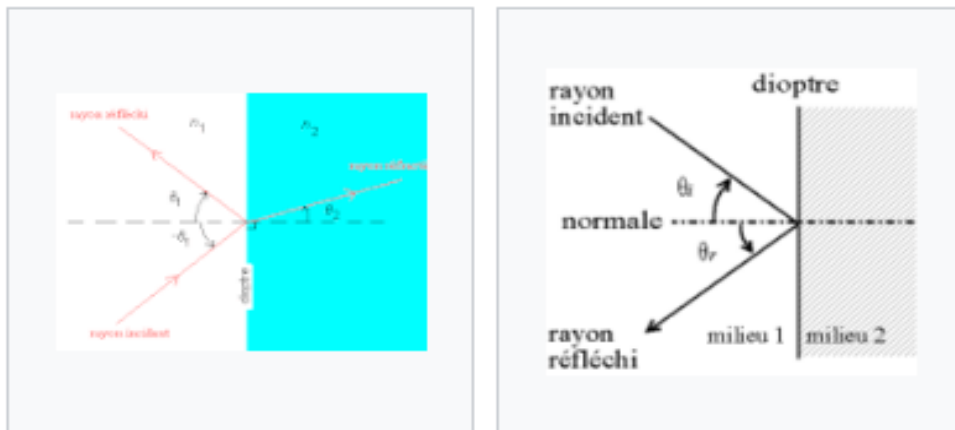


I.4. Lois de l'optique géométrique :

Deux grands principes ont fondé l'optique géométrique :

- le principe de Fermat qui énonce que le trajet de la lumière est toujours un extremum, donc que le rayon lumineux passera toujours par le trajet le plus rapide ou un point col (ou le plus long parmi les chemins respectant des contraintes imposées) ;
- le principe du retour inverse de la lumière énonçant que le trajet d'un rayon lumineux peut être parcouru dans les deux sens.

Ces principes n'ont été formalisés que tardivement comparé à la loi de la réflexion mais ils avaient déjà été postulés dans l'Antiquité par Héron d'Alexandrie⁸. La loi de la réfraction est arrivée plus tard. Réflexion et réfraction sont gouvernées par les lois de Snell-Descartes. Le phénomène de réfraction limite et de réflexion totale ne seront trouvés que plus tard (voir Figure 2).



La réfraction en optique géométrique sur un dioptre plan, dans le cas où $n_1 < n_2$.

Illustration de la loi de la réflexion.

Figure 2 : Lois de Snell-Descartes

I.5. Domaine de validité de l'optique géométrique :

L'optique géométrique ne permet pas d'expliquer tous les phénomènes lumineux. En particulier, elle ne tient pas compte du fait que la lumière est de nature ondulatoire ou corpusculaire. Lorsque tous les objets qui interagissent avec la lumière ont des tailles caractéristiques grandes devant la longueur d'onde du rayon lumineux alors il est convenable et plus simple d'utiliser l'optique géométrique pour décrire son comportement avec une bonne précision. Mais quand la lumière diffuse ou passe à travers des objets dont la taille est du même ordre de grandeur (voire plus petits) que sa longueur d'onde, alors il n'est plus possible de négliger l'aspect ondulatoire et on entre dans le domaine de l'optique physique.

Deux phénomènes caractéristiques de l'optique ondulatoire, inexplicables dans le contexte de l'optique géométrique, sont les interférences lumineuses et la diffraction.

I.6. Autres modèles de l'optique et interaction avec le modèle géométrique :

Dans le modèle électromagnétique de la lumière, l'optique géométrique correspond à un cas particulier où la longueur d'onde est considérée nulle devant tous les systèmes (lentilles, miroirs, ...) et où les rayons sont considérés comme tous incohérents entre eux⁹.

Cette approximation permet de justifier la focalisation des rayons lumineux en un point ainsi que l'absence de phénomène de diffraction.

I.7. L'optique non-linéaire [9]:

L'optique non linéaire est l'ensemble des phénomènes qui résultent de la non-linéarité de la réponse d'un milieu matériel à l'action d'une onde électromagnétique du domaine optique. Elle est une conséquence de l'invention du laser : le premier exemplaire a été construit en 1960 ; la première expérience d'optique non linéaire fut faite en 1961 (génération de second harmonique) ; dès 1962, la plupart des effets de l'optique non linéaire étaient expliqués théoriquement.

Le champ électrique d'une onde électromagnétique polarise tout système matériel. En champ fort, ce qui explique la nécessité de l'emploi du laser, la polarisation induite dévie du régime linéaire valable en champ faible. Certains effets de l'optique non linéaire sont la transposition en optique d'effets déjà connus à plus basse fréquence : génération d'harmoniques, amplification paramétrique. D'autres sont l'équivalent d'effets déjà connus en résonance magnétique nucléaire. Mais certains sont propres à l'optique, comme l'effet Raman stimulé, découvert par hasard. Ce qui est caractéristique de l'optique non linéaire, c'est l'importance du phénomène de propagation.

I.7.1 Susceptibilités non linéaires

Les ondes rencontrées en optique non linéaire sont, en général, assez intenses pour que les champs électromagnétiques puissent être traités classiquement. La quantification du champ n'est nécessaire que pour traiter les processus spontanés (par exemple : luminescence paramétrique, diffusion Raman, etc.) qui initient certains phénomènes de l'optique non linéaire. En revanche, la matière est en général traitée classiquement. Dans un milieu matériel non chargé et non conducteur, les équations de Maxwell macroscopiques s'écrivent :

$$\operatorname{rot} E = -\frac{1}{c} \frac{\partial B}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\operatorname{div} D = 0, \quad (2)$$

$$\operatorname{rot} H = \frac{1}{c} \frac{\partial D}{\partial t}, \quad (3)$$

Chapitre I : Optique géométrique

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0, \quad (4)$$

où \mathbf{E} et \mathbf{H} sont les champs électriques et magnétiques et où \mathbf{D} et \mathbf{B} sont les inductions correspondantes. \mathbf{D} et \mathbf{B} s'expriment sous forme de développements multipolaires :

$$\mathbf{D} = \mathbf{E} + 4\pi(\mathbf{P} - \operatorname{div}\mathbf{Q}), \quad (5)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{H} + 4\pi(\mathbf{M}), \quad (6)$$

Où \mathbf{P} , \mathbf{Q} , \mathbf{M} sont respectivement les densités de moment dipolaire électrique, de moment quadripolaire électrique et de moment dipolaire magnétique. Bien que les termes quadripolaire électrique et dipolaire magnétique donnent parfois naissance à des effets intéressants, l'essentiel des phénomènes d'optique non linéaire est dû au terme dipolaire électrique. On négligera donc tous les moments autres que \mathbf{P} .

Chapitre II : Définitions et rappels sur l'espace libre pour la transmission

Définition et rappels sur l'espace libre pour la transmission

Introduction

Dans le domaine des télécommunications, les communications optiques en espace libre (en anglais *Free Space Optics* ou FSO) constituent une technologie optique de communications qui fait appel à la propagation de la lumière (spectre visible ou infrarouge) en espace libre, afin de transmettre des données entre deux points distants. Cette technologie présente un intérêt lorsqu'une connexion physique par le biais de câble ou de fibre optique est inadaptée, en particulier pour des raisons de coûts.

« Espace libre » désigne tout médium spatial d'acheminement du signal : air, espace inter-sidéral, vide, etc., ceci par opposition à un médium de transport matériel, tels la fibre optique ou les lignes de transmission filaires ou coaxiales [10].



Figure 1 : Laser optique 8 faisceaux en espace libre, assurant un lien de débit 1Gbits/s à une distance approximative de 2 km. Le récepteur est constitué du large disque central, l'émetteur des 8 petits disques latéraux. En haut à droite, un objectif monoculaire d'assistance à l'alignement des deux têtes laser.

II . 1 .Historique

Les communications optiques sont utilisées sous diverses formes et ceci depuis la plus haute antiquité. Ainsi les Grecs Anciens faisaient-ils miroiter leurs boucliers lors des batailles afin

Chapitre II : Définitions et rappels sur l'espace libre pour la transmission

d'envoyer des messages à leurs troupes. À l'ère moderne furent développés sémaphores et télégraphes solaires sans-fil nommés héliographes, qui faisaient usage de signaux codés destinés à communiquer avec leurs interlocuteurs.

En 1880, Alexander Graham Bell et Charles Sumner Tainter créèrent le Photophone. Le dispositif permettait de transmettre sons et conversations par le biais d'un faisceau lumineux. Ainsi, le 3 juin 1880, Bell mena la première

transmission téléphonique mondiale sans fil, entre deux immeubles séparés de 213 mètres. Son invention ne trouva néanmoins des applications pratiques que plusieurs décennies après, dans le domaine des communications militaires.

Carl Zeiss Jena développa le *Lichtsprechgerät 80* (ndt: luminophone) que l'armée allemande utilisa durant la Seconde Guerre mondiale dans les unités de défense anti-aériennes.

L'invention du laser dans les années 1960 révolutionna l'optique spatiale. Les organisations militaires furent particulièrement intéressées et accélérèrent son développement. Toutefois, le développement de la technologie subit une perte de vitesse lors de l'avènement et de l'installation de la fibre optique à des fins civiles.

II . 2 . Technologie

Les liaisons optiques spatiales font le plus souvent appel aux lasers infrarouges, quoique des liaisons à faible débit et courte distance puissent être établies au moyen de diodes LED (émettant dans le visible ou l'infrarouge) [11]. Les transmissions IrDA font partie des moyens simples de communications optiques en espace libre. Les communications optiques sont en outre utilisées entre engins spatiaux. La portée utile des liaisons terrestres est de l'ordre de quelques kilomètres mais la stabilité de la liaison est tributaire des facteurs atmosphériques, à savoir pluie, brouillard, pollution, chaleur... Des opérateurs radioamateurs ont réalisé des liaisons supérieures à 100 km par la mise en œuvre de sources de lumière cohérente (laser) et non cohérente (diodes LED de forte puissance). Toutefois, l'usage d'équipements rudimentaires limitait la bande passante au domaine audio (4 kHz). Dans le domaine des communications extra-atmosphériques, la portée utile est couramment de l'ordre de plusieurs milliers de kilomètres, et des liaisons interplanétaires de plusieurs millions de kilomètres seraient même envisageables en faisant usage de télescopes concentrateurs de faisceau [11].

Chapitre II : Définitions et rappels sur l'espace libre pour la transmission

Des communications FSO dans le domaine de la sécurité ont été proposées, faisant usage d'un laser N-slit interferometer (en), le signal émis par le laser présentant la forme d'une figure d'interférométrie. Toute tentative d'interception du signal se traduit par la disparition de cette figure, dénonçant ainsi la tentative d'interception du faisceau. Nonobstant le fait que cette méthode ait été expérimentée sur des distances de laboratoire, son principe devrait pouvoir être étendu à des distances relativement importantes [11, 12].

En matière de réseau local intérieur se développe actuellement une nouvelle technologie nommée technologie LiFi, adossée à une transmission optique utilisant des diodes LED. Cette technologie permet d'apporter une meilleure isolation des équipements, une baisse des coûts et de la taille des matériels et permettra de combiner, dans un même objet physique, éclairage domestique et communications sans-fil, en complément des réseaux sans-fil traditionnels fonctionnant en bandes radio UHF. Des diodes LED à bas coût, employées en éclairage domestique, pourront ainsi être utilisées pour créer un réseau de communications. Des vitesses de transmission allant jusqu'à 100 Mb/s pourraient être atteintes moyennant l'emploi de modulations efficaces, certaines expérimentations ayant atteint des débits supérieurs à 500 Mb/s[12, 13].

Des recherches dans le domaine du contrôle de trafic automatisé des véhicules sont en cours, techniques qui feraient, entre autres solutions, appel à des feux de circulation dotés de diodes LED de commande [13].

II . 3 . Application [10]

- Connexions LAN-to-LAN en Fast Ethernet ou Gigabit Ethernet.
- Connexions LAN-to-LAN en milieu urbain. *Exemple: Metropolitan area network.*
- Transmissions distantes point à point au travers de domaines appartenant à des tiers.
- Mise en place rapide de service d'accès haut-débit par connexion à un réseau à fibre optique.
- Convergence Voix-Données-Accès Réseau.
- Réseau d'installation temporaire (événements ponctuels et autres).
- Rétablissement rapide de connexion haut-débit lors de catastrophes.

Chapitre II : Définitions et rappels sur l'espace libre pour la transmission

- Technologie alternative ou de mise à niveau des réseaux sans-fil traditionnels : Technologie LiFi.
- Doublage des réseaux stratégiques importants (sécurisation du réseau par redondance d'acheminement).
- Communications spatiales entre engins spatiaux en particulier constellations de satellites (télécommunications optiques spatiales).
- Communications électroniques inter- et intra-circuits intégrés.

II . 4 . **Avantage** [10] :

- Facilité de déploiement
- Transmission longue distance dispensée de licence, par opposition aux transmissions hertziennes
- Haut débit
- Faible taux d'erreur
- Immunité aux interférences électromagnétiques
- Communications full-duplex
- Protocole de communication transparent
- Confidentialité de transmission élevée, en particulier du fait de la directivité et de l'étroitesse du faisceau lumineux.

II.5. Inconvénients [10]:

Pour les applications terrestres, les facteurs limitatifs principaux sont les suivants :

- Dispersion du faisceau
- Absorption atmosphérique
- Pluie
- Brouillard (10..~100 dB/km d'atténuation)
- Neige
- Chaleur ambiante modifiant l'indice de réfraction du milieu (déformation-déviation du faisceau)
- Scintillation

Chapitre II : Définitions et rappels sur l'espace libre pour la transmission

- Pollution lumineuse parasite
- Instabilité du pointage en période venteuse
- Pollution atmosphérique
- Rayonnement solaire axial gênant la réception.

Ces facteurs causent une atténuation du signal à la réception, conduisant ainsi à une augmentation du taux d'erreurs (bit error ratio (BER)). Pour contourner ces problèmes, des solutions alternatives consistant en des systèmes multi-faisceaux ou multi-trajets ont été développées. Certains appareillages présentent une tolérance supérieure au "fading" (puissance modulable, en cas de pluie, brouillard, fumée...). Pour des raisons de sécurité (risques oculaires), les bons systèmes de transmission optiques laser ont une densité de puissance limitée (lasers classe 1 ou 1M). L'atténuation atmosphérique et celle liée au brouillard, qui est par nature exponentielle, limitent en pratique les portées de tels systèmes à quelques kilomètres.

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

Introduction :

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 [14].

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 [15, 16].

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.

III. 1. Etude théorique du montage :

La chaîne de transmission est composée de trois modules principaux :

- L'émetteur numérique.
- Le support physique de transmission (L'éther).
- Le récepteur numérique.

1. Schéma de blocs de la chaîne de transmission (voir figure III. 1)

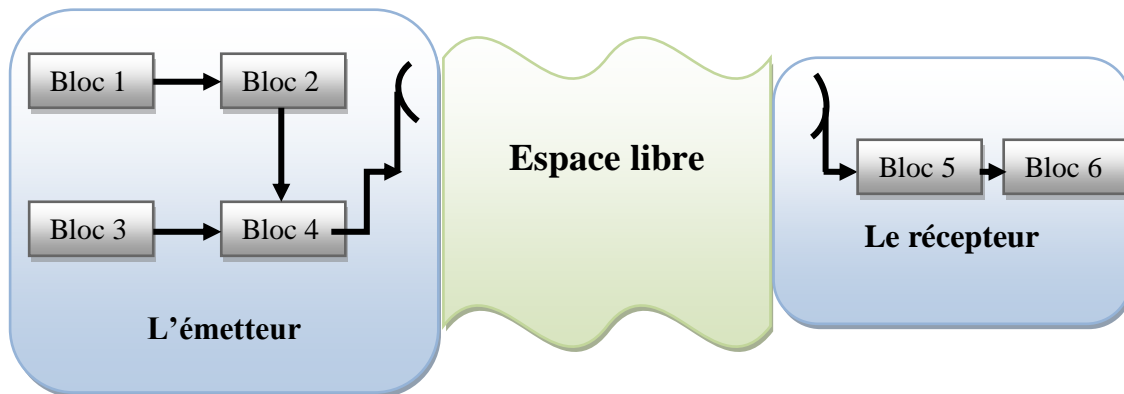


Figure III.1 : Schéma de bloc de la chaîne de transmission

2. Description de chaque bloc

Bloc 1 : Ce bloc représente le signal à émettre, c'est l'information sous forme d'une séquence de bits avant le codage.

Bloc 2 : est le codeur de l'information, on peut utiliser le codeur RZ ou NRZ (circuit de mise en forme).

Bloc 3 : Ce bloc représente la porteuse de l'information autour d'une fréquence f_0 bien déterminée très élevée.

Bloc 4 : Cette partie se comporte à un Modulateur qui combine entre deux signaux (le signal d'informations numériques après le codage et le signal de la porteuse à très haute fréquence, afin d'adapter le signal à transmettre au canal de transmission.

L'antenne émettrice : est un organe qui rayonne les OEM fréquence-Radio.

Bloc 5 : Ce bloc présente le détecteur du signal numérique (l'information numérique transmis à travers le canal de transmission choisie soit l'espace libre ou la fibre optique.

Bloc 6 : Ce bloc représente un filtre passe bas afin de diminuer le bruit additif blanc gaussien.

L'antenne réceptrice : est un organe qui capte le rayonnement électromagnétique.

3. Réalisation de la chaîne sous le simulateur OPTISYSTEM :

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

3.1. A partir des données sur le tableau ci-dessous, on a réalisé le montage suivant (voir figure III. 2) :

Composant	Valeurs des paramètres du composant
CW Laser	$P_s = 20 \text{ dBm}$, $f_o = 1550 \text{ nm}$.
Le codeur	NRZ.
Le modulateur	Mach-Zehnder.
L'espace libre	L'intervalle = 400m, l'atténuation = 10.116 dB/Km, diamètre d'ouverture de l'émetteur = 10 cm, diamètre d'ouverture du récepteur = 10cm, divergences de faisceau = 2 mrad.
Le filtre	Passe-bas de Cosinus de surélevé.

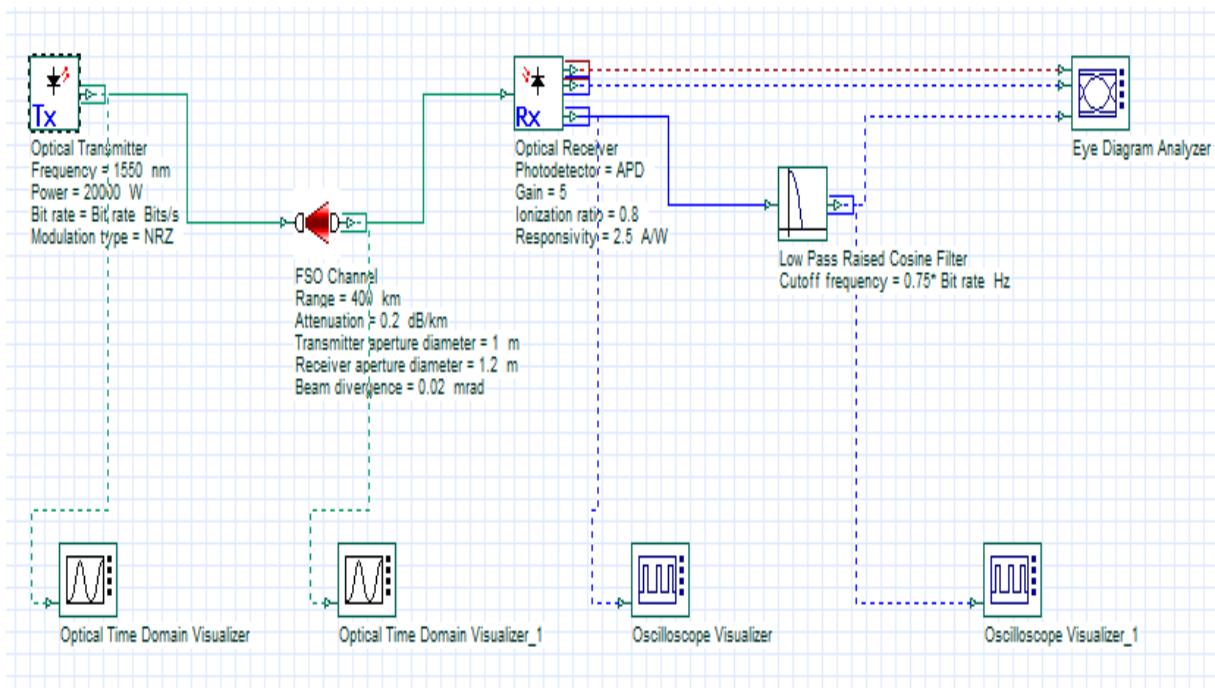


Figure III. 2 : Communication numérique en espace libre

3.2. Dans le montage précédent on a inséré un appareil de mesure (analyseur de digramme de l'œil) à la sortie du montage, afin de déterminer le facteur de qualité et le BER de cette transmission (voir figure III. 2).

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

III.3 Présentation du logiciel Optisystem

La conception et l'analyse des systèmes de communication 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 logiciels [17].

Dans notre travail nous avons opté pour un logiciel de simulation des systèmes de communications optiques 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 étendues facilement avec l'ajout des composants et peuvent être reliées 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) [18].

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

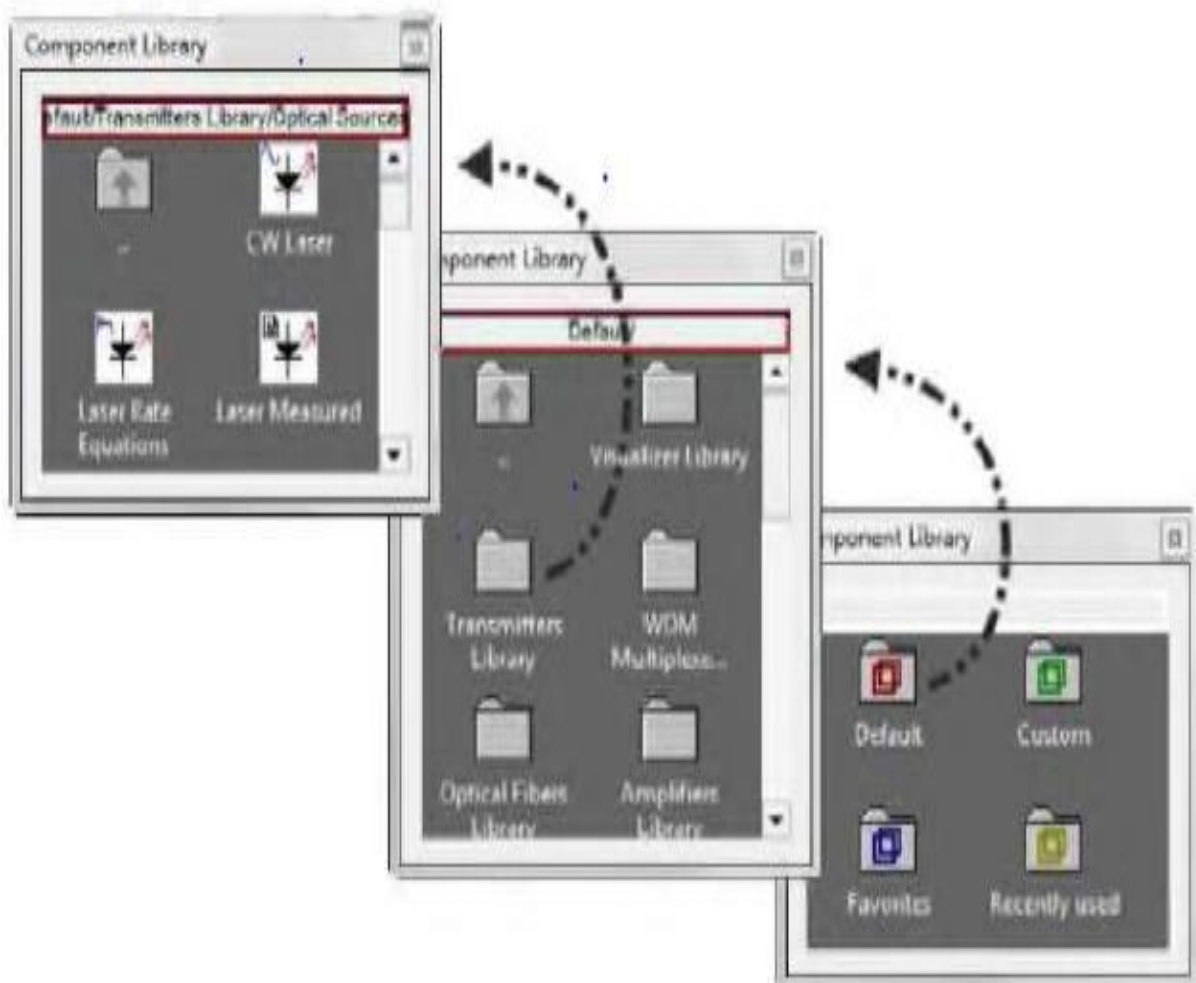


Figure III.3 : Bibliothèque des composants.

III. 4 Caractéristique du simulateur OPTISYSTEM[19]

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).

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

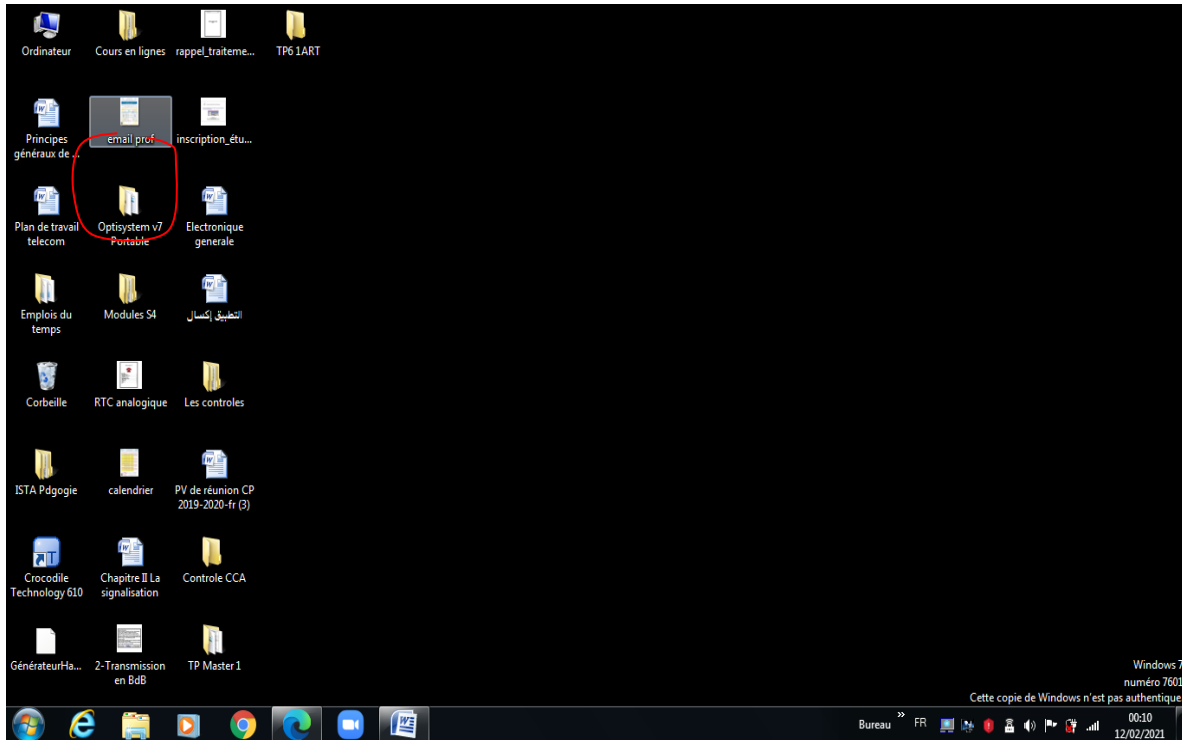


Figure III4 . Bureau de windows

Lancement du simulateur :

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

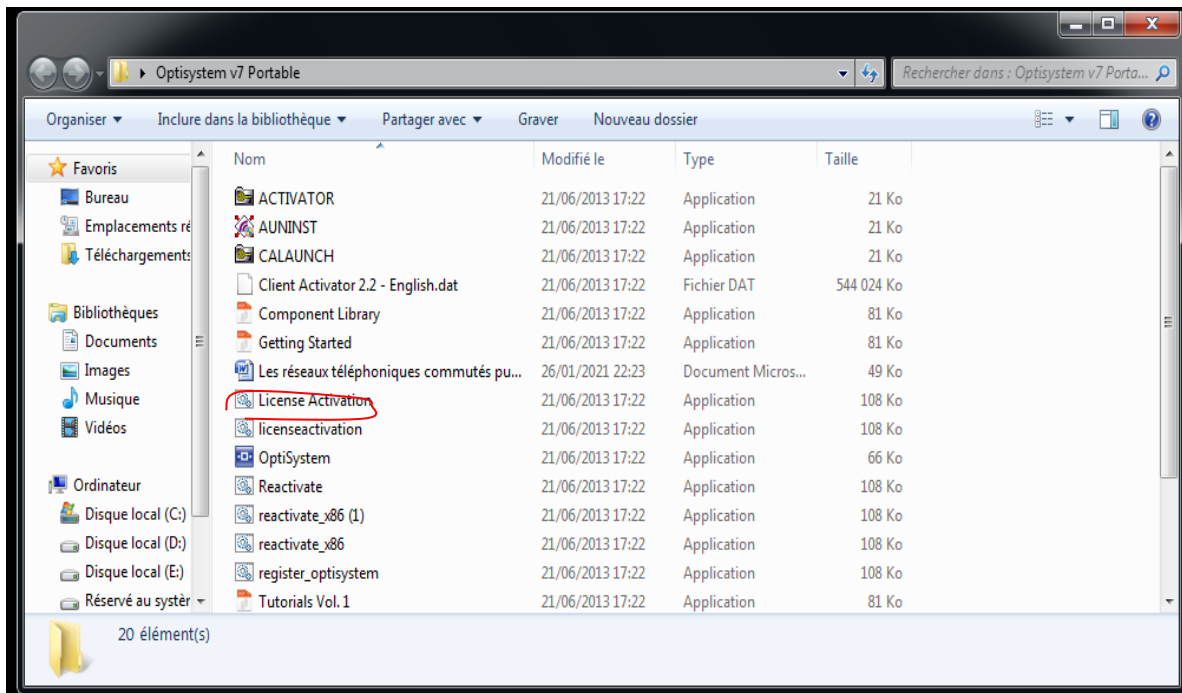


Figure III. 5 : Lancement du logiciel OPTISYSTEM

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

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

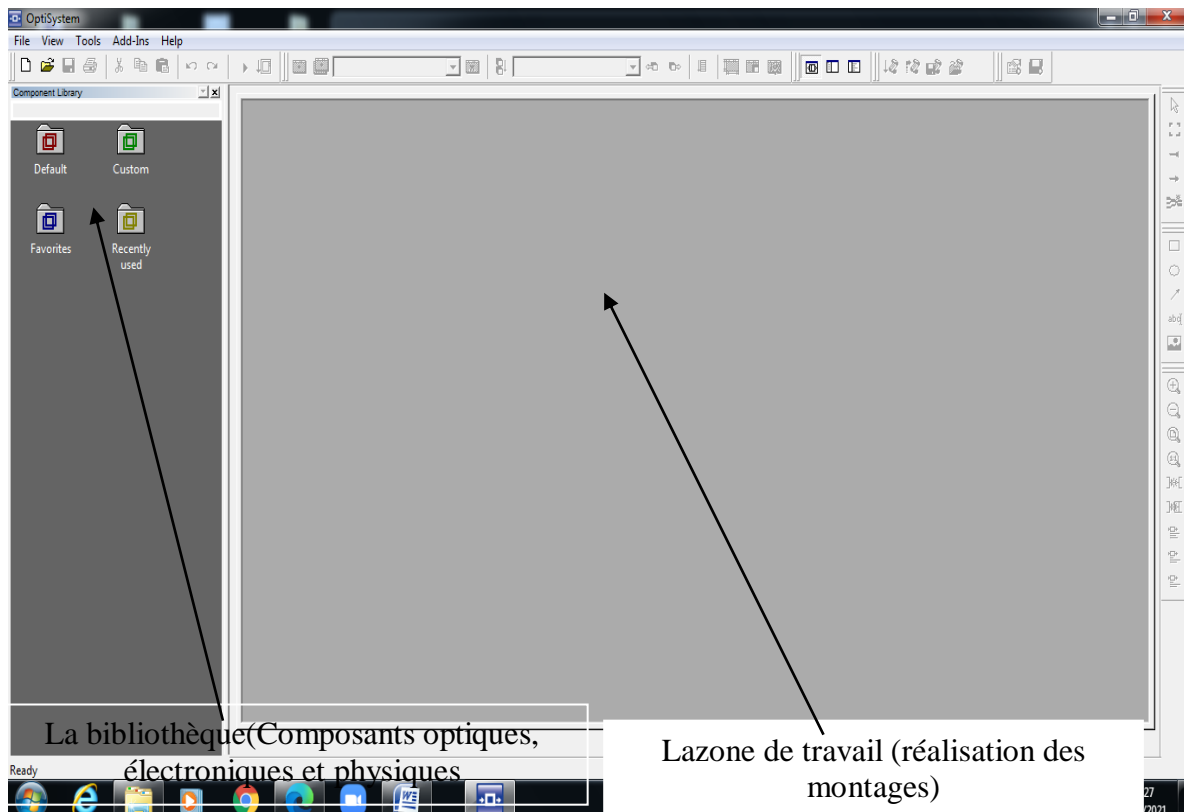


Figure III. 6 : Interface du logiciel OPTISYSTEM

La bibliothèque

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

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

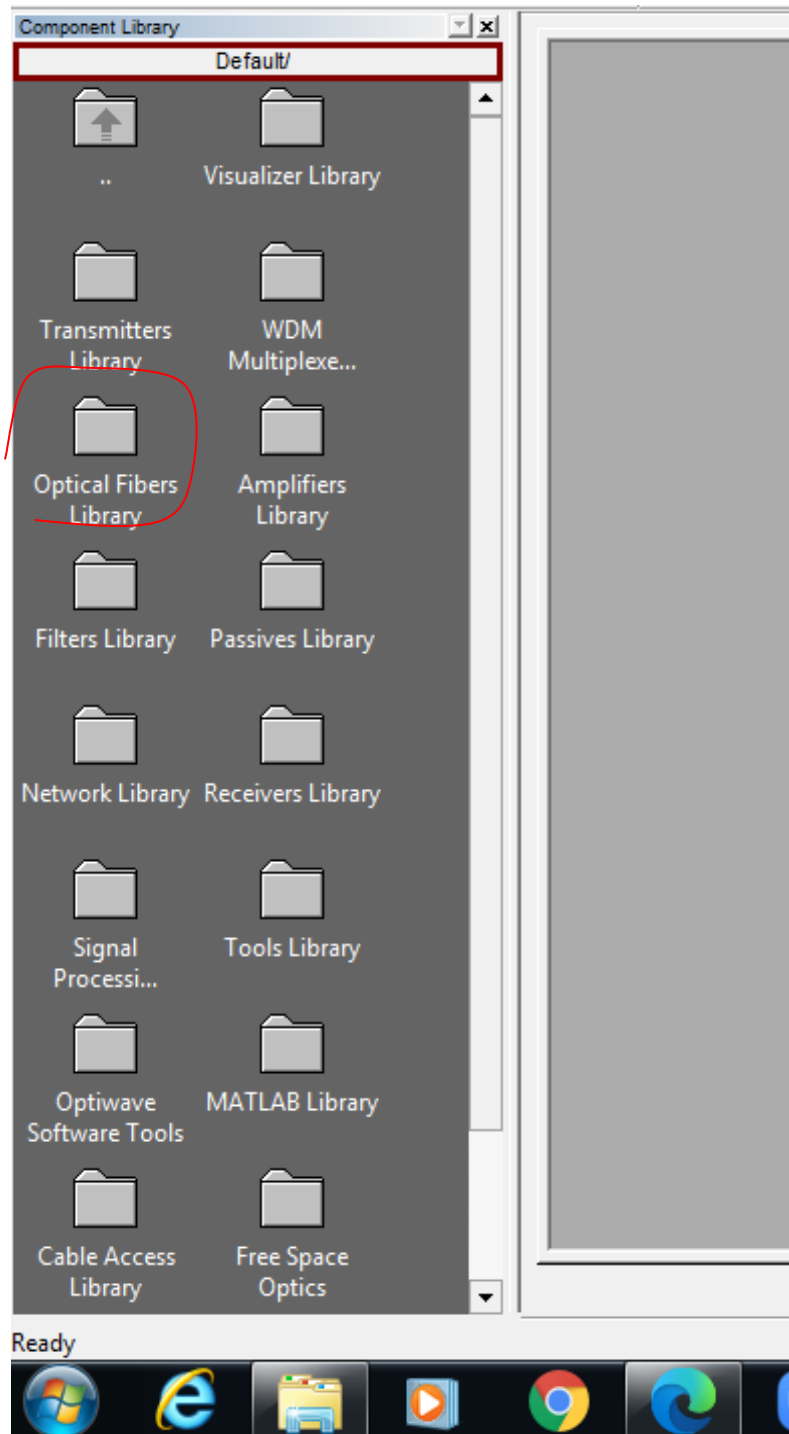


Figure III. 7 : La bibliothèque du logiciel OPTISYSTEM

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

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

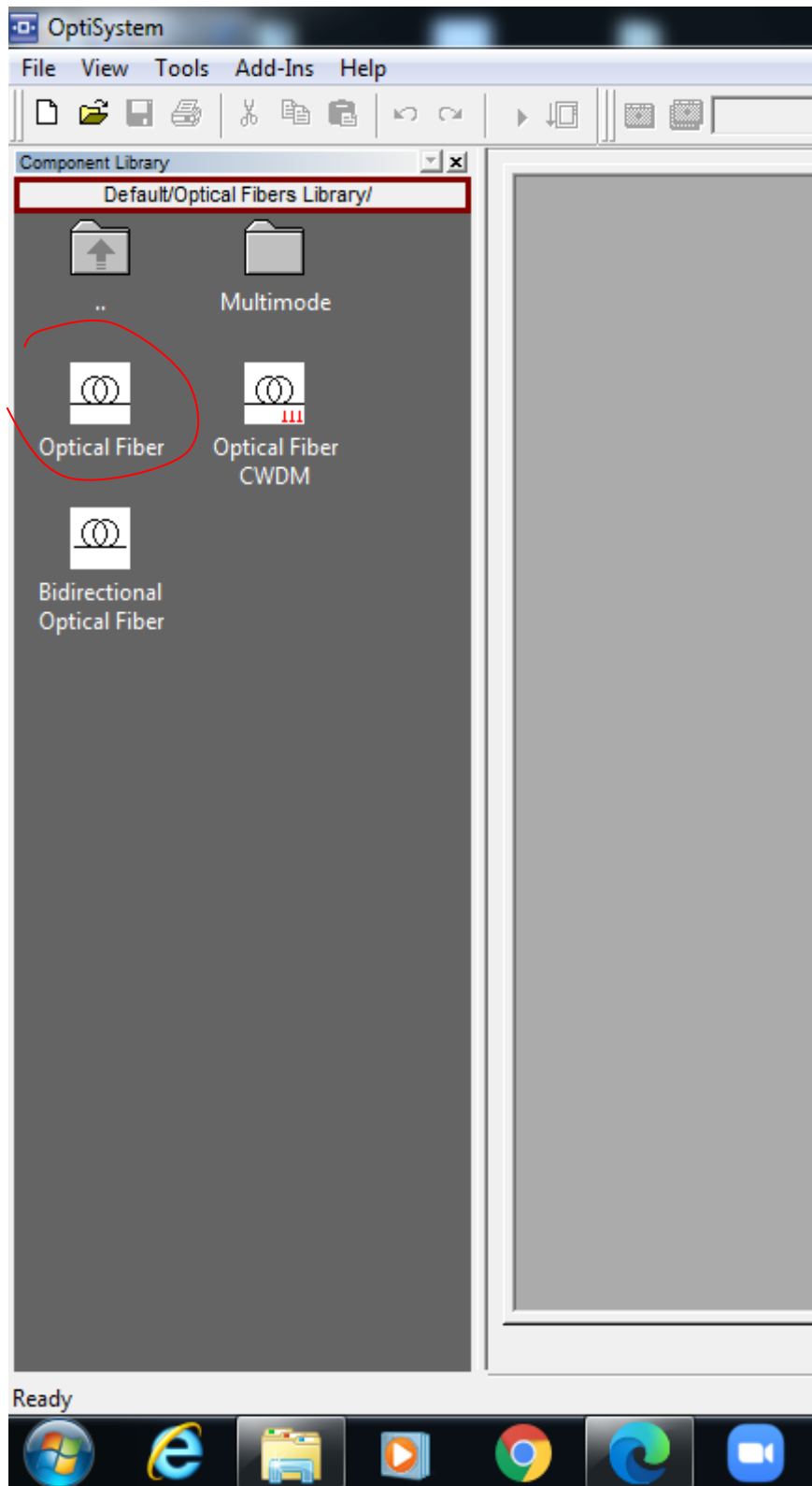


Figure III. 8 : Un groupe de composants

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

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**).

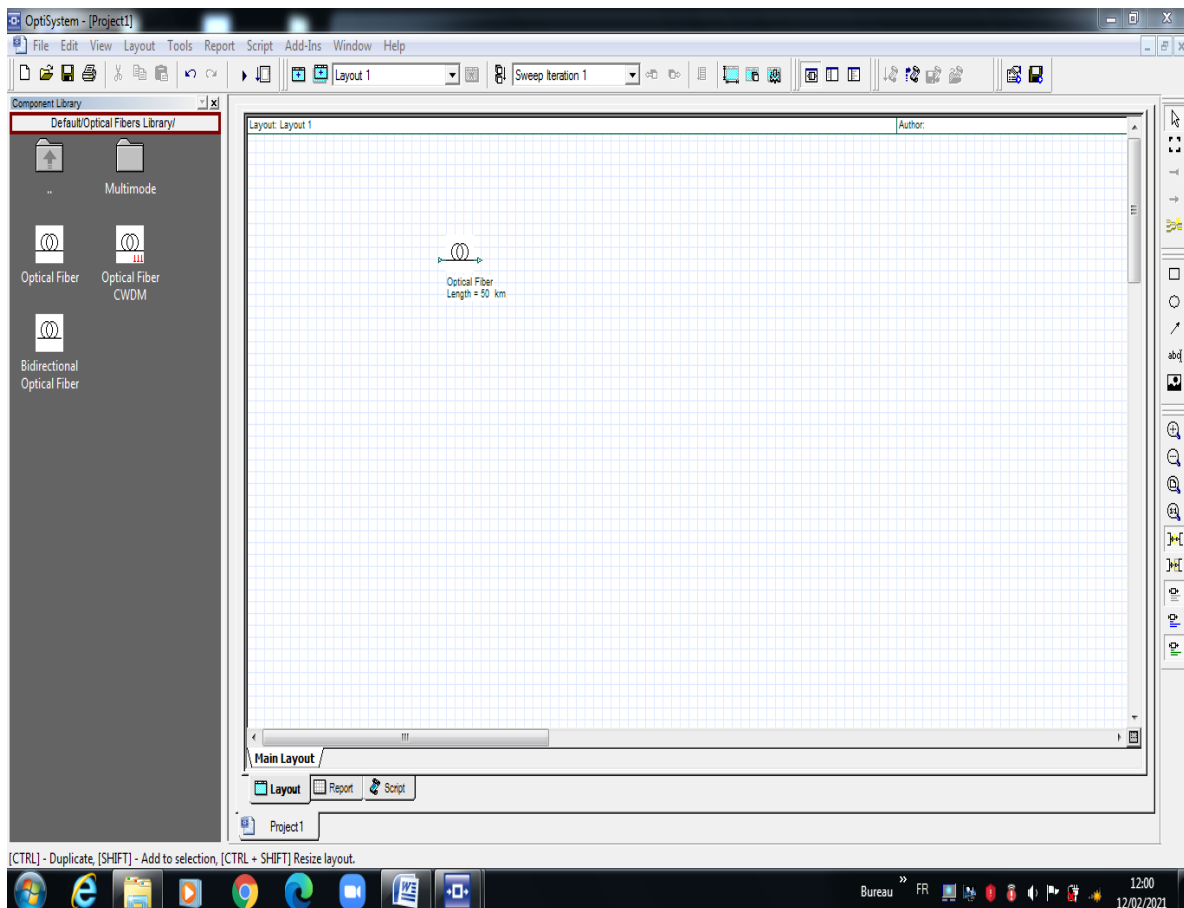


Figure III. 9 : Insertion d'un composant

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 : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

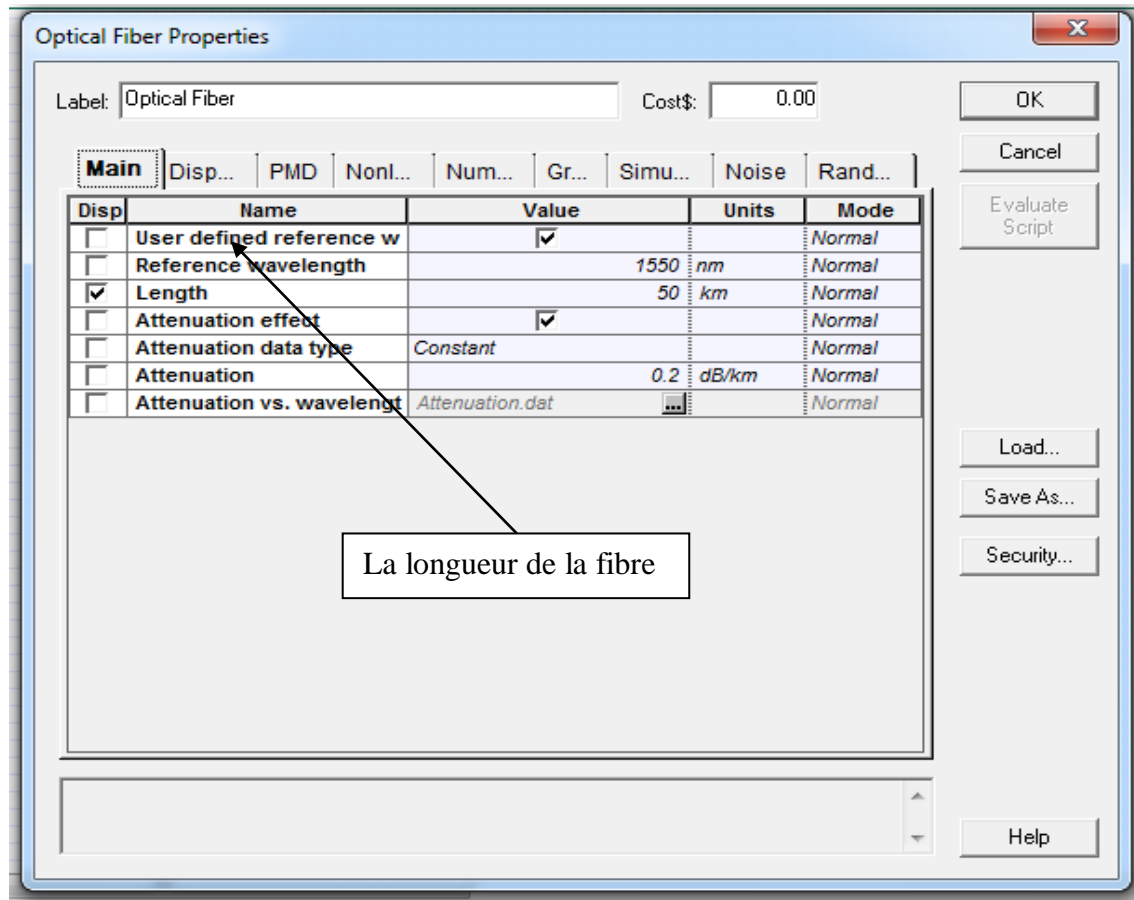


Figure III. 10 : Changement de paramètre d'un composant

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

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

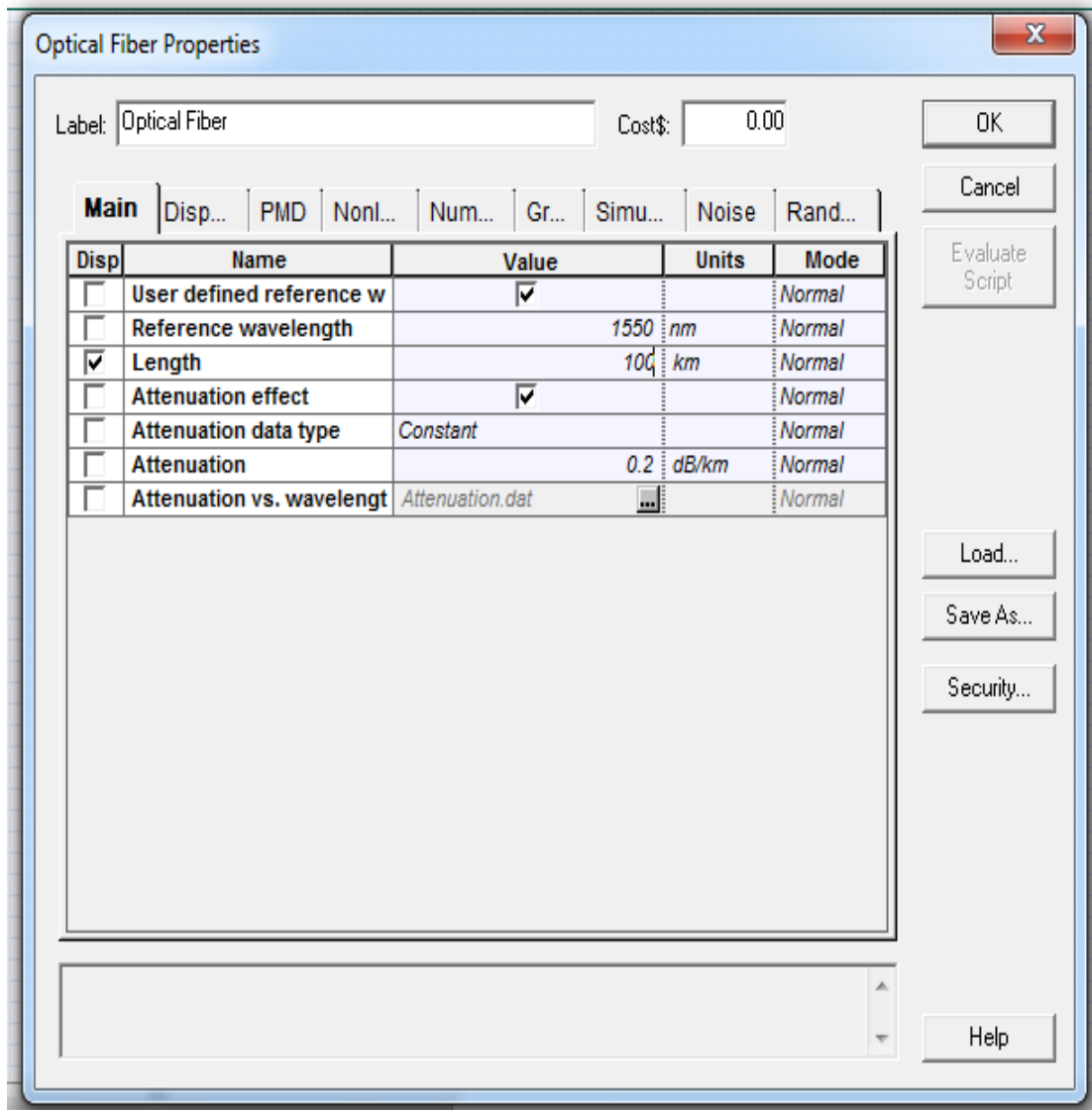


Figure III. 11 : La boîte de dialogue après le changement du paramètre

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 :

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

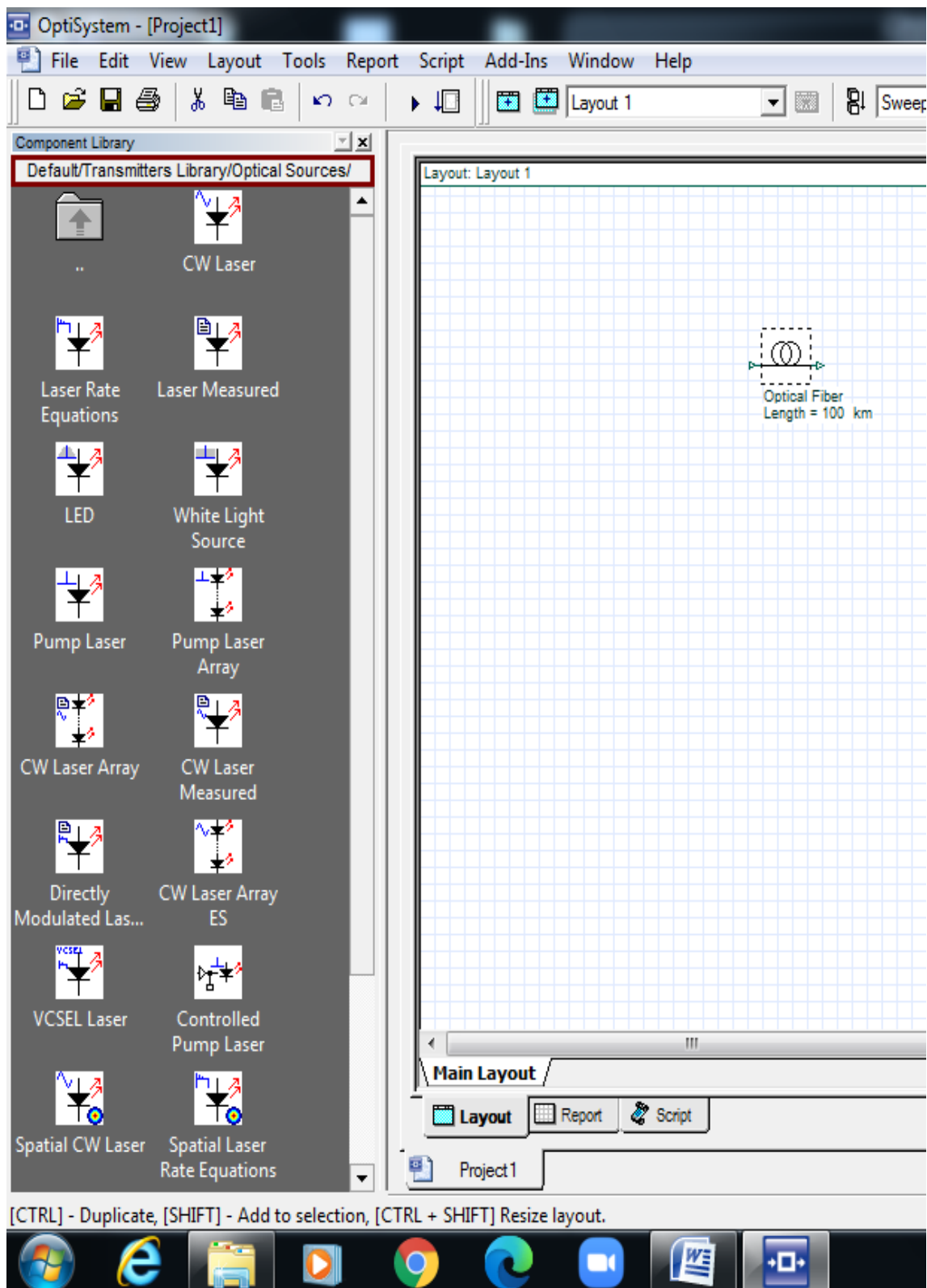


Figure III. 12 : Le groupe de composants Optical Sources

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

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

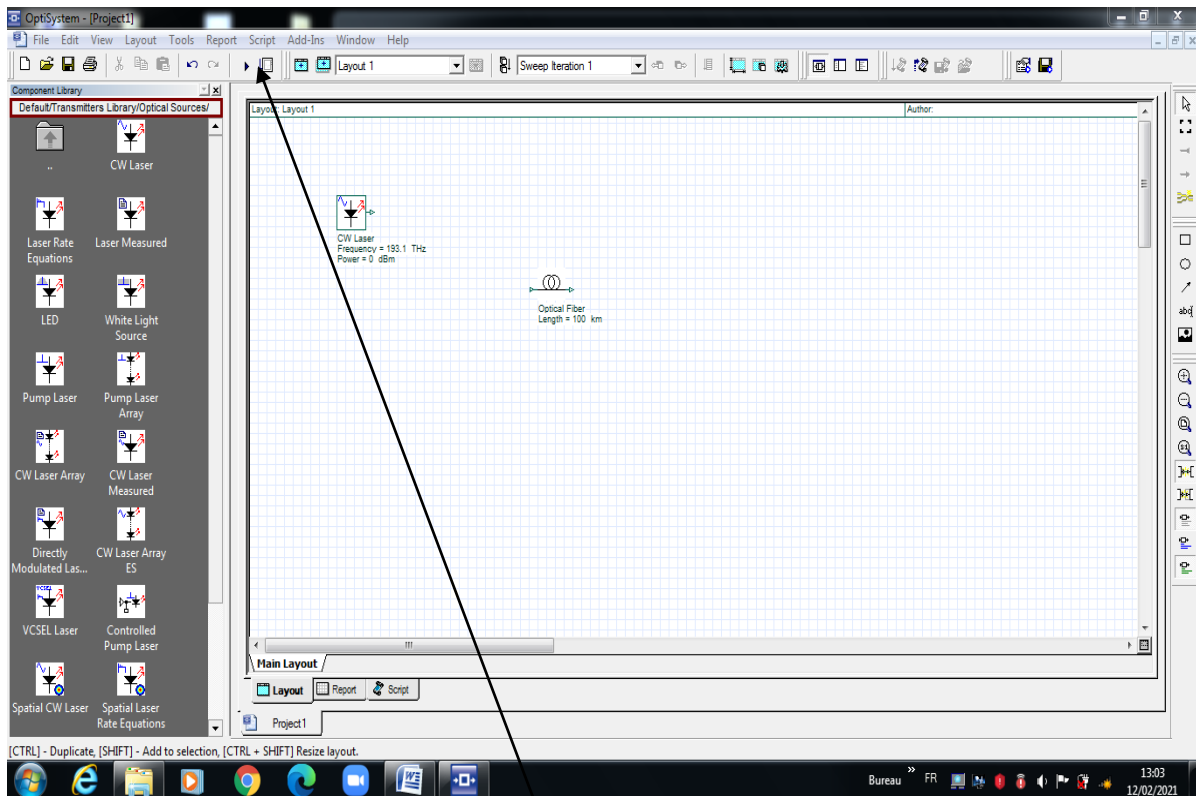


Figure III. 13 : La zone de travail après l'ajout du deuxième composant

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 fenêtre.

Une boîte de dialogue de simulation s'ouvre

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

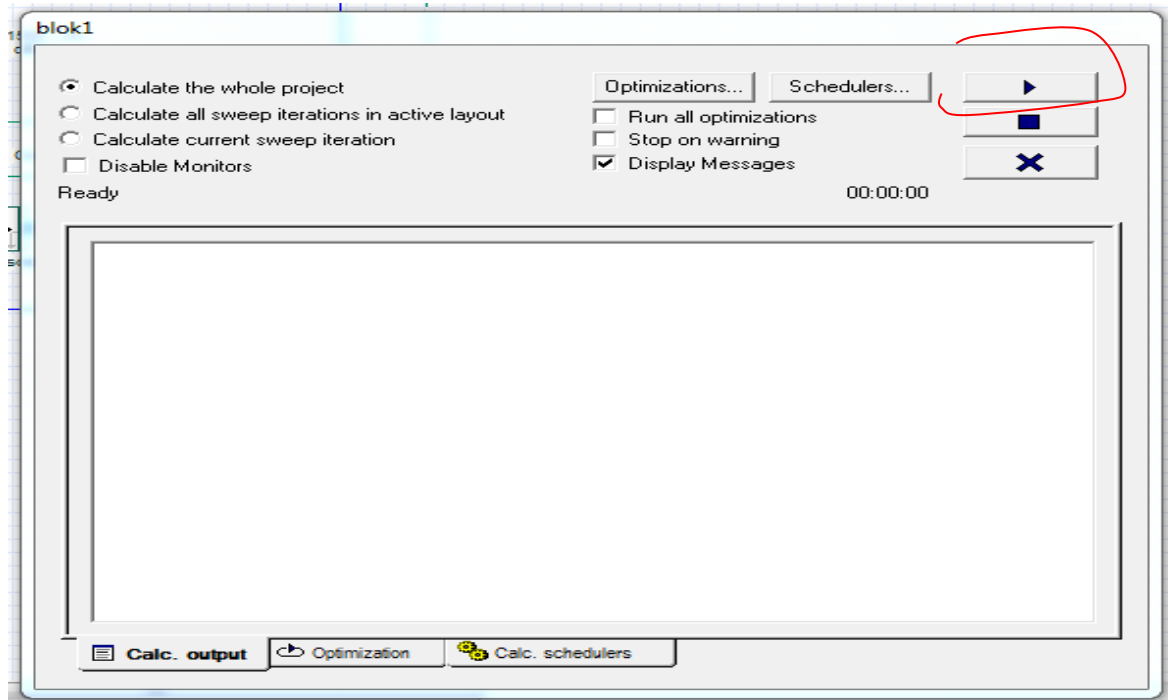


Figure III. 14. Boite de dialogue de simulation

Puis sur le bouton entouré par le rouge.

III. 5. 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. 15) :

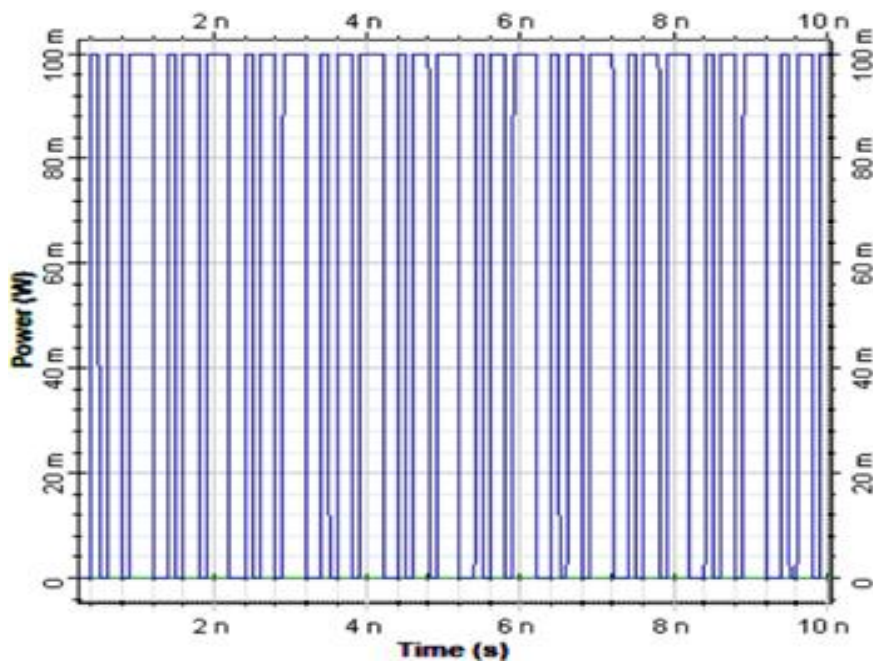


Figure III. 15 : Signal temporel à la sortie de l'émetteur.

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

On a un signal carré 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. 16) :

-

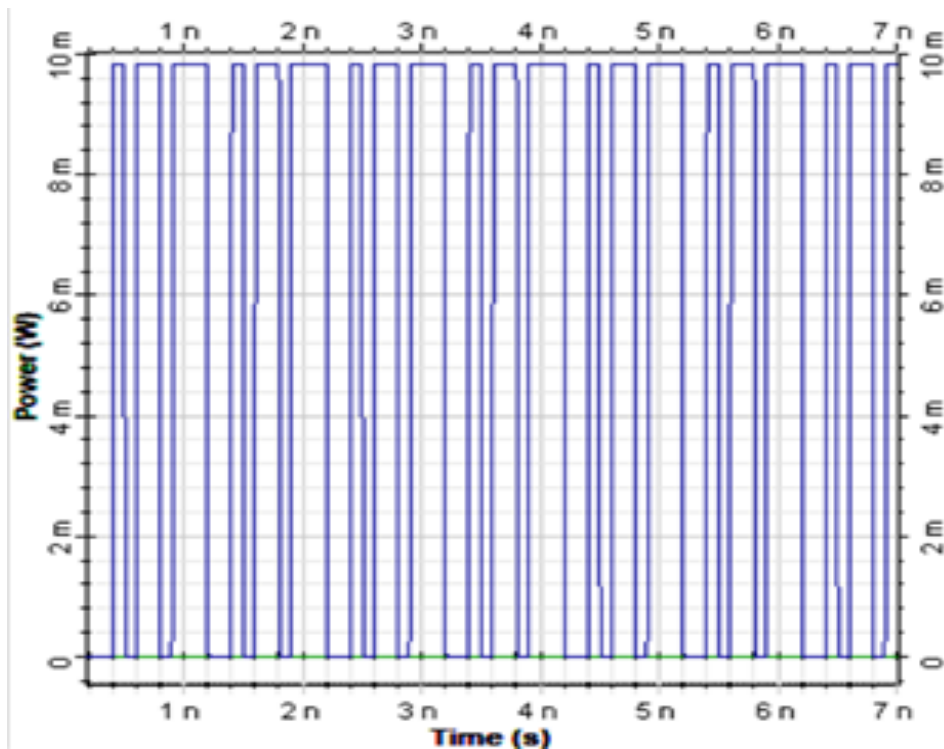


Figure III. 16 : signal temporel à l'entrée du récepteur.

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-détectrice (La diode PIN) voir (Figure III. 17) :

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

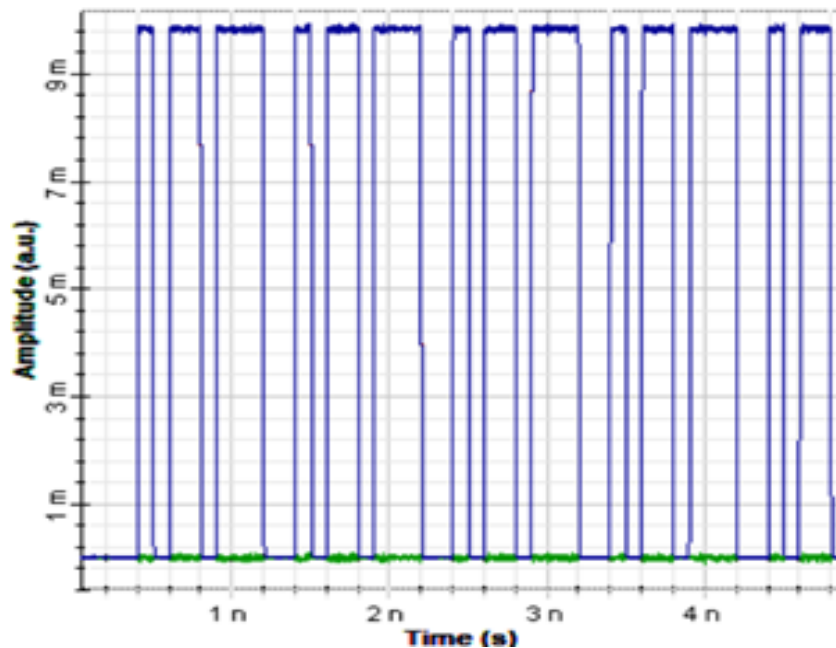


Figure III. 17 : Signal temporel à la sortie de la diode PIN.

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. 18)

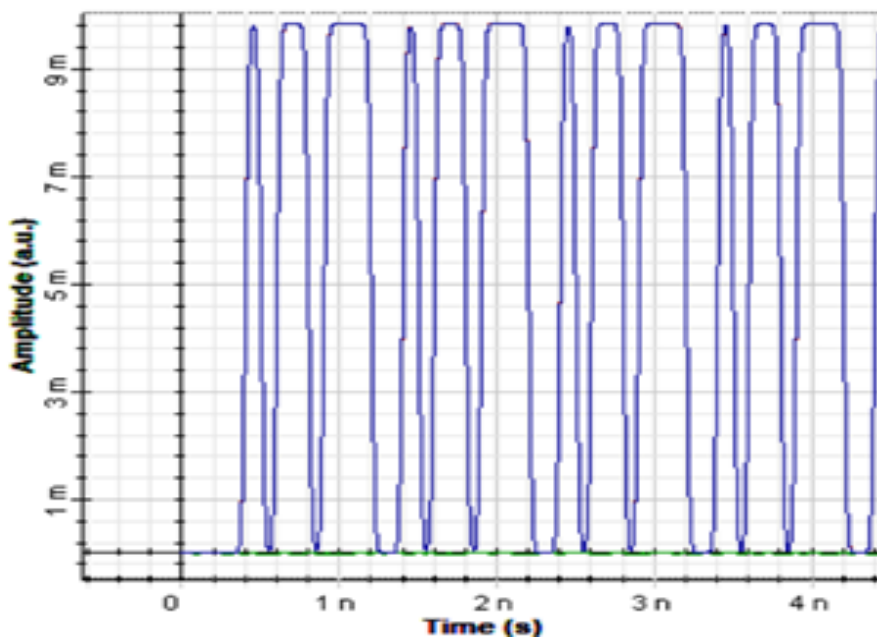


Figure III. 18 : Signal temporel à la sortie du filtre.

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

L'insertion de ce type du filtre supprime le bruit apparaît 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 19.

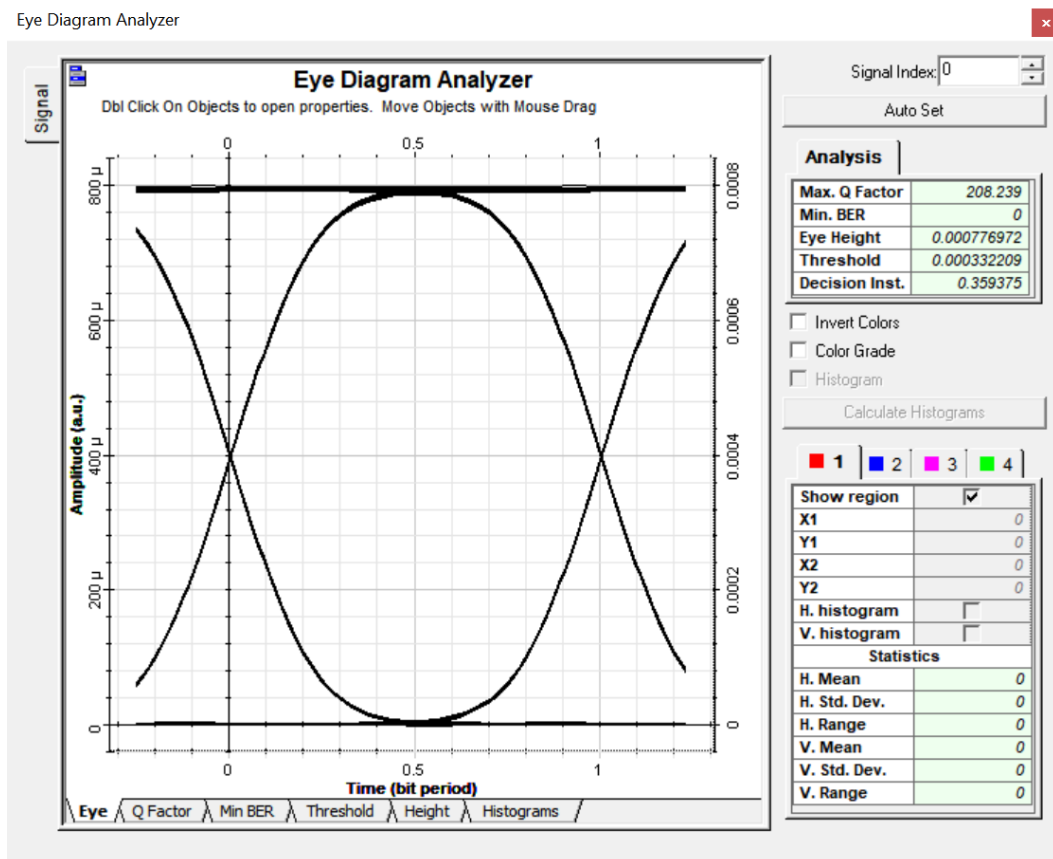


Figure 19 : Le digramme de l'œil pour juger Q et le BER (Q=208.23, BER=0).

Chapitre III : Réalisation par simulation d'une chaîne de transmission numérique sans fils

III. 7. Conclusion :

Suivant les étapes de simulation, on a amélioré le facteur de qualité du signal à transmettre, qui se propage dans l'espace libre, qui est inversement proportionnelle à la distance entre les antennes émettrices et celles réceptrices de cette chaîne de transmission, à cause la dégradation et le bruit créées par la diode photo-déetectrice (la PIN) au niveau du module de réception grâce à l'insertion du filtre passe bas après la détection et la démodulation du signal électromagnétique reçu.

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons présenté la simulation de la liaison optique à travers l'utilisation du logiciel Optisystem. Nous avons commencé par décrire les caractéristiques des différents composants optiques utilisés dans la liaison, notamment les diodes laser, les photos détectrices.

Ensuite, nous avons discuté de l'importance de la simulation pour optimiser la performance de la liaison. Nous avons présenté les différents paramètres qui peuvent affecter la qualité de la liaison, tels que la puissance optique, le taux d'erreur binaire (BER), la dispersion chromatique, la dispersion modale et la sensibilité de la photo détectrice.

Nous avons ensuite expliqué comment construire une liaison optique dans Optisystem en utilisant des blocs de traitement de signal optique. Nous avons montré comment configurer les différents paramètres de la liaison, tels que la longueur d'onde, la puissance de sortie, le type de modulation et le schéma de modulation.

Nous avons également présenté les résultats de la simulation, notamment les courbes de BER en fonction de la puissance optique d'entrée et les courbes de réponse en fréquence de la liaison. Nous avons montré comment analyser ces résultats pour optimiser la performance de la liaison en ajustant les paramètres de la simulation.

Enfin, nous avons conclu en soulignant l'importance de la simulation pour concevoir des liaisons optiques performantes. Nous avons également souligné l'importance de la compréhension des caractéristiques des différents composants optiques pour la conception de liaisons optiques de haute qualité comme notre système MIMO.

Références Bibliographiques

Les references

- [1] ArashKomaee, P. S. Krishnaprasad, and Prakash Narayan “Active Pointing Control for Short Range Optical Communication”, Communications in Information and Systems, Vol. 7, No. 2, pp. 177-194, 2007.
- [2] Nazmi A. Mohammed, Amr S. El-Wakeel and Mostafa H. Aly, “Performance Evaluation of FSO Link Under NRZ-RZ Line Codes, Different Weather Conditions and Receiver Types in the Presence of Pointing Errors”, The Open Electrical & Electronic Engineering Journal, Vol. 6, pp. 28-35, 2012.
- [3] Ha D. Trung, Nonmember and Anh T. Pham, “Performance Analysis of MIMO/FSO Systems Using SC-QAM Signaling over Atmospheric Turbulence Channels”, pp. 1-8, Presented in Part at IEEE ICC 2013.
- [4] AbdulsalamGhalib, Alkholidi and KhaleelSaeedAltowij, “Contemporary Issues in Wireless Communications” ISBN 978-953-51-1732-2, November 26, 2014.
- [5] Alexander Vavoulas, Harilaos G. Sandalidis, and DimitrisVaroutas, “Weather Effects on FSO Network Connectivity”, J. Opt. Commun. Netw. Vol. 4, No. 10, pp. 734-740, October 2012.
- [6] Ahmed Nabih ZakiRashed, Mohamed S. F. Tabbour, “Free Space Optics and Submarine Laser Communication Systems for Egyptian Climate Weather in the Presence of Atmospheric Turbulence”, International Journal of Research in Electronics and Communication Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 34-40, Jan-March 2014.
- [7] Shalini Khare, NamrataSahayam, “Analysis of Free Space For Different Atmospheric Conditions & Modulation Techniques”, International Journal of Modern Engineering Research, Vol.2, No. 6, pp 4149-4152, ISSN: 2249-6645, November-December 2012.
- [8] Optique géométrique — Wikipédia (wikipedia.org).
- [9] OPTIQUE - Optique non linéaire – Encyclopædia Universalis.
- [10] Communications optiques en espace libre — Wikipédia (wikipedia.org).
- [11] Tanaka, Y.; Haruyama, S.; Nakagawa, M.; , "Wireless optical transmissions with white colored LED for wireless home links, " Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2000. PIMRC 2000. The 11th IEEE International Symposium on, vol.2, no., p. 1325-1329 vol.2, 2000.
- [12] Grubor, J.;Randel, S.; Langer, K.-D.; Walewski, J.W.; , "Broadband Information Broadcasting Using LED-Based Interior Lighting", Lightwave Technology, Journal of, vol.26, no.24, p. 3883-3892, Dec.15, 2008.
- [13] Lee, I.E.; Sim, M.L.; Kung, F.W.L.; , "Performance enhancement of outdoor visible-light communication system using selective combining receiver", Optoelectronics, IET, vol.3, no.1, p. 30-39, February 2009.
- [14] Badreddin Koussa, « Optimisation des performances d'un système de transmission multimédia sans fil basé sur la réduction du PAPR dans des configurations réalistes », université de Poitiers, 2006.
- [15] T. Schenk, “RF Imperfections in High-Rate Wireless Systems: Impact and Digital Compensation”. Springer, 2008.
- [16] D. Catellain, B. Sueur and B. de Floch, “Les réseaux hertziens de diffusions numériques : du DAB à la TV numérique“, d’écho des recherches, n. 15 β, deuxième trimestre 1993.
- [17] Optisystem (version gratuite) télécharger pour PC (freedownloadmanager.org).
- [18] Optisystem (version gratuite) télécharger pour PC (freedownloadmanager.org).
- [19] Principales caractéristiques du logiciel Optisystem (123dok.net).