

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications.

Spécialité : Réseaux et Télécommunications.

Par : **HACHEMI DIYAE EL-HAK.**

Sujet

Analyse des performances de l'UWOC à l'aide de la technique SISO.

Soutenu publiquement, le 19 / 06 / 2023 , devant le jury composé de :

Mr. BOUACHA A	Professeur	Université de Tlemcen	Président
Mme. BADAOUI H	Professeure	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mr. KHELLADI M	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire : 2022 / 2023.

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire on remercie ALLAH, avant tout ; de nous avoir aidées à réaliser ce présent travail.

Nous adressons tout particulièrement à Mr < KHELLADI. M > Maître de conférence à la faculté de technologie de l'Université de Tlemcen ; notre encadrant pour l'intéressante documentation et pour la confiance qu'il nous a accordé ainsi que son soutien morale, ses appréciations qui nous ont guidé dans notre travail et de nous aider à trouver des solutions pour mieux résultats et mieux avancer.

Nos remerciements aussi ; s'adressent à Mr <BOUACHA. A > pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail en acceptant de présider le jury et à Mme <BADAOUI. H > d'avoir accepté d'examiner et évaluer notre travail, et notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation.

Enfin, que nos parents ; nos familles et nos amis trouvent à travers ces quelques lignes d'expressions de notre profonde gratitude pour leurs soutien et leurs encouragements de tous les instants ; on vous remercie chaleureusement a la promo RT.

Je dédie ce travail

A mon père

A ma mère

Tu as fait plus que une Mère puisse faire pour votre fils suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour puisse dieu, le tout puissant te préserver et t'accorder sante, longue vie et bonheur.

A ma chère sœur <<ACHWAK>>

A mon frère <<MONCEF>>

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous.

A mes chers amis de vie

*<<BOURSALI FAKHREDDINE>> <<BOUZIANE ABDELKRIM>> <<KEBRIT AISSAM>>
<<CHERIF YAHIA>>.*

DIYAE.

Résumé

La technologie de communication sous-marine est difficile et jusqu'à présent, il n'y a pas d'alternative à la technologie sonore pour la communication sans fil. Récemment, une communication sans fil optique a été proposée pour établir une liaison de communication fiable sous l'eau. Dans ce projet, une liaison de communication optique sans fil sous-marine est simulée sous les techniques de modèle de communication SISO, à l'aide de l'outil Optisystem. Nous avons utilisé la technique COD-OFDM. Les résultats obtenus sont satisfaisants. La distance de liaison est améliorée en augmentant le nombre de sous-porteuses de 500 m à 1000m.

Mots clés : Optique-OFDM, Radio sur Fibre, LED, LD, Facteur de qualité, MIMO, Optisystem.

Abstract

Underwater communication technology is difficult and so far there is no alternative to sound technology for wireless communication. Recently, optical wireless communication has been proposed to establish a reliable communication link under water. In this project, an underwater wireless optical communication link is simulated under SISO communication model techniques, using the Optisystem tool. We used the COD-OFDM technique. The results obtained are satisfactory. The link distance is improved by increasing the number of subcarriers from 500m to 1000m.

Keywords: Optic-OFDM, Radio over Fiber, LED, LD, Quality Factor, MIMO, Optisystem.

ملخص

تعد تقنية الاتصالات تحت الماء صعبة ولا يوجد حتى الان بديل لتقنية الصوت للاتصالات اللاسلكية وفي الآونة الأخيرة تم اقتراح الاتصال اللاسلكي البصري لإنشاء رابط اتصال موثوق تحت الماء في هذا المشروع تمت محاكاة ارتباط اتصال ضوئي لاسلكي تحت الماء باستخدام تقنيات نموذج الاتصال (SISO) وباستخدام أداة (Optisystem) واستخدمنا تقنية (COD-OFDM).

النتائج التي تم الحصول عليها مرضية. تم تحسين مسافة الارتباط عن طريق زيادة عدد الموجات الحاملة الفرعية من 500 متر الى 1000 متر.

الكلمات المفتاحية: Optique-OFDM، Radio sur fibre، LED، LD، عامل الجودة، Optisystem، MIMO.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES.....	9
LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS	11
LISTE DES TABLEAUX	12
INTRODUCTION GENERALE.....	13
CHAPITRE 1 : COMMUNICATION SANS FIL OPTIQUE SOUS-MARINE	15
1.1. Introduction	16
1.2. Système de transmission par fibre optique.....	16
1.2.1. Emetteur optique.....	17
1.2.2. Modulation optique.....	21
1.2.3. Récepteur optique	23
1.3. fibre optique	25
1.3.1. Ses compositions	26
1.3.2. différents types de fibre optique	26
1.3.3. Caractéristiques de la fibre optique.....	29
1.3.4. Avantages et inconvénients de la fibre optique	30
1.4. Application de l'optique dans les sous-marines.....	31
1.4.1. communication laser	31
1.5. phenomene d'absorption par l'eau	33
1.6. Conclusion.....	34
CHAPITRE 2 : TECHNIQUE DE MULTIPLEXAGE OPTIQUE PAR REPARTITION.....	
ORTHOAGONALE DE LA FREQUENCE	36
2 .1. Introduction	37
2 . 2. Définition et principe de L'OFDM.....	37
2 .2.1. Modulation optique OFDM.....	38
2 .2.2. Démodulation optique OFDM.....	39
2 .2.3. Notion d'orthogonalité	40
2 .2.4. Différents types de modulation des sous porteuses	42
2 .3. Problèmes d'interférences	45
2 .4. Avantages de l'OFDM optique	48
2 .5. Inconvénients de l'OFDM optique.....	48
2 .6. Conclusion.....	49
CHAPITRE 3 : TECHNIQUES DE MIMO.....	50
3.1. Introduction	51
3.2. Différents types de système MIMO	52
3.2.1. Système SISO	52
3.2.2. Système SIMO.....	53
3.2.3. Système MISO... ..	53
3.2.4. Système MIMO	54
3.3. Principe des systèmes MIMO.....	54
3.4. Système MIMO-OFDM.....	55
3.5. Capacités des systèmes MIMO	56
3.6. Intérêt des systèmes MIMO.....	56
3.7. OFDM avec détection optique directe	57
3.8. OFDM avec détection optique cohérente	58
3.9. Préfixe cyclique pour OFDM.....	59
3.10. Conclusion.....	60
CHAPITRE 4 : SIMULATION ET RESULTATS	61
4. 1. Introduction	62

4.2. Description de l'outil de simulation	62
4.3. Présentation de la liaison	64
4.4. Description de la chaine de transmission détection cohérent OFDM	64
4.4.1 : Partie d'émission	65
4.4.2 : Partie de transmission	66
4.4.3 : Partie de réception	67
4.5 : Résultats de simulation.....	67
4.5.1 : 1 ^{er} test : (Distance de 100 m).....	67
4.5.2 : 2 ^{eme} test : (Distance de 500 m).	70
4.5.3 : 3 ^{eme} test : (Distance de 1Km).	73
4.5.4 : 4 ^{eme} test : (Distance de 2.6Km).	75
4.6 : Résultats et discussion	76
4.7 : Conclusion.....	76
CONCLUSION GENERALE.....	77
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	79

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1

Figure 1.1 : Schéma simplifié le système de transmission

Figure 1.2 : Le couple (émetteur – récepteur)

Figure 1.3 : Structure d'un émetteur optique

Figure 1.4 : Symbole d'une diode

Figure 1.5 : Spectre d'émission d'une DEL

Figure 1.6 : Schéma représentatif de la diode LED

Figure 1.7 : Schéma des processus d'émission spontanée, d'absorption et d'émission stimulée

Figure 1.8 : Fonction de transfert du LASER

Figure 1.9 : Principe de la modulation optique directe

Figure 1.10 : Modulation externe

Figure 1.11 : Photodiode PIN

Figure 1.12 : Structure d'une photodiode à avalanche PDA

Figure 1.13 : Composition d'une fibre optique

Figure 1.14 : Fibre monomode

Figure 1.15 : Fibre à saut d'indice

Figure 1.16 : Fibre à gradient d'indice

Figure 1.17 : Atténuation en fonction de longueur d'onde

Figure 1.18 : Coefficient d'absorption de l'eau pure dans le visible en fonction de la longueur
d'onde

Chapitre 2

Figure 2.1 : Schéma de principe de la modulation OFDM

Figure 2.2 : Schéma de principe de la démodulation OFDM

Figure 2.3 : Principe d'orthogonalité des sous porteuses en OFDM

Figure 2.4 : Modulateur QPSK

Figure 2.5 : Constellation de la modulation de phase QPSK

Figure 2.6 : Modulateur MAQ-M

Figure 2.7 : Constellations MAQ-16 et MAQ-64

Figure 2.8 : Insertion du préfixe

Figure 2.9 : L'insertion d'un intervalle de garde

Chapitre 3

Figure 3.1 : Architecture du système SISO

Figure 3.2 : Architecture du système SIMO

Figure 3.3 : Architecture du système MISO

Figure 3.4: Architecture du système MIMO

Figure 3.5. Systeme DD-OFDM complete

Figure 3.6. System CO-OFDM complete

Chapitre 4

Figure 4.1 : Schéma de l'interface Optisystem

Figure 4.2 : La conception du système pour l'OFDM QAM-CD-optique proposé Système

Figure 4.3 : Schéma en bloc d'émission

Figure 4.4 : Schéma en bloc de transmission

Figure 4.5 : Schéma en bloc de réception

Figure 4.6 : Signal de CW Laser (émis-a- et reçu-b-)

Figure 4.7 : Signaux reçus avec bruit par le récepteur RF a différents sous-porteuses (a.128), (b.256),(c.512).

Figure 4.8 : Signal de CW Laser (émis-a- et reçu-b-)

Figure 4.9 : Signaux reçus avec bruit par le récepteur RF a différents sous-porteuses (a.128), (b.256), (c.512).

Figure 4.10 : Signal de CW Laser (émis-a- et reçu-b-)

Figure 4.11 : Signaux reçus avec bruit par le récepteur RF a différents sous-porteuses (a.128), (b.256), (c.512).

Figure 4.12 : Signal reçus avec bruit par le récepteur RF a différents sous-porteuses (a.128)

Figure 4.13 : Signal reçus avec bruit par le récepteur RF a différents sous-porteuses (a.128)

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ASK	Amplitude-Shift Keying
APD	Avalanche Photodiode
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BER	Bit Error Rate
DPSK	Differential Phase-Shift Keying
DSP	Digital Signal Processor
FFT	Fast Fourier Transform
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
ISI	Inter Symbol Interference
ICI	Inter Canal Interference
LD	Laser Diode
LED	Laser Electro Diode
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
NRZ	No Return to Zero
OWC	Optical wireless communication
O-OFDM	Optical orthogonal frequency division multiplexing
OOK	On/Off/Keying
PSK	Phase-shift keying
PIN	Positive Intrinsic Negative photodiode
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RZ	Return to Zero
SIMO	Single Input Multi Input
SISO	Single Input Single Input
UWOC	underwater wireless optical communications

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1

Tableau 1.1 : la comparaison entre les deux diodes

Tableau 2.2 : la comparaison entre les deux photodiodes

Tableau 1.3 : la comparaison entre les deux fibres

Tableau 1.4 : Comparaison d'UWOC dans les différentes recherches

Introduction générale

Introduction générale

Environ 73% de la surface de notre terre est enveloppée d'eau et grâce aux progrès technologiques rapides ; le domaine des communications sous-marines s'est développée rapidement et largement avec des applications complètes dans les systèmes commerciaux et martiaux ; telles que la surveillance à distance de la production pétrolière marine, la détection des catastrophes la sécurité national et plusieurs domaines.

L'étude des différentes techniques de communication sans-fil sous l'eau a joué le rôle le plus important dans l'Océan et d'autre environnement aquatiques ; contrairement à la communication sans fil terrestre ; les canaux sans-fil sous-marine sont influencées par des conditions intenses telles que le milieu nautique ; ainsi le canal sans-fil sous-marine est le plus compliqué et le plus difficile en raison de nombreuses circonstances telles que l'absorption , la diffusion , la transmission par trajets multiples , la dispersion , la bande passante restreinte et les sources d'alimentation ; alors que les systèmes sous-marines étaient confronté à ces circonstances exclusives , de nombreux déviations récentes ; qui n'ont pas rencontrées dans les systèmes de communication sans fil terrestres , émergent pour les futures réseaux sans fil sous-marines dans les systèmes de communication radiofréquence ,acoustiques et optique .

Au cours des derniers années de nombreuses recherches ont été effectuées sur les réseaux sans fil sous-marines , mais les développements ultérieurs de ce système continuent de poser des problèmes , compte tenu des défis posés par l'exploitation des canaux sans fil acoustiques et optiques ; il existe trois méthodes possible dans les communications sous-marines (Radiofréquences en envoyant des ondes électromagnétiques , Acoustique en envoyant des ondes sonores et Optique en envoyant des ondes optiques) ; Chacune de ces techniques présente des avantages et des limites .

Les ondes lumineuses sont des ondes électromagnétiques d'une longueur comprise entre 400 nanomètres (lumière bleue) et 700 nanomètres (lumière rouge) de longueur d'onde.

Le premier chapitre de ce mémoire est une description générale des composantes d'une liaison optique, les principales perturbations de la chaîne optique, à savoir les perturbations externes à la liaison et le bruit propre des éléments de cette chaîne dans le domaine de sous-marines sont également présentées.

Le second chapitre, présente la description générale sur la technique O-OFDM, nous allons proposer un déphasage différentielle QAM en utilisant le multiplexage par répartition orthogonale de fréquence optique à détection cohérente et nous allons examiner le système proposé avec différents nombres de sous porteuses OFDM.

Le troisième chapitre, présente la description générale sur la technique MIMO, nous expliquons ses différents types, et différents caractères et finalisons par des figures montrent l'architecture des différents types.

Le quatrième chapitre présente la description générale sur le logiciel Optisystem, développé par une société canadienne Optiwave, Optical Communication System Design Software ; et il est aussi consacré à la simulation et l'interprétation des résultats.

CHAPITRE 1

Communication sans fil optique sous-marine

1.1. Introduction

La communication optique sans fil (OWC) est considérée comme une technologie très puissante, sa première installation était dans les années 1970 comme système de communication téléphonique par fibre optique.

Cette technologie était réservée aux opérations militaires avant son introduction dans la retaille, par contre aujourd’hui plus de 80% de la communication de longue distance sont transportées le long de plus de 25 millions de kilomètres de câble à fibre optique dans le monde.

Plus des deux tiers de la surface terrestre sont recouverts d'eau. Développements récents dans les technologies ont conduit à l'exploration des méthodes de communication sans fil optique sous-marines (UWOC), puisque les ondes électromagnétiques sont plus absorbées par l’eau d’une façon générale, donc l’idée va l’optique pour utiliser de lasers Ce qui est devenu une technologie habilitante à plusieurs fins.

Dans ce chapitre nous allons étudier et décrire le système de transmission optique (l’émetteur au récepteur) et la composition de la fibre optique, ses types et ses caractéristiques, ses avantages ainsi que ses inconvénients et finalement les domaines d’applications de la fibre optique avec ses différentes conditions.

1.2. Système de transmission par fibre optique

Le système de transmission par fibre optique utilise des liaisons de données qui travaillent de manière similaire au schéma suivante :



Figure 1.1 : schéma simplifié d’un système de transmission [1].

Chaque liaison fibre se compose d'un émetteur à une extrémité d'une fibre et d'un récepteur à l'autre extrémité. La plupart des systèmes fonctionnent en transmettant dans un sens sur une fibre et dans le sens opposé sur l'autre, jusqu'au fonctionnement en duplex intégral, mais c'est possible. Pour transmettre dans les deux sens sur la fibre, il faut un coupleur, et la fibre est moins chère que les coupleurs [1].

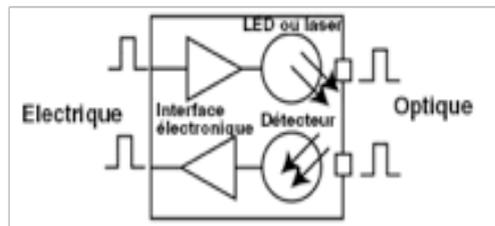


Figure 1.2 : Le couple (émetteur – récepteur) [1].

1.2.1. Émetteur optique

L'émetteur tout d'abord a besoin a une structure pour son fonctionnement (alimentation, source optique, modulateur) donc son fonctionnement est de prendre une entrée électrique et la convertir en un signal de sortie optique à partir d'une diode laser (DL) ou les diodes électroluminescentes (LED), la lumière provenant de l'émetteur est couplée dans la fibre avec un connecteur et est transmis à travers le réseau de câblés a fibre optique [1] [2].

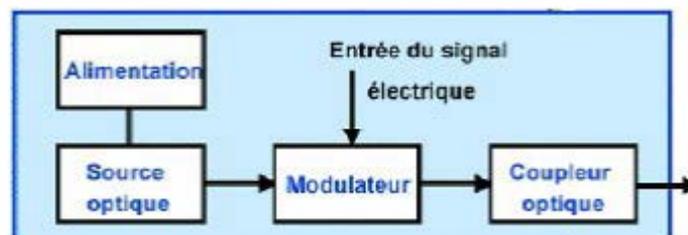


Figure 1.3 : Structure d'un émetteur optique [2].

A. Source optique

Les sources utilisées pour les émetteurs de la fibre optique doivent répondre à plusieurs critères pour meilleur fonctionnement de conversion (électro-optique) de l'énergie électrique en une énergie optique, parmi ces critères, elles doivent être à la longueur d'onde correcte , être capable de moduler suffisamment rapidement pour transmettre des données de manières efficaces et être couplée à la fibre[1].

Parmi les types principaux de source qui sont couramment utilisés on distingue deux types : la diode électroluminescente (LED) et la diode laser (DL) [3].

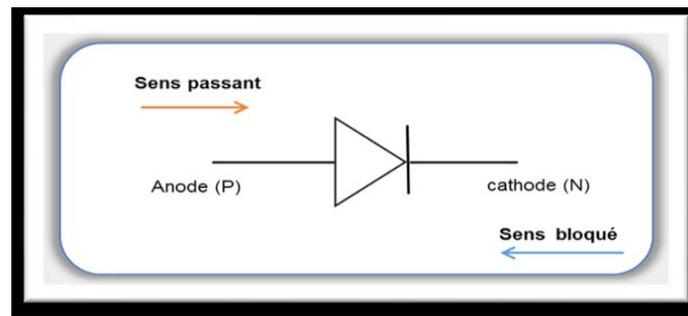


Figure 1.4 : Symbole d'une diode [3].

B. Diode électroluminescente (LED)

La diode (DEL) ou (LED) est le composant le plus simple, elle constitue d'un cristal semi-conductrice qui possédant deux couches (couche positive et couche négative), elle réalise directement l'émission des photons par recombinaison des porteurs dans une hétérojonction polarisée en direct.

La couche négative (N) conduit à un excès d'électron alors que la couche positive (P) conduit à un manque d'électron possédant des trous (emplacement où il manque un électron pour les atomes soit complètes) [4].

La diode (LED) nous donne une grande facilitée de pilotage et d'une longue durée de vie, mais sa lumière génère est émis dans toutes les directions avec des pertes important et la largeur de signal émis est grande environ 30 nm [4].

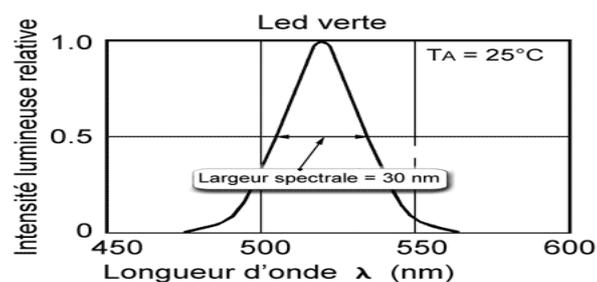


Figure 1.5 : Spectre d'émission d'une DEL [5].

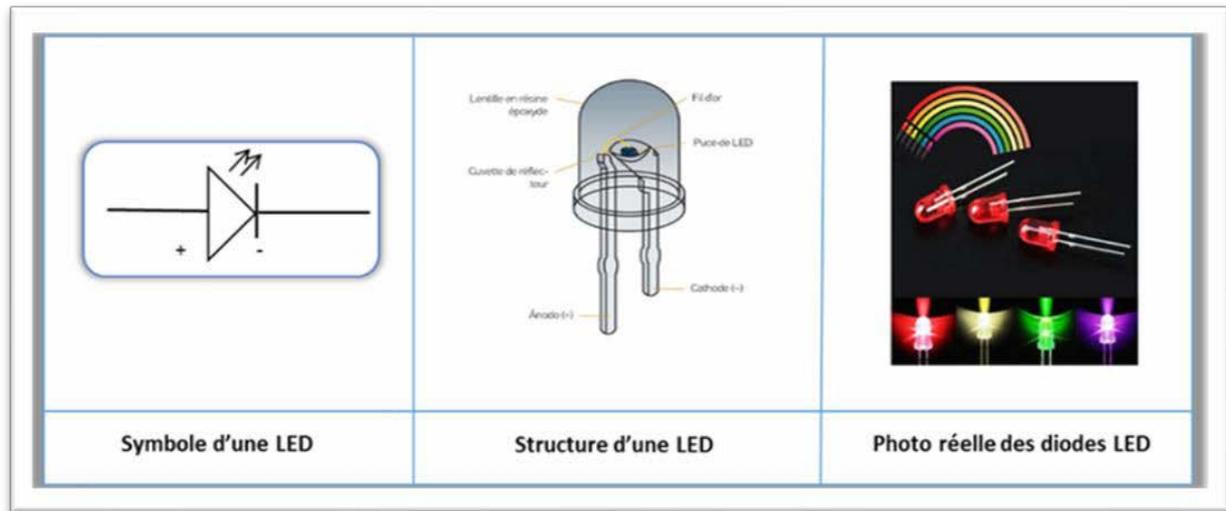


Figure 1.6 : Schéma représentatif de la diode LED [3].

C. Diode laser (DL)

Les diodes laser, comme les diodes électroluminescentes conventionnelles, sont des jonctions semi-conductrices, avec trois régions distinctes (couche de confinement négatif, couche de confinement positif et zone active) qui permettent aux couches d'optimiser l'utilisation du courant. Placée dans et autour de la diode pour plus d'efficacité, la zone active est formée par un guide d'onde encadrant l'emplacement de l'émission laser.

Comme les autres lasers, les diodes laser fonctionnent avec un milieu amplificateur via une émission stimulée, des structures résonnantes et des courants électriques [6].

Le fonctionnement forme par paire (électron-trou) passe d'un état de trois façons en absorbant un photon, il peut être amené dans un état plus énergétique et il passe de l'état lié (électro et trou recombines) à l'état ionisé (électron dans la bande de conduction et trou dans la bande de valence), de sa propre initiative il peut tomber dans un état moins énergétique, en émettant un photon dit (spontané) frappée par un photon, et il peut retomber dans l'état le moins énergétique en émettant un photon dit (stimulé) dans le rayonnement correspondant à la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation et le même directivité spatiale que le photon incident [7].

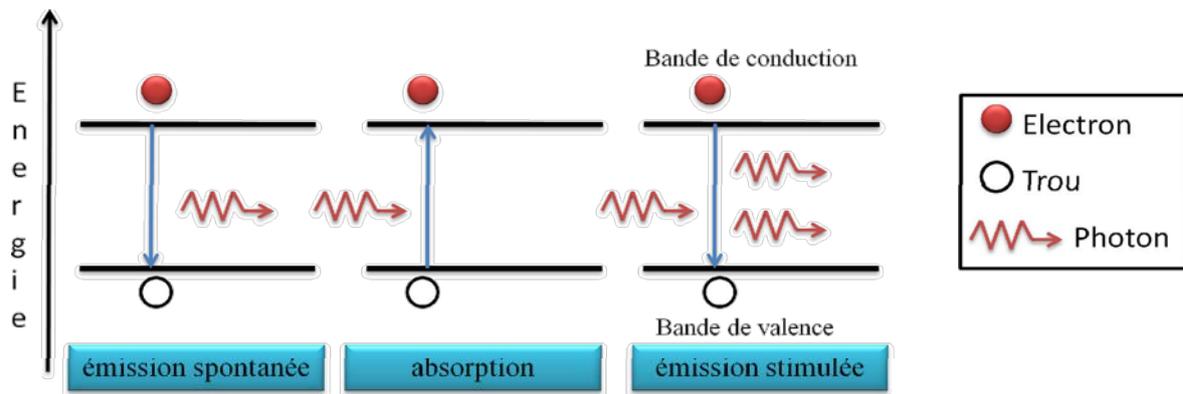


Figure 1.7 : Schéma des processus d'émission spontanée, d'absorption et d'émission stimulée [7].

D. Comparaison entre LED et LD

Bien que les (LED) et les diodes laser utilisent des jonctions (PN) et du courant pour émettre des photons et produire de lumière visible, ils diffèrent sur certains points fondamentaux.

Le tableau 1.1 résume la différence entre les deux diodes :

	Diode LED	Diode LD
puissance	Puissance faible	Puissance élevée
Longueur d'onde disponible	0.66 – 1.65 μ m	0.78 – 1.65 μ m
Type de fibre	multimode	Monomode et multimode
Puissance dans la fibre optique	0.01 mW	0.5 mW
Efficacité de conversion E/O	11 à 21 %	31 à 71 %
La vitesse	Plus lente	Plus rapide
Durée de vie	Plus long (100 ans environ)	Long (10 ans environ)

Tableau 1.1 : La comparaison entre les deux diodes [3].

De plus, la figure 1.8 suivante illustre les courbes caractéristiques de la puissance lumineuse en fonction du courant :

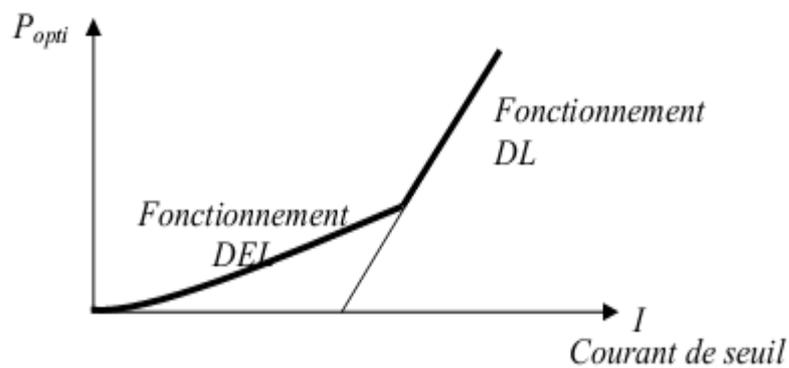


Figure 1.8 : Fonction de transfert du LASER [4].

I.2.2. Modulation optique

La modulation du signal au sein de la fibre optique est essentielle, elle permet deux fonctions :

- ✓ Générer l'information binaire à partir d'un signal physique.
- ✓ Traduire l'information binaire en niveau de puissance du signal lumineux.

Il existe deux types de modulation :

- ✓ Modulation d'amplitude (ASK).
- ✓ Modulation de phase (PSK).

Dans notre chapitre, on s'intéresse à la modulation (ASK), la procédure de cette modulation peut être de trois (03) types différents, à savoir le type direct, le type externe et le type (OOK) (on/off/keying) [3].

A. Modulation directe

La modulation directe peut être assimilée à une technologie de modulation de type très classique (ASK), se réalise en même temps de la transformation (électrique-optique), parce que la modulation du courant injecte en entre de la diode se fait directement.

Cette technique est plus simple et moins couteuse, mais au délai de quelque Gbits/s, on utilise la modulation externe.

Ce type de modulation provoque une modification dynamique (amplitude-fréquence) et du diagramme de rayonnement avec des effets nuisibles aux grandes vitesses de modulation [4].

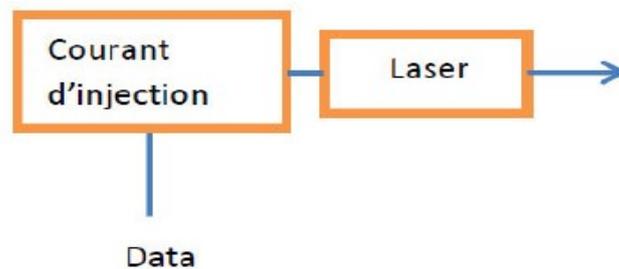


Figure 1.9 : Principe de la modulation optique directe [8].

B. Modulation externe

Pour les fréquences de modulation très élevées (à partir de 5 à 10 Gbits/s), On doit utiliser une modulation externe, en amplitude ou en phase, par un modulateur en optique intégrée qui suit le laser, le plus performant est le modulateur (électro-optique) qui permet de moduler l’amplitude

par tout ou rien jusqu’à 40 Gbits/s mais aussi de mettre en format (RZ) le signale, de réaliser les modulations duo binaire (DPSK, QPSK et les modulations amplitude-phase QAM) [9].

Le signal modulé envoyé dans la fibre est donc nettement moins affecté par ce phénomène mais également moins puissant que dans le cas de la modulation directe.

Le principe physique utilise dans ces modulateurs externes est soit la variation de l’indice de réfraction soit la variation de l’absorption) [4].

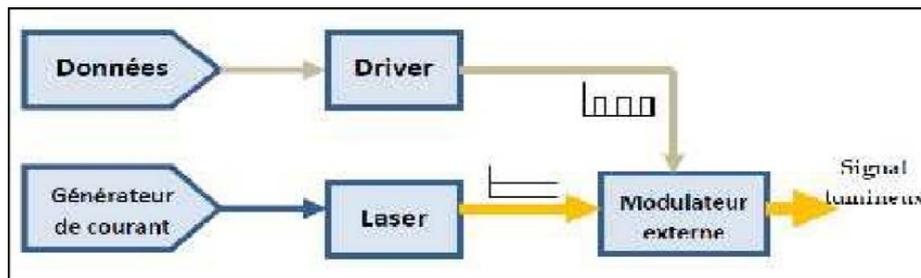


Figure 1.10: Modulation externe [5].

C. Modulation OOK (on/off keying)

La modulation (OOK) est la plus simple. Une impulsion est transmise si le bit <1> est présent et le bit <0> est représenté par l'absence d'une impulsion.

Cette modulation (OOK) propose deux principaux types d'impulsion (NRZ ou RZ).

Dans le cas de la modulation (OOK–NRZ), la durée d'une impulsion est plus court que la durée d'un bit, cette impulsion peut avoir les différentes valeurs de rapport cyclique, lorsque la valeur est inférieure à la durée unitaire, l'encombrement spectral augmente avec le facteur de rapport, tandis que la puissance moyenne, à l'amplitude identique, diminue du facteur équivalent [10].

1.2.3. Récepteur optique

La partie réception est la dernière étape du système de transmission, ayant pour rôle de recevoir le signal optique provenant de la fibre et le convertir en un signal électrique pour en extraire les données transmises

La photo détecteur est un composant à base de semi-conducteur dans les communications optiques, son rôle est de traduire le signal optique envoyé par la fibre optique en signal électrique, qui sera traité par des dispositifs électroniques. Dans notre étude nous, allons parler de photos détectrices les plus utilisées dans les systèmes de transmission par fibre optique qui sont : photodiode (PIN) et (APD) [11].

A. Photodiode (PIN)

Cette photodiode, polarisée en inverse, est réalisée de trois couches semi-conductrice, deux fortement dopées P et N, entre lesquelles existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque) ou il existe très peu de charge mobiles, car elles sont peu coûteuse, simple à utiliser et de performance satisfaisante, les (PIN) sont les plus utilisées.

Lorsqu'elle est polarisée en inverse, elle a alors une résistance très élevée et l'absorption de photons va créer un courant électrique, ce courant a une amplitude de proportionnelle à la totalité de l'intensité optique reçue sur la surface active (puissance active) [10].

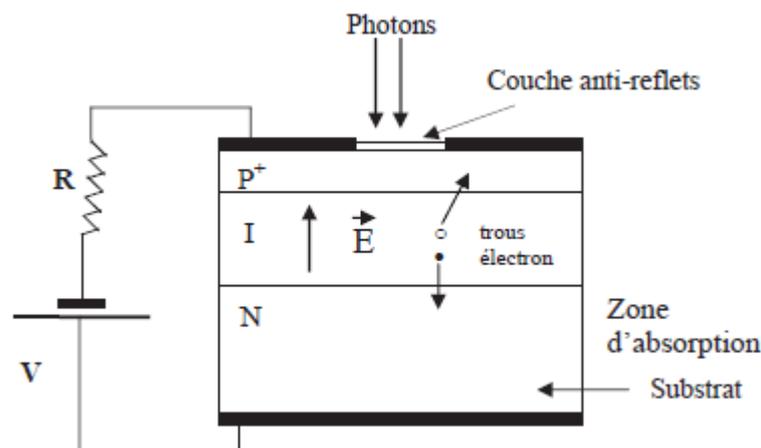


Figure 1.11 : Photodiode PIN [5].2

B. Photodiode à avalanche (APD)

Une photodiode à avalanche est une diode (PIN) avec amplification de puissance. Cela permet d'extraire un signal électrique fort même avec une sortie optique faible. Les photodiodes à avalanche sont utilisées en raison de leur puissance, de leur grande amplification et de leur vitesse élevée, mais elles sont coûteuses, difficiles à utiliser et nécessitent une polarisation inverse très importante [12].

L'effet du phénomène d'avalanche est donc d'une part une augmentation du niveau de signal et d'autre part une augmentation de la puissance de bruit de grenaille, ce qui conduit par conséquent à une augmentation de la puissance totale de bruit et à une modification du rapport entre la puissance de bruit thermique et la puissance de bruit grenaille [7].

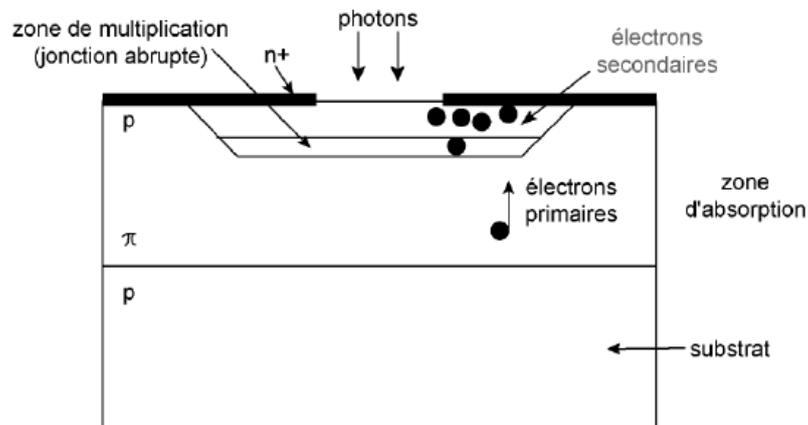


Figure 1.12 : Structure d'une photodiode à avalanche APD [13].

C. Comparaison entre PIN et APD

Le tableau 1.2 présente une simple comparaison entre PIN et APD :

Caractéristiques	PIN	APD
Technologie	Simple	Complexe
Mise en œuvre	Simple	Délicate
Gain interne	No	Oui (gain d'avalanche)
Tension de polarisation	Faible	Elevée
Courant d'obscurité	Faible	Moyenne
Facteur d'accès de bruit	Non	Oui

Tableau 1.2 : La comparaison entre les deux photodiodes [4].

1.3. Fibre optique

La fibre optique est un élément clé des systèmes de communication sans fil optique, offre un avantage majeur par rapport à la transmission analogique, elle transmet les données sous forme des rayons lumineux dans un câble en fibre optique.

Elle possède un grand nombre de propriété remarquable qui en font un support physique excellent pour les télécommunications, le signal lumineux transmis est code par une variation d'intensité, elle est capable de transmettre une grande quantité d'information.

1.3.1. Ses compositions

Le fil de verre se voit doter divers couches pour le maintenir et le protéger. Au cœur de la fibre se trouve le cœur ou l'âme. Elle permet de transporter le signal d'un point à un autre, entre la source de lumière et le récepteur. Il se compose de verre ou de plastique. Il en existe de différentes tailles, qui transportent plus ou moins de lumière. Son diamètre varie entre 50 et 100 micromètres. Autour de l'âme, on trouve la gaine. Elle participe à la circulation des ondes tout au long du cœur.

Le cœur et la gaine optique sont contenus dans un revêtement plastique qui protège les deux premiers composants de la fibre optique, Le revêtement offre une protection contre les chocs et courbures importantes. Son épaisseur varie selon les types de fibres, entre 250 et 900 micromètres. Afin de renforcer le fil, on y trouve les fibres de renfort, pour protéger l'installation des écrasements, des tensions excessives et des rongeurs.

Ces quatre éléments sont recouverts d'une gaine finale, qui imperméabilise totalement la lumière et permet sa réfraction.

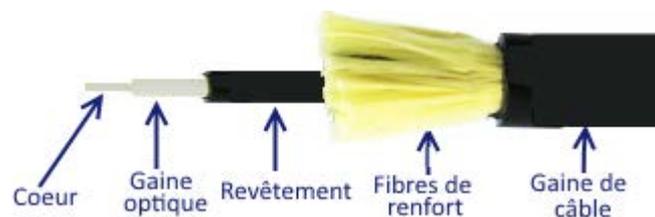


Figure 1.13 : Composition d'une fibre optique.

1.3.2. Différents types de fibre optique

Il existe deux types de fibre optique qui sont la fibre optique monomode et la fibre optique multimode qui elle a son tours est divisé en deux partie fibre multimode à saut d'indice et fibre multimode à gradient d'indice.

A. Fibre monomode

Cette fibre classique est à saut d'indice est faite d'un cœur de 5 micromètres, elle permet de transmettre un signal sur un seul mode, car la réduction du diamètre du cœur élimine la dispersion, toute fois il devient très difficile d'aligner correctement les fibres lorsqu'on veut les souder, c'est à dire faire une épissure, de plus la minceur du cœur rend difficile le captage de la lumière, car l'angle d'admission de celle-ci est considérablement réduite, il faut donc une source lumineuse très puissante et de petite dimension [14] [15].

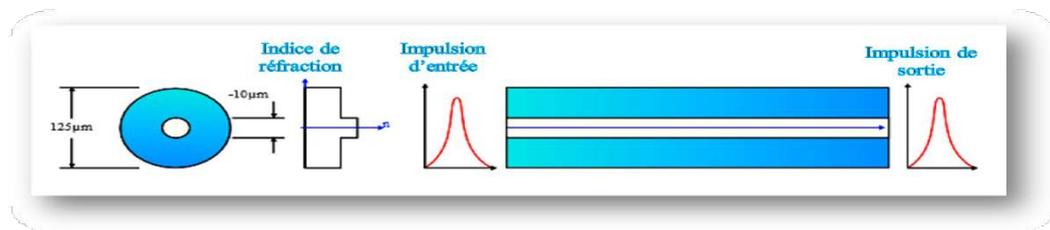


Figure 1.14 : Fibre monomode [15].

B. Fibre multimode

La fibre optique multimode a été la première utilisée, elle permet de transporter plusieurs lumineux simultanément, pour cela il faut avoir un diamètre du cœur important (environ 50 μm). Il existe deux types de fibre multimode :

✓ Fibre à saut d'indice

Cette fibre est constituée d'un cœur de 50 micromètres et d'une gaine ayant l'un et l'autre indice de réfraction différent, cette fibre a cependant un inconvénient, le rayon de la lumière subit une dispersion et voyage dans la fibre selon plusieurs modes, ainsi la distance parcourue par le rayon est différents pour chaque mode, car chacun de ceux-ci prend un chemin plus ou moins long et des lors toutes les modes n'arrivent pas en même temps, c'est pourquoi une impulsion de très courte durée arrive considérablement allongée après avoir parcouru plusieurs kilomètres dans ce type de fibre.

Cette fibre est destinée pour des transmissions courtes distances, elle utilise les longueurs d'onde 850 nm et 1300 nm [14].

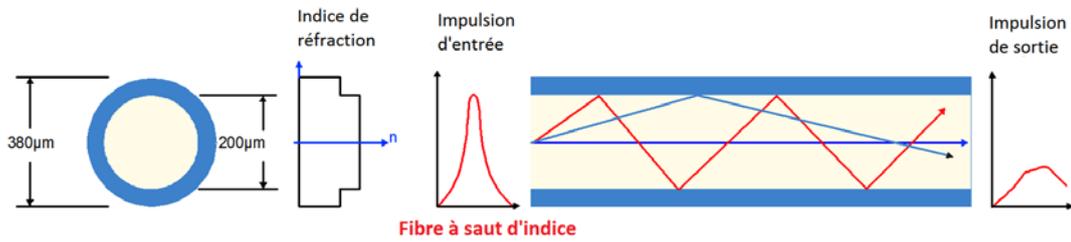


Figure 1.15. Fibre à saut d'indice [5].

✓ **Fibre à gradient d'indice**

Les fibres à gradient d'indice est faite de telle sorte que la lumière n'est plus réfléchié par un saut d'indice entre cœur et gaine, mais est constamment déviée vers le centre, ainsi étant donné que le mode empruntant le chemin le plus court voyage à une vitesse plus lente, et celui qui parcourt le chemin le plus long possède une vitesse plus élevée, tous les modes arrivent en même temps au même point [14].

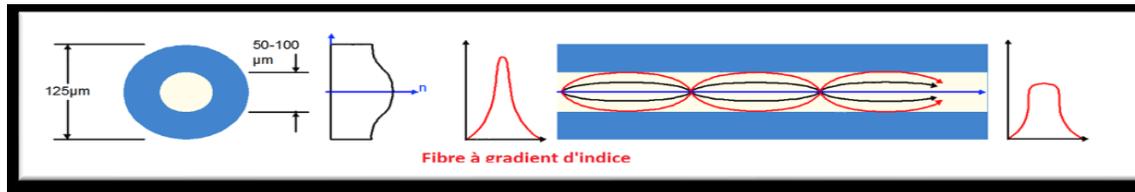


Figure 1.16. Fibre à gradient d'indice [5].

C. Comparaison entre la fibre monomode et multimode

Dans le tableau 1.3 on résumé la différence entre les deux fibres :

<u>Fibre monomode</u>	<u>Fibre multimode</u>
Faible dispersion	Forte dispersion
Connexion délicate	Connexion facile
Faible atténuation	Forte atténuation
longues distances	Petites distances

Tableau 1.3 : La comparaison entre les deux fibres.

1.3.3. Caractéristiques de la fibre optique

A. Atténuation

L'énergie transportée par l'onde optique subit une atténuation attribuable à deux phénomènes physiques dans le matériau : (la diffusion et l'absorption). Quand la lumière rencontre une irrégularité de dimension inférieure à sa longueur d'onde, elle est diffusée.

L'atténuation due à la diffusion Rayleigh est proportionnelle, ce qui nous conduit à travailler à des longueurs d'onde élevées (infra-rouge), l'absorption de la lumière se produit chaque fois qu'un photon entrant en action avec un atome, une molécule ou un solide a suffisamment d'énergie pour induire une transition électronique.

L'atténuation dans les fibres optiques résulte de plusieurs mécanismes :

- ✓ Les Pertes intrinsèque : dépendent de la nature physico chimique de la fibre optique.
- ✓ Pertes par absorption moléculaire : elles sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et les impuretés contenus dans celle-ci.
- ✓ Les irrégularités involontaires de structure provoquent des pertes par diffusion (diffusion Rayleigh).
- ✓ Pertes extrinsèques : dépendent du couplage fibre-fibre ou fibre –composant.

- ✓ Les pertes dues aux conditions d'utilisation des fibres. Toute courbure trop serrée créé des pertes par rayonnement.
- ✓ Les fibres sont toujours utilisées par tronçons de longueur finie, raccorde entre eux, chaque jonction peut provoquer une perte de raccordement.
- ✓ Pertes dues aux connexions : Les épissures qui relient les extrémités d'une fibre Optique d'une façon permanente, ainsi que les raccordements entre la fibre et les Équipements d'émission et réception, peuvent introduire des pertes.

En plus, les fréquences sont peu habituelles dans la mesure où les télécommunications optiques, se font à des longueurs d'ondes des infrarouges entre 1000 et 1550 nm.

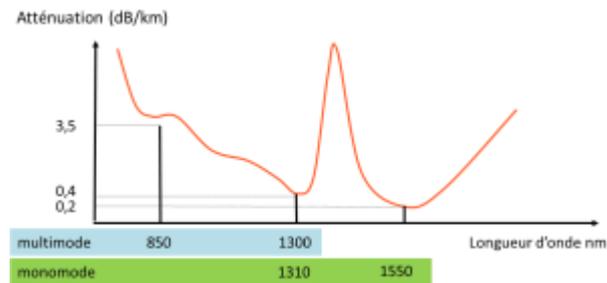


Figure 1.17 : Atténuation en fonction de longueur d'onde [17].

1.3.4. Avantages et inconvénients de la fibre optique

- Parmi les avantages de la fibre optique, on cite principalement :
 - ✓ Les fibres optiques peuvent être regroupées dans un câble de même diamètre, qui permet à plusieurs lignes téléphoniques de passer par le même câble
 - ✓ Les pertes de signal dans la fibre optique sont moindres que celles du fil de cuivre.
 - ✓ Elle offre une meilleure qualité de connexion internet.
 - ✓ Les signaux lumineux d'une fibre n'interfèrent pas avec ceux d'autres fibres de mêmes câbles.
 - ✓ La durée de vie est plus longue, plus de 100 ans.
 - ✓ Le coût global d'un système sur fibre optique est de plus en plus souvent inférieur à celui d'un système en cuivre, car la matière de base utilisée est la silice (verre très pur composé de dioxyde de silicium).
 - ✓ Très faible atténuation.
 - ✓ Faible poids.
 - ✓ Quantité d'information transmise par câbles importante.

- Parmi les inconvénients de la fibre, on cite principalement :
 - ✓ Les pertes de raccordement entre différents composants optiques du système.
 - ✓ L'obligation d'utiliser des répéteurs au cas de longues distances.
 - ✓ Les interfaces électrique-optique ainsi que les connecteurs sont d'un prix élevé.
 - ✓ Le coût élevé de l'installation.
 - ✓ La fragilité (les brins de fibre optique se cassent facilement).
 - ✓

1.4. Applications de l'optique dans les sous-marines

La technique actuelle de communication de l'information en milieu sous-marine , via des ondes acoustiques et radiofréquences , possédant de nombreuses limites en thème de la portée du signal , de débit , de données ou latence à la réception , ces nombreuses limitations ont conduit à l'utilisation de la communication laser .

1.4.1. Communication laser

C'est une véritable révolution dans le domaine de la télécommunication sous-marine, en levant ces verrous, parmi les recherches validées comme étape, c'est l'échange de données et la communication directe, c'est à dire, elle permet de transmettre les données par lumière dans l'eau, elle souvent utilisée pour des applications militaires, la recherche scientifique ou bien la surveillance pipelines sous-marine.

- **Les avantages**

- ✓ L'idée de la communication optique sans fil (laser) est apparue comme une solution complémentaire ou alternative à la communication acoustique sous-marine. En plus, une efficacité énergétique supérieure.
- ✓ Elle offre un débit de données élevée (Gbps) en raison de la haute fréquence du porteuse optique, avec nécessité d'une faible puissance de fonctionnement à des quelques watt.
- ✓ Elle donne une sécurité en raison de la directivité des signaux optique et une latence beaucoup plus faible.
- ✓ En plus, les transmissions à longue distances dans les environs de 100 mètres avec des grands débits (Gbps) [18] [19] [20].

- **Résultats des dernières recherches concernent les débits et les distances**

Depuis plusieurs démonstrations expérimentales de la communication laser sous-marine à haut débit de l'ordre (Gbps) de nombreux travaux, on explore un débit de données plus élevé et une plage de transmission plus longue dans les systèmes communications sans fil optique sous-marine à la base de laser.

- ✓ Récemment, les recherches ont démontré un débit de 4.8 Gbps sur un canal d'eau de distances de 5.4 mètres, En utilisant la modulation

d’amplitude en quadrature par multiplexage de réception (QAM ; OFDM).

- ✓ D’autres recherche, ont démontré une transmission de débit 2.7 Gbps sur un canal d’eau de 34.5 mètres, en utilisant la modulation (ON-OFF keying) (OOK) base sur laser de 520 nm.
- ✓ Généralement, l’Agence japonaise pour les sciences et technologies marine et terrestre a mis au point le système (UWOC) de 20 Mb/s sur une distance de 120 mètres dans les eaux océanique et de profond de 700 mètres [18] [19] [20].

Et comme comparaison directe, le tableau 1.4 résume certain résultats des recherches et travaux récent.

Transmit ter type	Light output power	Photo detector	Distance (m)	Data rate
450-nm LD	15 mW	APD	5.4	4.8 Gb/S
520-nm LD	15 mW	APD	5/21	5.5 Gb/S
520-nm LD	19.4 mW	PIN/AP D	34.5	2.7 Gb/S
450-nm LD	20 mW	APD	15	7.3 Gb/S
450-nm LD	120 mW	PIN/AP D	1.7/10.2	14.8/10.8 Gb/S
450-nm LD	120 mW	PIN	1.7/10.2	12.4/5.2 Gb/S
680-nm LD	3 mW	PIN	10	25 Gb/S
single 450-nm LD	120 mW	PIN	5/55	16.6/6.6 Gb/s

Tableau 1.4 : Comparaison d’UWOC dans les différentes recherches [20].

1.5 Phénomène d'absorption par l'eau

La technologie du laser présente également quelque limite, tous d'abord la longueur d'onde de laser doit situer dans le domaine (bleu-vert) et du spectre visible de l'intervalle entre (450 et 550) nm, sinon les photons seraient absorbés par l'eau en quelques mètres à causer d'atténuation.

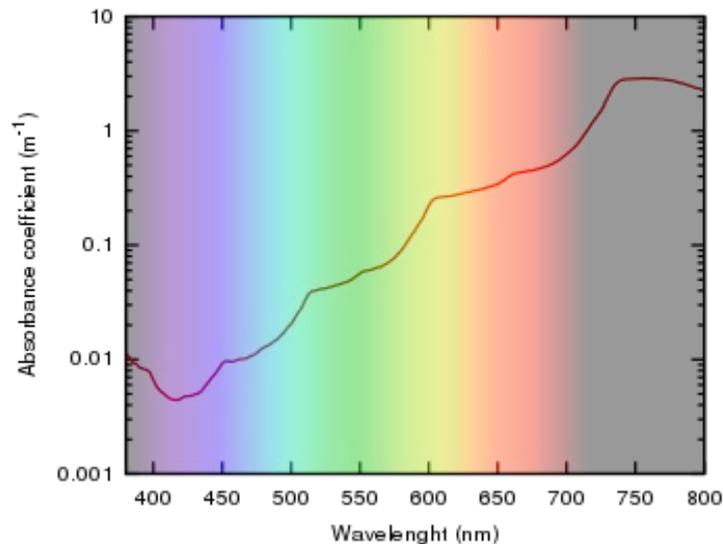


Figure 1.18 : Coefficient d'absorption de l'eau pure dans le visible en fonction de la longueur d'onde [1].

- ✓ En outre, la directivité de la lumière nécessite un bon alignement de nœud, c'est à dire un petit décalage de l'emplacement de la réception peut donner une transmission non couverte.
- ✓ En plus, la diversité spatiale, en utilisant souvent la transmission à entrées multiples et sorties multiples (MIMO) dans les communications par lumière car il peut améliorer la portée de communication à atténuer l'évanouissement induit par la turbulence de canal [18] [19] [20].

- **Défis et difficultés**

- ✓ La communication laser sous-marine présente son propre ensemble de défis dans l'océan, tout comme les faisceaux lumineux sont soumis à la turbulence atmosphérique, il subit également à des turbulences aquatiques, ces turbulences dégradent l'intensité et la phase de signal et donc la qualité de l'information transmise.
- ✓ Les faisceaux laser sont entravés par une absorption et diffusion importantes, qui limitent à la fois les distances que les faisceaux peuvent parcourir et le taux de signalisation des données.
- ✓ Les conditions météorologiques et l'état de la mer prouvent également affecter la transmission des signaux.
- ✓ Finalement, le défi important c'est la perte de la puissance optique reçue avec la longueur de liaison [18] [19] [20].

1.6. Conclusion

Dans ce chapitre , on a vu une démonstration de système de transmission par fibre optique , les composants d'émetteur et récepteurs , puis les différents types de modulation et quelque points caractéristiques de fibre optique avec ses avantages et inconvénients.

Finalement, la relation appliquée entre la fibre optique et l'utilisation dans les sous-marine, soutenue par des résultats des recherches et travaux comme avantages, conditions et défis ou difficulté de cette application.

CHAPITRE 2

Technique de multiplexage optique par répartition Orthogonale de la fréquence

2.1. Introduction

Le multiplexage optique par répartition orthogonale de la fréquence OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing) a récemment été appliqué aux communications optiques, l'une des principales raisons est la demande croissante de débits de données accrus sur les supports optiques dispersifs.

L'O-OFDM (optical orthogonal frequency-division multiplexing) a été proposé pour faire face aux mises à niveau vers la prochaine vitesse de transmission dans les réseaux hautement reconfigurable, c'est également une bonne option pour les communications optiques longue distances, notamment car il peut être conçu pour être extrêmes tolérant à la dispersion chromatique.

Cette technique apparition tardive en optique était principalement due à l'absence d'une technologie DSP (Digital Signal Processor) mature à vitesse optique et également en raison des restrictions de signal dans plusieurs systèmes, et aussi les symboles OFDM typique créés avec la FFT (Fast Fourier Transformer) sont bipolaires et complexe, alors que ces systèmes nécessitent des signaux positifs et réels avant le modulateur, par conséquent ; beaucoup d'efforts ont été consacrés à l'adaptation du signal OFDM à ces exigences.

2.2. Définition et principe de l'OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexage) est une technique de modulation multi porteuses, consiste à transmettre des données numériques ou bien le signal numérique sur un grand nombre des sous-porteuses orthogonales entre elles, les signaux des différentes sous-porteuses se chevauchent mais grâce à l'orthogonalité n'interfèrent pas entre eux , l'implémentation de la modulation et la démodulation se effectue à l'aide de circuit performants basée sur la transformée de Fourier rapide (FFT) .

Cette technique de multiplexage en N flux parallèles transmis sur N canaux en introduisant des intervalles de garde entre les blocs, elle a été aussi utilisée dans le domaine optique pour corriger la dispersion chromatique du canal optique, permettant une transmission à longue distance à haut débit.

2.2.1. Modulation optique OFDM

Le principe de la modulation OFDM est de regrouper des données numériques par paquets de N, qu'on appellera symbole OFDM et de moduler par chaque donnée une porteuse différente. Plus précisément, les données numériques C_k sont des nombres complexes définis à partir des éléments binaires par une constellation de modulation QAM (modulation d'amplitude en quadrature) à plusieurs états (4, 16, 64 états).

Un symbole OFDM comprend l'ensemble de l'information contenue dans l'ensemble des porteuses à un instant (t), et comme remarque, le multiplexage est orthogonal si l'espace entre les fréquences est $\frac{1}{T_u}$ alors [21] :

$$F = f_0 + \frac{K}{T_u} \tag{2.1}$$

Le signal individuel s'écrit sous forme complexe : $C_k e^{j2\pi f_k t}$, et le signal S(t) total correspondant à toutes les données d'un symbole OFDM est la somme des signaux individuels est donnée par l'expression suivante [2] :

$$S(t) = \sum_{K=0}^{N-1} C_K e^{j2\pi f t} \tag{2.2}$$

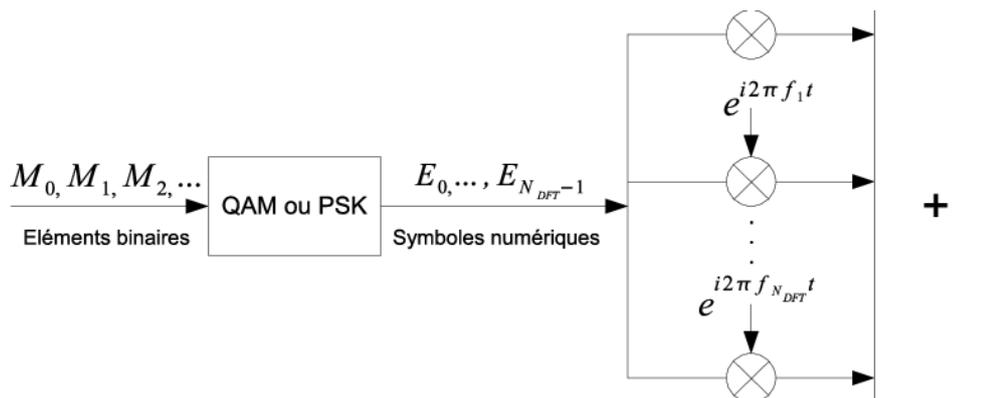


Figure 2.1. Schéma de principe de la modulation OFDM .

En pratique, à la modulation on remarque qu'elle peut être réalisée par une transformée de Fourier, donc il suffit d'appliquer l'algorithme de IFFT (Inverse Fast Fourier Transformer) sur ces symboles C_k pour réaliser la modulation OFDM.

Notons que dans les cas des communications à haut débits, il est important d'ajouter Codeur/Décodeur de correction d'erreur à la modulation/démodulation, les schémas OFDM codés connus sous le nom de COFDM (Coded OFDM).

2.2.2. Démodulation optique OFDM

En réception, le processus inverse est effectué le signal reçu afin d'être traité est ramené à sa fréquence de départ, il est réparti pour aller dans plusieurs entrées, afin que le préfixe cyclique soit retiré.

Les données binaires sont démodulées par la suite dans le bloc de terme généralement employé, c'est l'inverse de l'opération effectuée en émission, par exemple si c'est de M.PSK en émission il faut de M.PSK.

On se trouve après cette étape le signal original dont la vraisemblance avec celui qui est transmis dépend des perturbations introduites par le canal et les erreurs de traitements.

Le signal parvenant au récepteur s'écrit sur une durée de symbole T_s comme suite :

$$R(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k \cdot H(t) e^{2j\pi(f + \frac{k}{T_s})t}. \quad 2.3$$

Où $H(t)$ est la fonction de transfert du canal autour de la fréquence :

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} \quad 2.4$$

et au temps (t), Cette démodulation classique consiste à démoduler le signal suivant les N -sous porteuses [21].

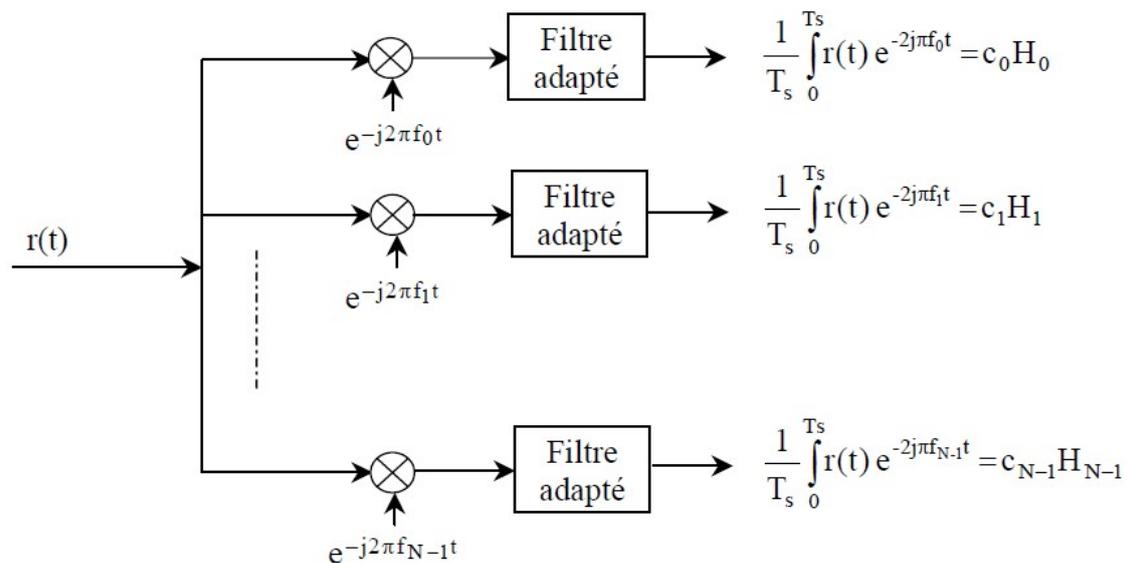


Figure 2.2 : Schéma de principe de la démodulation OFDM [23].

En pratique, à la démodulation on remarque qu'elle consiste à effectuer une transformée de Fourier discrète des symboles reçus à l'aide de l'algorithme FFT pour réaliser la démodulation OFDM.

2.2.3. Notion d'orthogonalité

Le principe de L'OFDM consiste à repartir sur un grand nombre de sous porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre, pour que les fréquences des sous porteuses soient les plus proches possible et ainsi transmettre le maximum d'information sur une portion de fréquence données.

L'OFDM utilise des sous porteuses orthogonales entre elles, les signaux des différentes sous porteuses modulées chevauchent le spectre des deux porteuses voisines sans qu'il y ait de l'influence mutuelle, grâce à l'orthogonalité les signaux n'interfèrent pas entre elles.

On peut démoduler séparément toutes les porteuses sans aucune diaphonie mutuelle, simplement en choisissant leur espacement, en outre on ne gaspille pas de spectre et les porteuses sont situées de manière à occuper la même largeur des spectres qu'une seule porteuse modulée avec toutes les données et filtrée avec un filtre idéal [24].

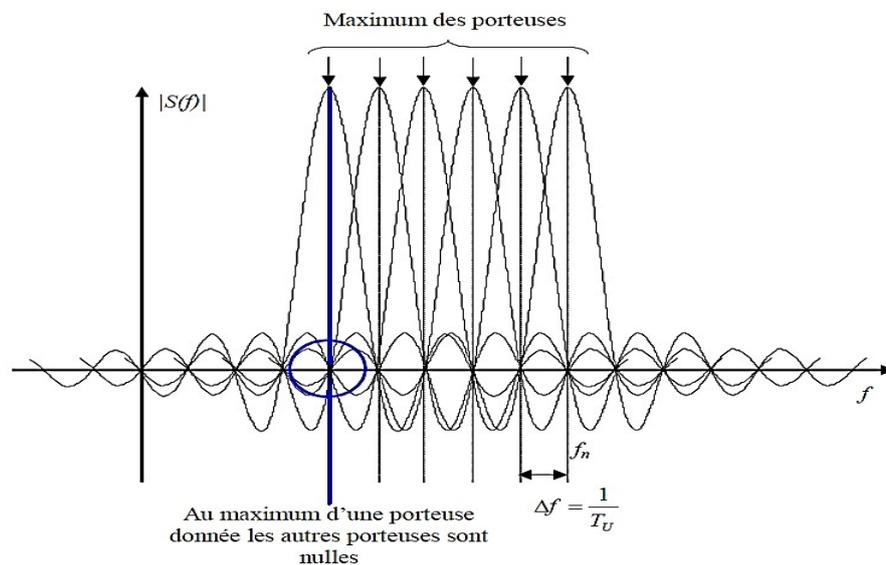


Figure 2.3 : Principe d'orthogonalité des sous porteuses en OFDM [23].

A. Orthogonalité temporelle

L'orthogonalité est une propriété fondamentale qui permet à plusieurs signaux d'information d'être transmis dans le même canal et capturés sans interférence.

Considérons le signal initial qui est continu et donc non encore échantillonnés, dans ce cas un signal OFDM est composé d'une somme de N sinusoides de fréquences respectives f_k , transmise durant une durée T_u , avec K variant de 1 à N , et définie par :

$$f = \frac{K}{T_u} \quad 2.5$$

cette condition permettant d'avoir un nombre entier de sinusoïdes sur chaque sous porteuse durant T_u [25].

B. Orthogonalité fréquentielle

On peut aussi percevoir la notion d'orthogonalité du signal OFDM dans le domaine fréquentiel, chaque sous porteuse OFDM a une réponse en fréquence en sinus cardinal :

$$\mathit{sinc}(f) = \sin(\pi f) / (\pi f), \quad 2.6$$

Notons que l'espace entre chaque sous porteuse $\frac{1}{T_u}$, lorsque les spectres d'une sous porteuse est maximal permet d'annuler le spectre de toutes les autres, car la condition d'orthogonalité, cette condition permet ainsi d'avoir une occupation spectrale idéale et d'éviter les interférences entre les sous porteuses, si l'échantillonnage est fait précisément à la fréquence d'une sous porteuse [26].

2.2.4. Différents types de modulation des sous porteuses

A ce stade ; on peut attribuer une signification précise aux coefficients, en considérant qu'il s'agit de symboles modulateurs de différents type, agissant sur le module et la phase de sous porteuse appartenant à un symbole OFDM, pendant la durée T_u de ce symbole.

Le signal numérique à transmettre doit être adapté à un support physique de transmission, cette opération est appelée par la modulation et elle sert d'interface avec le canal de transmission.

La modulation numérique consiste à faire varier un des paramètres d'une onde porteuse en fonction du signal à transmettre (signal modulant) suivant ce paramètre, le type de modulation sera mis en œuvre les paramètres qui peuvent être modifiés dans l'onde porteuse sont : l'amplitude et la phase, ces deux paramètres sont commutés entre plusieurs valeurs discrets selon les codes binaires à transmettre, en plus, son but est d'assurer un débit maximum de données binaires avec un taux d'erreur acceptable par les protocoles et les correcteurs.

Ce flux numérique transformé en débit, suivant l'un des deux procédés de modulation QPSK ou QAM, l'introduction de ces procédés permet d'augmenter considérablement le débit.

A. Modulation QPSK

La modulation QPSK (quadrature phase shift keying) est très robuste, elle est codées sur 2 bits par symbole, et permet d’augmenter l’efficacité spectrale sans modifier la bande passante allouée.

Pour chaque symbole C_k , on émet le signal :

$$g(t - kT).cos(\omega_0 t + \Psi_k) \tag{2.7}$$

pendant la durée $t \in [kT ; (K+1) T]$ ou les Ψ_k sont uniformément repartis sur $[0 ; 2\pi]$ plus on pose $\Psi_k=0$.

Donc :
$$m(t) = \sum_k g(t - kT).cos(\omega_0 t + \Psi_k). \tag{2.8}$$

$$= I(t).cos(\omega_0 t) - Q(t).sin(\omega_0 t). \tag{2.9}$$

Avec :
$$\begin{cases} I(t) = a(t) = \sum g(t - kT).cos(\Psi_k). \\ Q(t) = b(t) = \sum g(t - kT).sin(\Psi_k). \end{cases} \tag{2.10}$$

Généralement, la constellation de chaque sous porteuse montre un changement aléatoire d’amplitude et de phase provoqué par l’environnement par trajets multiples [27].

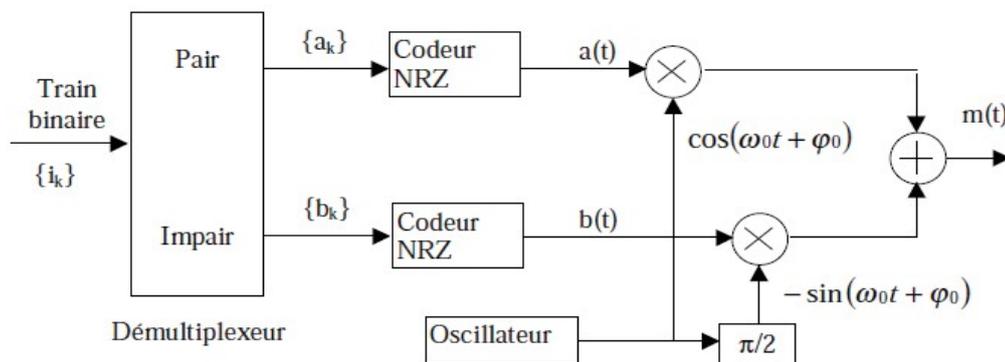


Figure 2.4 : Modulateur QPSK [28].

La constellation QPSK est représentée sur la figure 2.5. Elle montre que l'affectation des bits aux points de la constellation se fait en général selon le codage Gray.

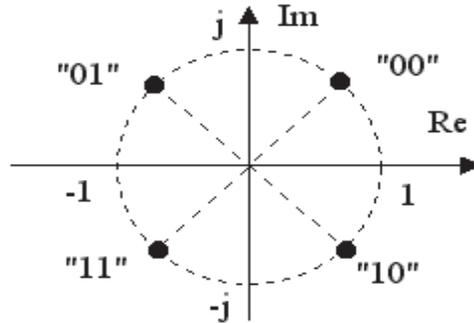


Figure 2.5 : Constellation de la modulation de phase QPSK [28].

B. Modulation QAM

La modulation d'amplitude en quadrature QAM (quadrature amplitude modulation) résulte de la combinaison de deux fréquences porteuses, elle permet des débits élevés avec une rapidité de modulation relativement faible.

Comme exemple, la QAM-16 utilise 4 bits par symboles (2 bits sur I et 2 bits sur Q), la valeur de I peut être une des 4 amplitudes possibles il en est de même pour la valeur de Q.

Pour chaque symbole C_k ; on émet le signal :

$$a_k \cdot g(t - kT) \cdot \cos(\omega_0 t + \Psi_k). \quad 2.11$$

Pendant la durée $t \in [kT ; (k+1) T]$. Ou les Ψ_k sont uniformément repartis sur $[0 ; 2\pi]$.

On pose $\Psi_0 = 0$.

$$m(t) = \sum_k a_k \cdot g(t - kT) \cdot \cos(\omega_0 t + \Psi_k). \quad 2.12$$

$$= I(t) \cdot \cos(\omega_0 t) - Q(t) \sin(\omega_0 t). \quad 2.13.$$

$$\begin{cases} I(t) = a(t) = \sum a_k \cdot g(t - kT) \cdot \cos(\Psi_k). \\ Q(t) = b(t) = \sum a_k \cdot g(t - kT) \cdot \sin(\Psi_k). \end{cases} \quad 2.14$$

L'intérêt de cette configuration est que le signal $m(t)$ est alors obtenue par une combinaison de deux porteuse en quadrature en amplitude par des symboles a_k et b_k indépendants [27].

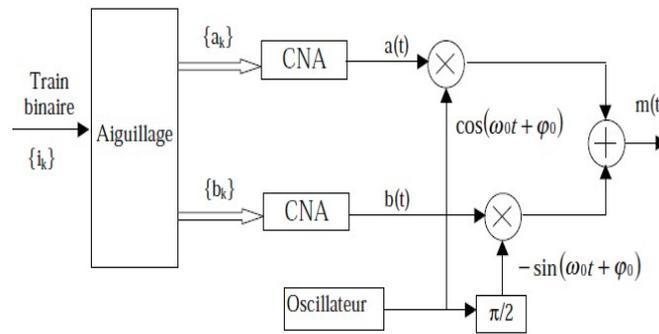


Figure 2.6 : Modulateur MAQ-M [28].

En global, lorsque le symbole a_k et b_k prends leurs valeur, on obtient une modulation a 2^n états et une constellation avec un contour carrée.

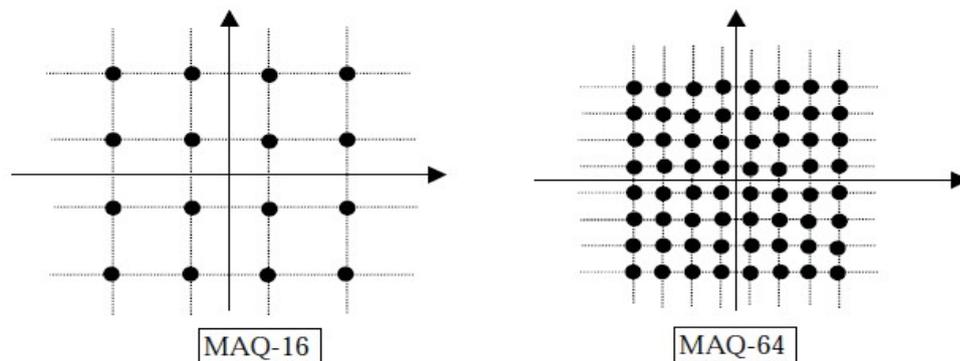


Figure 2.7 : Constellations MAQ-16 et MAQ-64 [28].

2.3. Problèmes d'interférences

En pratique, les porteuses sont modulées par des nombres complexes qui changent d'un symbole à l'autre ; si la période d'intégration porte sur deux symboles, (cas des trajets retardés) on aura non seulement un brouillage ISI (Inter symbol Interference) à l'intérieur de la même porteuse, mais aussi un ICI (Inter canal Interference) en effet, les battements provenant des autres porteuses ne peuvent plus être intégrés en donnant une somme nulle si leur phase ou leur amplitude varie pendant la période.

A. Interférences entre symboles (ISI)

Dans un environnement à trajet multiples ; les signaux OFDM sont transmis à des intervalles égaux , et il doivent parcourir un certain trajet pour atteindre le récepteur ; dans le cas d'un canal multi-trajets, un symbole transmis prend différents retards pour arriver au récepteur à cause des différents chemins de propagation ; ce qui cause des étalements temporels différents, la prolongation de la durée des symboles fait chevaucher les symboles entre eux, ce qui donne naissance à l'interférence entre symboles (IES) pour remédier à ce problème , on ajoute entre deux symboles, un préfixe ou intervalle de garde dont la durée Δ doit être supérieure au retard maximum des signaux issus des trajets indirects [27].

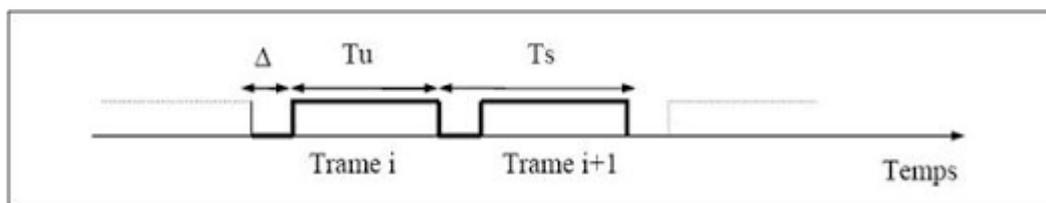


Figure 2.8 : Insertion du préfixe [25].

B. Interférences entre porteuses (ICI)

Dans les systèmes OFDM ; les spectres des sous porteuses se recouvrent mais demeurent orthogonaux entre eux ; ceci signifie qu'au maximum de chaque spectre de sous porteuses toutes les spectres des autres sous porteuses sont nul.

L'interférence entre porteuses (ICI) est causée par la présence des symboles de données d'une sous porteuse sur les sous porteuses adjacentes. Le (ICI) se produit aussi quand le canal à trajets multiples change pendant la durée d'un symbole OFDM ; Quand ceci se produit les effets doppler sur chaque trajet causent un décalage de fréquence ; ayant pour résultat la perte d'orthogonalité [27].

C. Intervalle de garde

Pour éviter le phénomène d'interférence et le brouillage entre symboles et entre porteuses (ISI; ICI) ; On ajoute un intervalle de garde pour garantir que toutes les informations intégrées viennent de même symbole et apparaissent constantes pendant sa durée, la période du symbole est prolongée de manière à être supérieure à la période d'intégration T_{FFT} , le segment ajoutée au début du symbole pour former l'intervalle de garde est identique au segment de même longueur à la fin du symbole ; tant que le retard d'un trajet par rapport au trajet principal est inférieur à l'intervalle de garde .

Les composantes du signal à l'intérieur de la période d'intégration viennent toutes du même symbole ; le critère d'orthogonalité est satisfait, le brouillage ICI et ISI ne se produisent que lorsque le retard relatif est plus long que l'intervalle de garde.

L'intervalle de garde ne doit pas représenter une trop grande partie de T_{FFT} pour ne pas sacrifier trop de capacité en données et de rendement spectral. La durée du symbole totale transmis est alors :

$$T_s = T_G + T_{FFT} \quad 2.15$$

Ou : T_G : durée de l'intervalle de garde.

T_{FFT} : taille de TFFT pour générer un signal OFDM. [24].

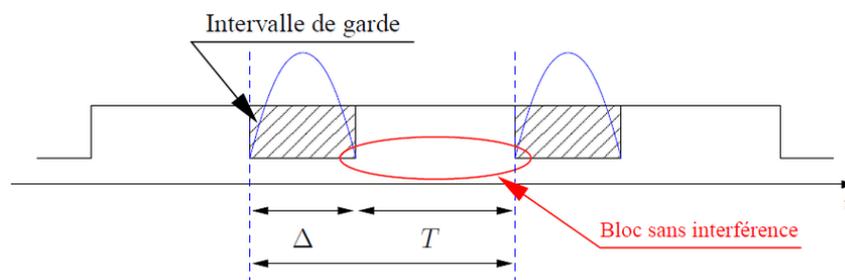


Figure 2.8 :L'insertion d'un intervalle de garde.

2.4. Avantages de l'OFDM optique

L'O-OFDM optique permet une transmission de données à haut débit sur des distances longues en utilisant une large bande passante. Cette technique est l'évolution de la technique OFDM utilisée dans les communications sans fil ; elle a été développée pour répondre aux besoins croissants en matière de capacité de transmission de données sur les réseaux optiques.

De plus, elle est moins sensible aux perturbations que les méthodes de transmission optique classiques, ce qui garantit une meilleure qualité de transmission. L'un des avantages ; elle offre une grande flexibilité en termes de modulation et de codage ce qui permet une adaptation facile à différents types de réseaux et applications.

D'autre, elle peut également être utilisée dans les réseaux de communication militaires et dans les systèmes de surveillances [29,30].

2.5. Inconvénients de l'OFDM optique

Bien que l'OFDM optique présente de nombreux avantages, il reste encore des défis et des inconvénients à relever pour son déploiement à grande échelle. L'un des principaux défis est la complexité de l'équipement nécessaire pour mettre en œuvre de cette technique.

L'OFDM peut être couteux à mettre en œuvre étant donné que cette technologie nécessite des équipements sophistiqués pour la modulation et la démodulation des signaux ; elle peut être plus couteuse que d'autres technologies de transmission de données.

De plus, la complexité du système peut rendre la maintenance plus difficile et augmenter les coûts à long terme ; cependant avec l'amélioration de la technologie ; les coûts peuvent diminuer à l'avenir.

Un autre inconvénient de L'OFDM optique est qu'il nécessite une synchronisation précise entre l'émetteur et le récepteur étant donné que plusieurs signaux sont transmis simultanément synchronisés pour éviter les erreurs de transmissions.

D'autre inconvénient de L'O-OFDM ; est sa sensibilité aux interférences étant donné que plusieurs signaux sont transmis simultanément sur une fibre optique, il peut y avoir des interférences entre ces signaux ; cela peut entraîner une dégradation de la qualité du signal et des erreurs de transmission [29,30].

2.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a vu une démonstration de la technique OFDM optique, les principes de fonctionnement, puis les différents types de modulation de sous porteuses et les problèmes d'interférences avec ses avantages et inconvénients.

En conclusion, L'OFDM optique est une technique de transmission optique avancée qui permet un transfert de données à haut débit sur des longues distances, elle offre de nombreux avantages par rapport aux techniques de transmission optique classiques et trouve de nombreuses applications dans les réseaux de télécommunication.

En comprenant les inconvénients de l'OFDM optique, elle joue un rôle très important dans les futurs réseaux de télécommunication à haut débit, les ingénieurs peuvent concevoir des systèmes plus efficaces et plus faibles pour répondre aux besoins des utilisateurs finaux.

CHAPITRE 3

Techniques de MIMO

3.1. Introduction

Les systèmes de communication sans fil ont évolué grâce aux améliorations de la technologie de communication numérique, permettant des vitesses plus élevées et des zones de couverture plus étendues. Plus le chemin de transmission n'est bon, plus les services et les applications prolifèrent.

Vidéo à la demande, connectivité Internet, voix sur IP..., l'avenir des télécommunications est de fournir à chaque utilisateur une connexion fiable au service de son choix, à tout moment et en tout lieu. Bien sûr, il existe des restrictions liées à la chaîne sur laquelle vous diffusez. L'objectif de ce chapitre est de montrer comment les technologies d'antennes, également appelées SISO, SIMO, MISO et MIMO, permettent d'améliorer la qualité de la connexion et présentent des limites théoriques.

Il existe plusieurs stratégies pour tenter d'améliorer le débit des systèmes de communication numérique. En plus d'augmenter la bande passante du canal de transmission, il augmente la bande passante, raccourcit le temps de transmission des symboles, utilise une modulation numérique avec plus d'états et augmente l'efficacité des codes de correction d'erreurs. Toutes les autres possibilités conduisent presque certainement à une liaison de transmission moins robuste. Cela montre que le moyen le plus efficace d'améliorer le débit consiste à utiliser des ressources de canal supplémentaires. Les ressources spectrales sont limitées et réglementées par les régulateurs des télécommunications. Concernant les ressources spatiales. Ils ne sont pas limités. Par conséquent, il est possible de transmettre sur la même bande de fréquence à partir de plusieurs emplacements différents en même temps. C'est une façon d'améliorer l'efficacité spectrale et d'améliorer le débit. De ce constat est née la technologie MIMO.

En transmission mono porteuse, le canal de transmission entre chaque antenne d'émission et de réception a les mêmes propriétés physiques et statistiques. Il s'agit de canaux à trajets multiples dans lesquels des interférences inter symboles sont observées au niveau du récepteur. Notez également ce qui suit sur l'antenne de réception : Une combinaison linéaire de signaux émis par chaque antenne d'émission est reçue.

3.2. Différents types de système MIMO

Selon le nombre d'antennes présentes dans les différents dispositifs d'antennes, plusieurs configurations peuvent être distinguées (SISO, SIMO, MISO et MIMO). Cependant, ces architectures traitent les signaux en utilisant différentes fonctionnalités telles que : B. Techniques combinées ; codage spatial et multiplexage spatial pour obtenir les meilleures performances des dispositifs d'antenne.

3.2.1. Système SISO

Il s'agit de l'architecture radio la plus simple pouvant être définie comme SISO (single input single output) dans la terminologie MIMO. Ce système ressemble à un canal radio standard. Un émetteur fonctionne comme un récepteur avec une antenne. Aucune diversité ou autre traitement n'est requis.

La capacité du canal SISO est donnée par :

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{WN_0} \right) . \quad 3.1$$

Avec : P est la puissance du signal utile en watt.

N_0 est la densité spectrale de puissance du bruit.

W est la bande passante donnée en HZ.

Dans ce type, il n'y a qu'une seule antenne émettrice du côté émission et une seule antenne réceptrice du côté réception, donc SISO est la plus facile à mettre en œuvre et à concevoir parmi les quatre antennes disponibles. [34,35].



Figure 3.1 : Architecture du système SISO.

3.2.2. Système SIMO

La technologie SIMO (Single Input Multi Input) utilise une seule antenne pour l'émission et plusieurs antennes pour la réception afin d'augmenter la diversité de réception et de lutter contre les effets du fading.

La capacité du canal SIMO est donnée par [34]:

$$C = W \log_2 \left(1 + N_R * \frac{P}{wN_0} \right) \quad . \quad 3.2$$

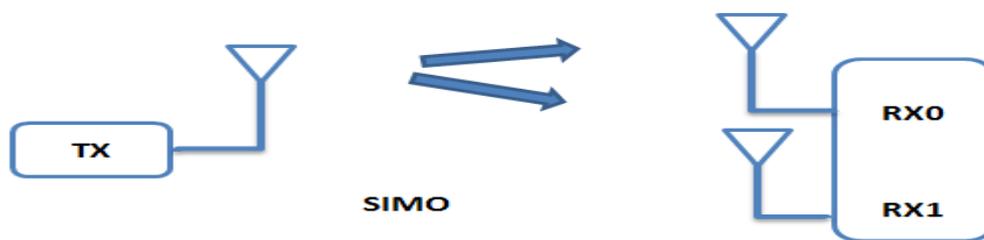


Figure 3.2 : Architecture du système SIMO.

3.2.3. Système MISO

MISO (Multiple Input Single Output) est également connu sous le nom de diversité de transmission. Dans ce cas, il peut y avoir plusieurs antennes d'émission à travers lesquelles le signal peut être transmis. Une seule antenne de réception peut recevoir des signaux de plusieurs antennes d'émission. Cela signifie différentes sources, mais une seule destination disponible.

La capacité du canal MISO est donnée par [35].

$$C = W \log_2 \left(1 + N_T * \frac{P_i}{wN_0} \right) \quad . \quad 3.3$$

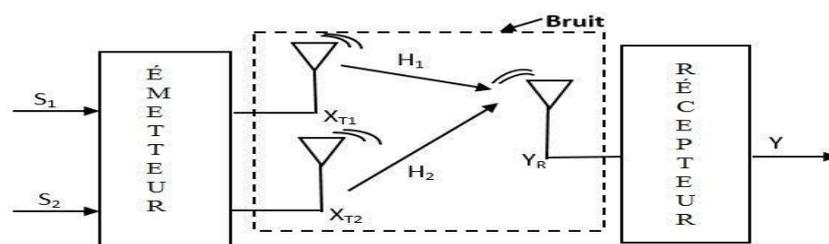


Figure 3.3 : Architecture du système MISO.

3.2.4. Système MIMO

La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) est basée sur des antennes d'émission et des antennes de réception. MIMO peut avoir plusieurs antennes de transmission. De plus, comme il existe plusieurs antennes de réception, le signal peut suivre n'importe quel chemin pour atteindre l'extrémité de réception, et le chemin emprunté par le signal dépend de la position de l'antenne. En d'autres termes, déplacer un peu l'antenne modifiera le chemin. [34]

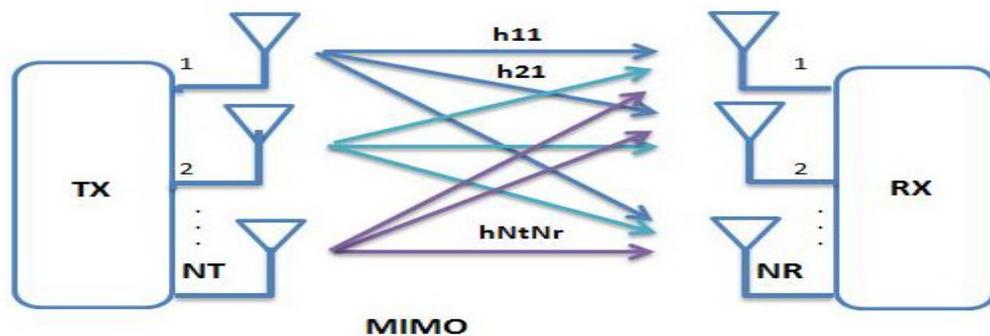


Figure 3.4 : Architecture du système MIMO.

3.3. Principe des systèmes MIMO

Contrairement aux systèmes (SISO, SIMO, MISO), l'idée principale des systèmes MIMO est basée sur la multiplication des antennes à la fois en émission et en réception. Les concepteurs d'antennes ont généralement du mal à multiplier le nombre de petites antennes dans une borne ou un objet miniaturisé. La proximité de ces structures affecte leurs performances en raison du couplage mutuel entre les différents éléments rayonnant.

De nombreuses solutions sont proposées pour minimiser ce phénomène de couplage. Par conséquent, les éléments rayonnants doivent être séparés d'au moins une demi-longueur d'onde et leur position, leur forme et leur diagramme de rayonnement doivent être considérés comme des paramètres importants.

Le terme MIMO fait référence à la technologie d'antenne pour les communications sans fil. Elle consiste à utiliser plusieurs antennes tant au niveau de la source (émetteur) qu'au niveau de la destination (récepteur).

Parmi les principaux initiaux aux systèmes MIMO sont le multiplexage spatial et la diversité spatiale :

✓ Multiplexage spatial :

Le principe du multiplexage spatial présente peu de redondance des séquences d'informations le long de l'axe spatial. Le système transmet alors N_t fois autant de symboles utiles par unité de temps que le système SISO. De plus, la probabilité que tous ces canaux soient affectés par l'évanouissement en même temps est très faible.

✓ Diversité spatiale :

Elle peut être exploitée lorsque des signaux sont émis depuis plusieurs points différents de l'espace. Plusieurs antennes de réception placées à différents endroits permettent de collecter plusieurs copies du signal transmis.

Le modèle d'un système MIMO à N antennes émettrices et N antennes réceptrices ou le modèle mathématique pour un système à Fading plat est régi par l'équation :

$$Y = Hx + B \quad 3.4$$

Avec : H est une matrice complexe de canal de dimension $(N_R * N_T)$ donnée par :

$$H = [h_1 \dots h_{N_T}]. \quad 3.5$$

- ✓ H est le vecteur complexe de canal reliant l'antenne émettrice à l'antenne réceptrice.
- ✓ X est le vecteur complexe du signal transmis.
- ✓ Y est le vecteur complexe du signal reçu.
- ✓ B est le vecteur complexe du signal bruit additifs [32].

3.4. Système MIMO-OFDM

Le bon fonctionnement des systèmes MIMO se produit dans divers environnements (environnements qui encouragent les trajets multiples). Par conséquent, ces systèmes doivent être utilisés dans des bandes de fréquences relativement étroites. La démodulation conventionnelle est généralement sensible aux interférences inter symboles IES présentes dans les canaux à trajets multiples pour éviter ce problème. Le temps de symbole doit être beaucoup plus grand que le délai le plus long. En conséquence, la bande passante disponible est réduite. Ceci peut être réalisé en combinant des systèmes MIMO avec une modulation multi porteuse OFDM.

L'association MIMO-OFDM exploite la robustesse des canaux spatialement non corrélés des systèmes MIMO et la robustesse de la connexion des canaux sélectifs en fréquence de l'OFDM. Dans ce cas, on obtient une augmentation de la bande passante (large bande) du système MIMO tout en conservant l'hypothèse bande étroite. [31]

3.5. Capacités des systèmes MIMO

La capacité est proportionnelle au nombre minimum d'antennes utilisées au niveau de l'émetteur ou du récepteur. Le pré codage du signal peut également être utilisé pour distribuer le flux à toutes les antennes d'émission afin d'obtenir un gain de réseau supplémentaire pour le signal.

La capacité d'un canal MIMO peut être accentuée par une méthode (Singular Value Décomposition) qui transforme le modèle physique d'un système MIMO en N_k parmi les canaux parallèles disponibles utilisant la même bande de fréquence.

Le canal MIMO est traduit par une matrice H de taille $N_t * N_R$ dite matrice de canal ; la capacité du système MIMO est donnée par :

$$C_{\text{MIMO}} = \log \left(\det \left[I_{N_R} + \frac{SNR}{N_T} * HH^H \right] \right) . \quad 3.6$$

Avec:

- ✓ I est la matrice identité de la taille $N_t * N_R$.
- ✓ SNR est le rapport du signal sur bruit.
- ✓ H représente la matrice des coefficients du canal de la taille.
- ✓ H^H désigne la matrice transposée conjuguée de H [32].

3.6. L'intérêt des systèmes MIMO

Les services de communication mobile sans fil nécessitent de plus en plus des capacités de transmission plus élevées pour une meilleure transmission des données. Les systèmes de communication traditionnels n'ont qu'une seule antenne. La communication se fait donc entre une antenne lors de l'émission et une autre antenne lors de la réception. C'est la technologie SISO. Pour répondre à ces exigences et augmenter la capacité des systèmes SISO traditionnels, la bande passante et la puissance associées ont considérablement augmenté.

De plus, des recherches plus avancées ont montré que l'utilisation de plusieurs antennes pour la transmission et la réception peut augmenter les débits de transmission de données sans augmenter la bande passante des antennes ou la puissance du signal lors de la transmission. C'est la technologie MIMO. [33]

3.7. OFDM avec détection optique directe

Un système de détection directe (DD) est un système de communication basé sur la détection d'une puissance optique modulée (également appelée intensité de champ optique ou simplement intensité lumineuse). Dans un système de détection directe classique, le récepteur est constitué d'une seule photodiode (PD) et l'émetteur module la puissance optique en conséquence. Pour cette raison, ces systèmes sont souvent appelés systèmes de détection directe à modulation d'intensité (IM-DD).

À une époque où les débits de données requis par interface d'émetteur-récepteur étaient de 10 Gb/s et 40 Gb/s, les systèmes DD étaient largement utilisés dans divers types de systèmes de communication à fibre optique, des liaisons métropolitaines courtes aux liaisons longue distance dans les réseaux centraux. Déployé. Le réseau central s'est depuis transformé en un système cohérent. En effet, il offre une sensibilité de réception plus élevée et une meilleure efficacité spectrale, ce qui le rend plus adapté à la transmission longue distance à des débits d'interface de 100 Gb/s et plus. Par la suite, l'application des systèmes DD a été limitée aux applications à courte distance sensibles aux coûts telles que le transport urbain, la connectivité intra- et inter-centres et les réseaux optiques passifs. Les distances de transmission typiques pour les systèmes DD vont aujourd'hui de quelques mètres à environ 100 km.

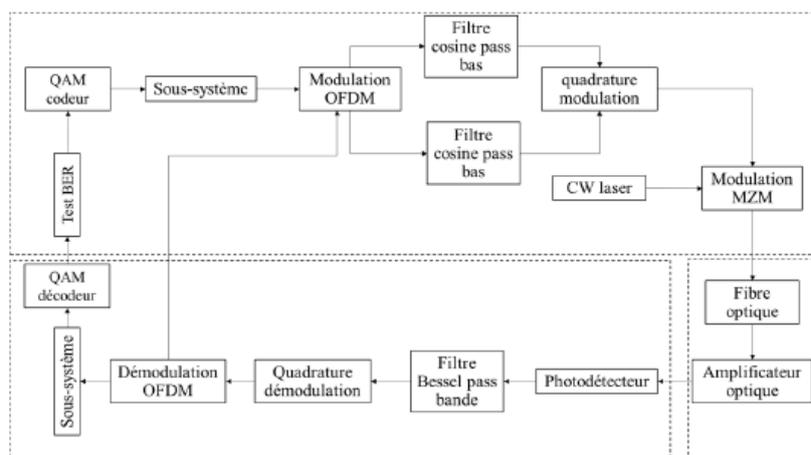


Figure 3.5 : Système DD-OFDM complète.

3.8. OFDM avec détection optique cohérente

Dans le système DDO-OFDM, seules les informations d'intensité de la lumière peuvent être détectées mais les informations de phase ne peuvent pas être détectées. En revanche, le système CO-OFDM peut compenser les lacunes du système DDO-OFDM, et il a une sensibilité de récepteur très élevée, ce qui pourrait réaliser une transmission longue distance. De même, le nombre de sous-porteuses peut affecter directement les performances du système CO-OFDM. Si le nombre est trop grand, cela provoquera des interférences entre les canaux. Si le nombre est trop petit, l'utilisation du spectre sera réduite. Par conséquent, il est très important de contrôler le nombre de sous-porteuses. De plus, dans le système COOFDM, différents formats de modulation affecteront également le rapport signal sur bruit optique (OSNR), non linéaire, Effet et tolérance de dispersion de la fibre optique, ce qui oblige le personnel technique concerné à choisir un mode de débogage raisonnable après avoir équilibré la distance de transmission, la capacité de transmission, utilisation du spectre et taux d'erreur sur les bits. Il convient de noter que la différence de délai de groupe différentiel (DGD) peut également affecter les performances du système. Les performances du système s'amélioreront avec l'augmentation de DGD, mais au-delà d'une certaine valeur, les performances du système diminueront avec l'augmentation de DGD, car le principal facteur affectant les performances du système devient PMD.

Le modèle de canal décrit le comportement des systèmes de communication, déterminant ainsi fondamentalement les performances des systèmes. Dans cette section, nous dériverons un modèle de canal pour les systèmes CO OFDM. Un système CO-OFDM complet qui se compose d'un émetteur CO-OFDM, d'une liaison optique et d'un récepteur CO-OFDM. Comme expliqué en détail, l'émetteur CO-OFDM comprend un émetteur RF OFDM et une liaison RF-optique, convertisseur élévateur.

Tandis que le récepteur CO-OFDM comprend un convertisseur abaisseur optique-RF et un récepteur RF OFDM. Chaque tronçon de fibre se compose d'une dispersion chromatique, de plusieurs étages d'éléments à haute biréfringence (HIBI) et d'éléments à perte dépendante de la polarisation (PDL). Par souci de simplicité, un seul étage des éléments HIBI et PDL est représenté. Le bruit optique est ajouté à partir des amplificateurs optiques (OA) à la fin de chaque plage.

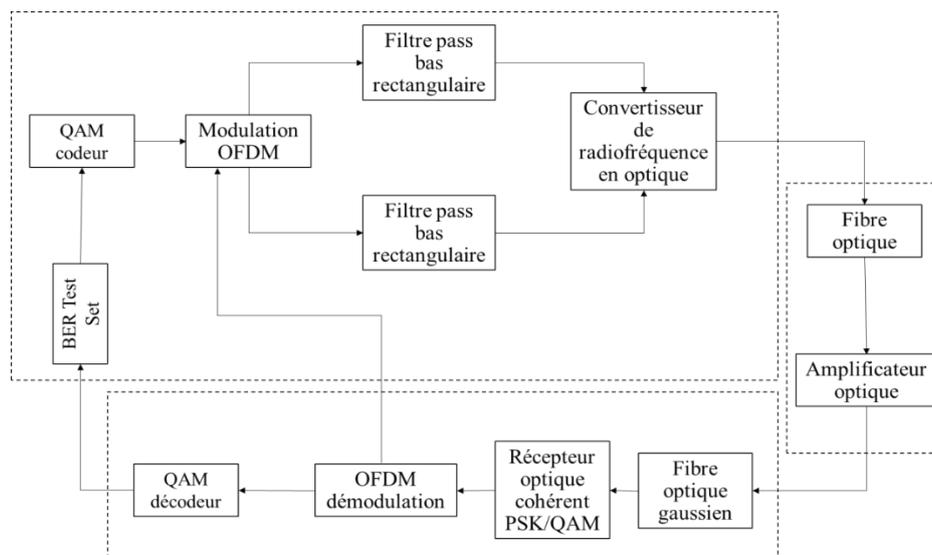


Figure 3.6 : Système DC-OFDM complète.

3.9. Préfixe cyclique pour OFDM

L'une des techniques permettant l'OFDM est l'insertion d'un préfixe cyclique. Considérons d'abord deux symboles OFDM consécutifs qui subissent un canal dispersif avec un étalement de retard de td . Pour plus de simplicité, chaque symbole OFDM ne comprend que deux sous-porteuses avec le retard rapide et le retard lent différenciés à td , représentés respectivement par « sous-porteuse rapide » et « sous-porteuse lente », les deux sous-porteuses, « sous-porteuse rapide » et « sous-porteuse lente », sont alignées lors de la transmission. Les mêmes signaux OFDM à la réception où la "porteuse lente" est retardée de td par rapport à la "porteuse rapide". Nous sélectionnons une fenêtre DFT contenant un symbole OFDM complet pour la « sous-porteuse rapide ». Il est évident qu'en raison de la dispersion du canal, la « sous-porteuse lente » a franchi la frontière de symbole conduisant à l'interférence entre les symboles OFDM voisins, formellement, l'interférence inter-symbole (ISI). De plus, étant donné que la forme d'onde OFDM dans la fenêtre DFT pour la "sous-porteuse lente" est incomplète, l'orthogonalité critique des sous-porteuses est perdue, ce qui entraîne une pénalité d'interférence inter-porteuse (ICI).

Un préfixe cyclique a été proposé pour résoudre les ISI et ICI induits par la dispersion du canal. Insertion d'un préfixe cyclique par extension cyclique de la forme d'onde OFDM dans l'intervalle de garde, la forme d'onde dans l'intervalle de garde est essentiellement une copie identique de celle de la fenêtre DFT, avec un décalage temporel de " ts " derrière.

Le signal OFDM avec l'intervalle de garde à la réception. Supposons que le signal a traversé le même canal dispersif et que la même fenêtre DFT est sélectionnée contenant un symbole OFDM complet pour la forme d'onde de la "sous-porteuse rapide", un symbole OFDM complet pour la "sous-porteuse lente" est également conservé dans la fenêtre DFT, car une partie du préfixe cyclique s'est déplacé dans la fenêtre DFT pour remplacer la pièce identique qui s'est déplacée. En tant que tel, le symbole OFDM pour "sous-porteuse lente" est une copie "presque" identique de la forme d'onde transmise avec un déphasage supplémentaire. Ce déphasage est traité par l'estimation de canal et sera ensuite supprimé pour la décision de symbole. Nous arrivons maintenant à la condition importante pour une transmission OFDM sans ISI. On peut voir que pour récupérer correctement le symbole d'information OFDM, il y a deux procédures critiques qui doivent être effectuées, (i) sélection d'une fenêtre DFT appropriée, appelée synchronisation de fenêtre DFT, et (ii) estimation du déphasage pour chaque sous-porteuse, appelée estimation de canal ou récupération de sous-porteuse.

3.10. Conclusion

Dans ce chapitre on a vu une démonstration des systèmes MIMO, les principes de fonctionnement, puis les différents types de ce système en plus l'intérêt et la capacité des systèmes. En conclusion, MIMO est une technologie avancée qui permet un transfert de données à haut débit entre un nombre d'antennes.

CHAPITRE 4

Simulations et Résultats

4. 1. Introduction

Après avoir la technique O-OFDM et même les techniques de MIMO ; nous allons de faire l'étude de la liaison complète ; en mettant en jeu le laser, la photodiode et l'amplificateur optique relie par la fibre optique.

Notre objectif dans ce chapitre est de simuler par des mesures de longueur d'onde ente 450 et 550 nm en terme de perte et d'atténuation à l'aide de logiciel Optisystem.

Dans ce chapitre ; on va présenter d'abord le logiciel Optisystem, en définissant leur interface, bibliothèque et l'éditeur de lay-out on va aborder aussi les différentes applications du logiciel.

On va étudier ensuite, deux systèmes de communication basée à OFDM et SISO ; l'un avec la détection cohérente.

Nous finalisons le travail par une conclusion spéciale à notre simulation de notre chapitre.

4.2. Description de l'outil de simulation

Optisystem est un logiciel développé par une société canadienne ; ce logiciel vient de résoudre plusieurs problèmes causée par les systèmes des télécommunications ; comme le dessin et l'analyse des systèmes et des projets étudier qui obstacle la tâche de la conception

Il résoudre ces plusieurs problèmes à l'aide de la simplicité d'utilisation et la variété de sa bibliothèque de composants ; aussi il permet aux ingénieurs et aux chercheurs de simuler et analyser des systèmes de transmission optique.

Logiciel Optisystem contient une fenêtre principale repartie en plusieurs parties :

- 1 : éditeur de lay-out : permet l'édition et la configuration du schéma encours de conception.
- 2 : bibliothèque : une base donnée de divers composants existants.
- 3 : projet encours : visualisation des divers fichiers et composants correspondant du projet.

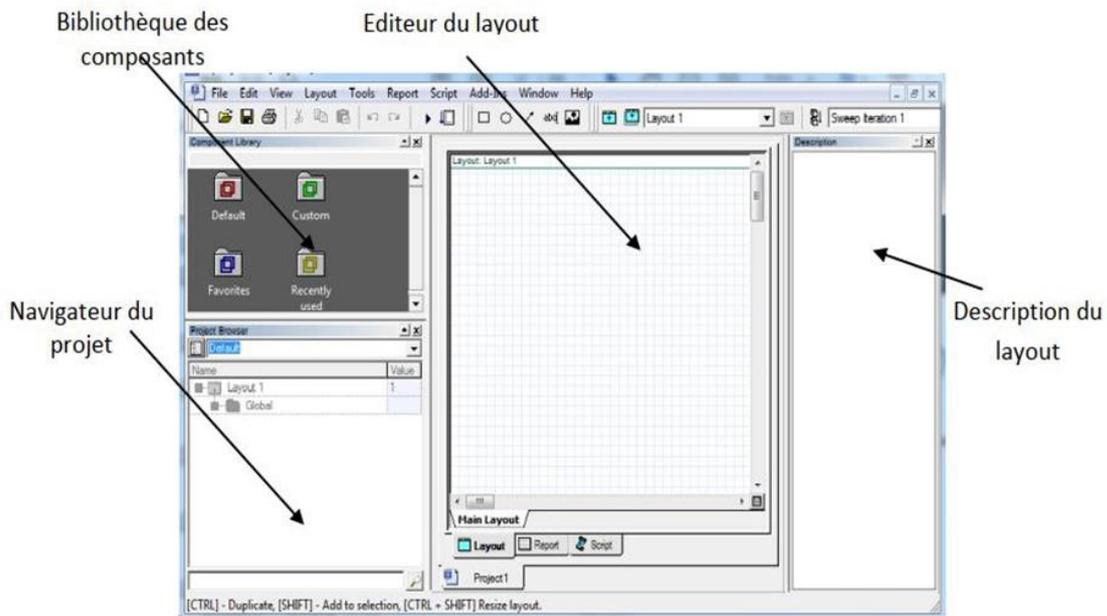


Figure 4.1 : Schéma de l'interface Optisystem.

Applications et avantages du logiciel Optisystem :

Parmi les applications et les avantages donnés ; nous allons citer :

- Le calcul du taux d'erreurs binaires (BER) et le calcul de bilan de liaison : c'est le rapport entre le nombre d'erreur et le nombre de bits transmis statiquement ; En général, le BER d'un système optique est la plupart des temps inférieur ou égale à un taux de 10^{-9} avec
$$BER = \frac{\text{nombre de bits erronées}}{\text{nombre de bits transmis}}$$
- La conception d'émetteur du canal et d'amplificateur
- La conception du système de communication optique des composants au niveau de la couche physique..
- Et aussi ; le diagramme de l'œil : pour générer des séquences aléatoires et de comparaison le signal de sortie avec le signal d'entrée ; et même pour décrire la dispersion du signal numérique et la dégradation de bruit

Méthode d'utilisation et simulation :

- Il suffit de glisser les composants de bibliothèque vers layout, pour le placer.
- Un double clic pour accéder aux paramètres de composants affichés.
- puis ; la laissons ; il suffit de taper simulation /fichier/calculâtes.
- enfin ; un double clic sur l'appareil de mesure pour un affichage de simulation de 2D ET 3D.

4.3. Présentation de la liaison

Le but de cette liaison est de combiner les techniques de MIMO et O-OFDM pour augmenter la distance et améliorer le débit dans une liaison optique à l'aide du logiciel optisystem.

4.4. Description de la chaîne de transmission détection cohérente OFDM

La figure 4.2 représente l'architecture générale de notre liaison optique sous-marine sous logiciel Optisystem ; elle comporte la partie émettrice, canal de transmission et une partie réceptrice.

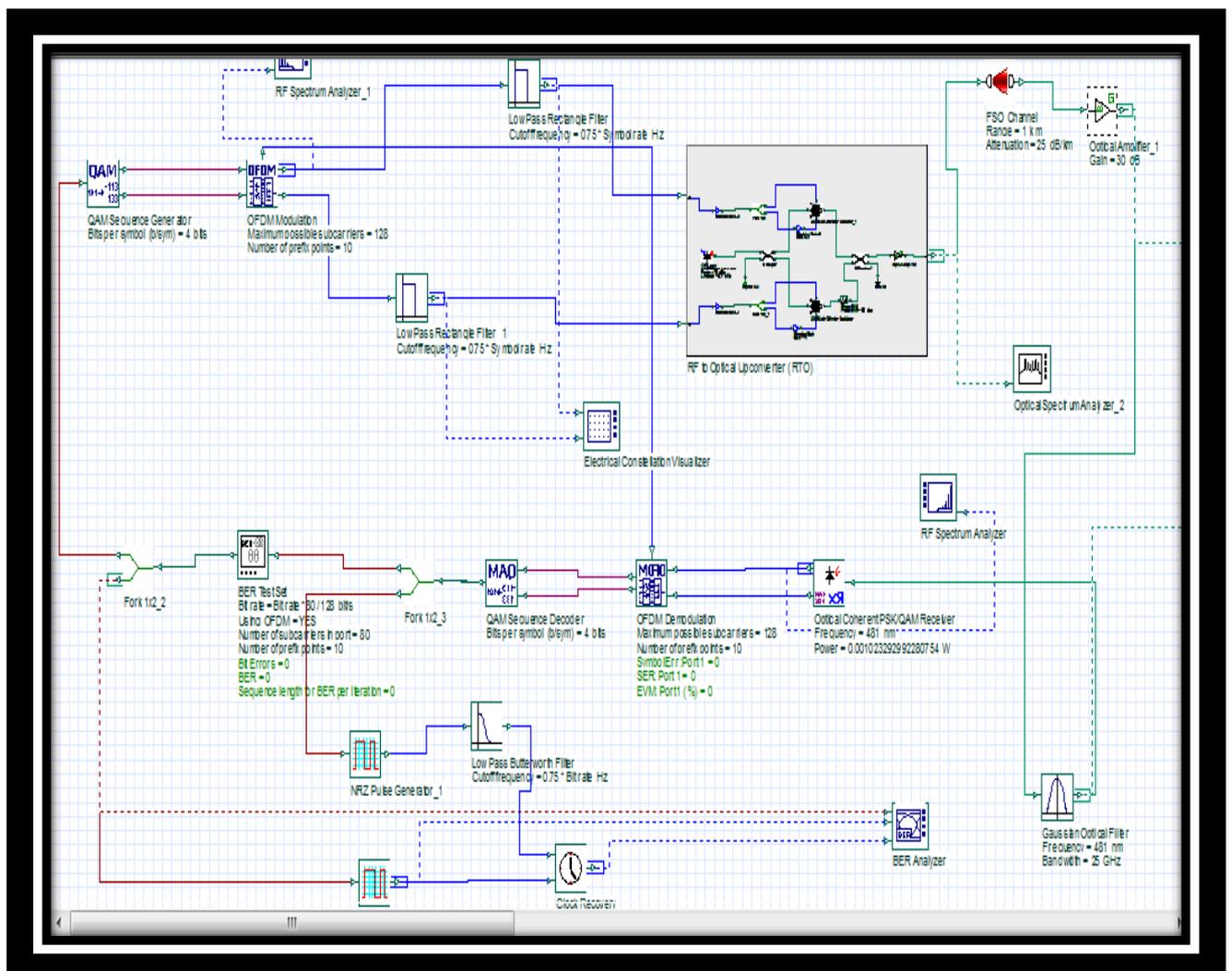


Figure 4.2 : Système pour l'OFDM QAM optique proposé

4.4.1 : Partie d'émission

La figure 4.3 représente le schéma en bloc de la partie d'émission et ses composants comme suite :

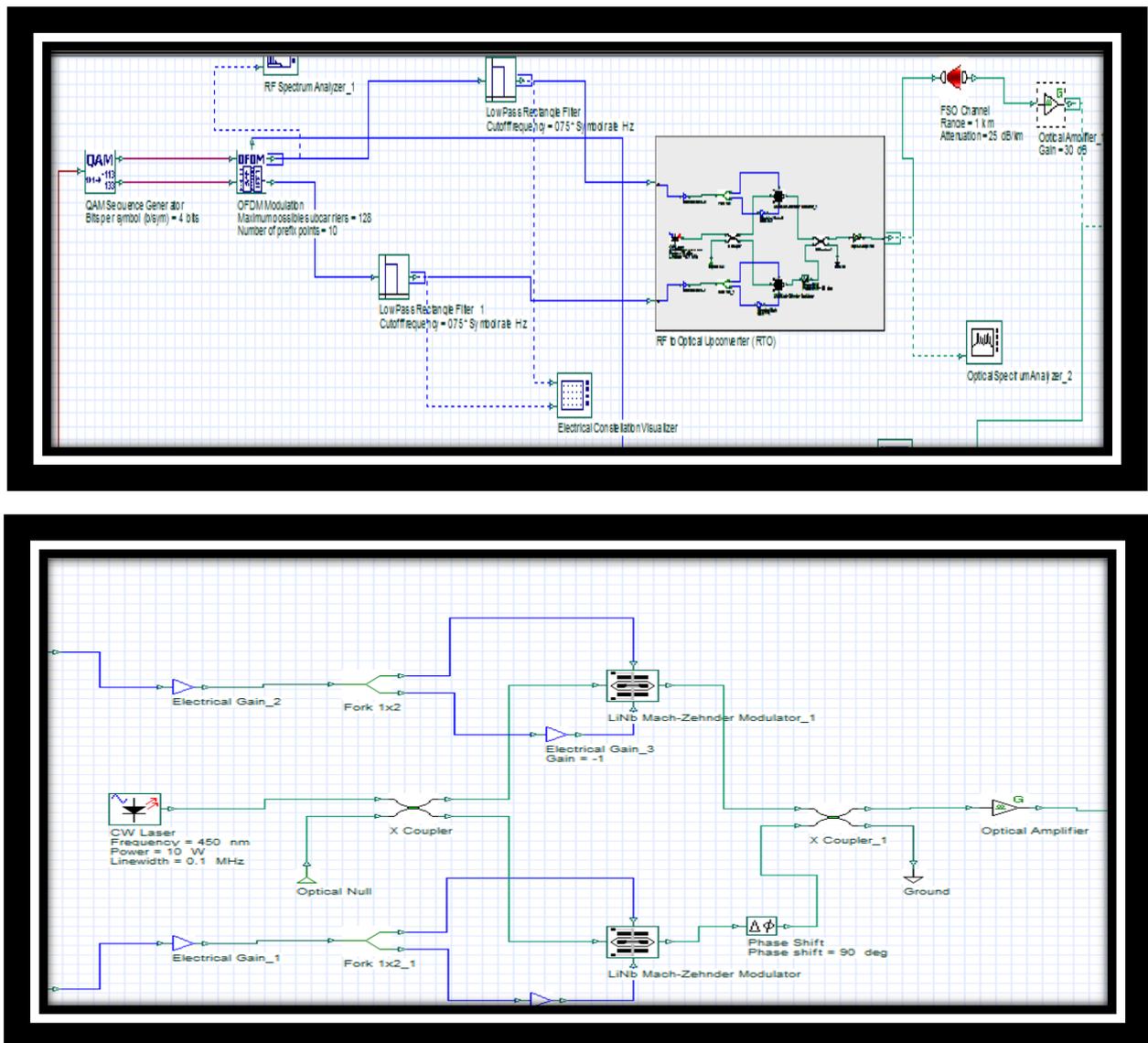


Figure 4.3 : Schéma en bloc d'émission

Une diode laser (CW Laser) : c'est la source optique pour générer le signal lumineux ; la puissance lancée indique la perte de fibre qui peut être tolérée ; avec longueur d'onde qui varie entre 420 nm et 450 nm.

- Modulateur Mach-Zehnder : pour moduler les symboles OFDM une modulation qui consiste à graver les données électrique sur un signal optique avec une modulation direct de courant d'amplitude de CW laser.
- Générateur QAM : pour générer les bits par symboles pour toutes formes de QAM.
- Modulateur OFDM : qui suit des opérations pour obtenir un signal OFDM ; il contient des paramètres sur le nombre de sous-porteuses (128, 256,512).
- Filtre passe bas roll off -filtre avec une fonction de transfert de fréquence en cosinus.

4.4.2 : Partie de transmission

La figure 4.4 représente le schéma en bloc de la partie transmission et ses composant comme suite :

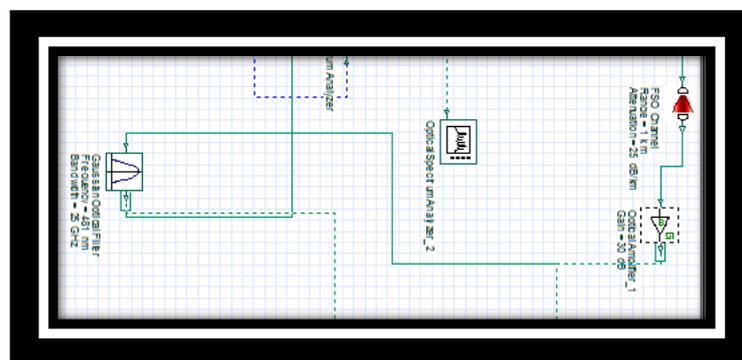


Figure 4.4 : Schéma en bloc de transmission

- Amplificateur optique : pour garder un signal fort avec un gain de 30 dB.
- Filtre optique : de longueur d'onde de 450 nm.

4.4.3 : Partie de réception

La figure 4.5 représente le schéma en bloc de la partie réception et ses composants comme suite :

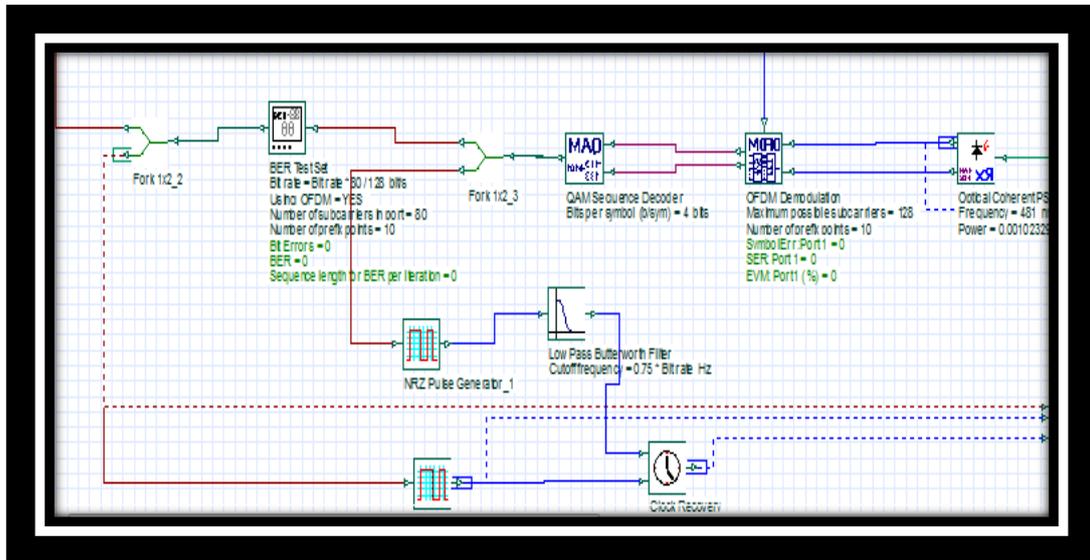


Figure 4.5 : Schéma en bloc de réception.

- Photo détecteur PIN : pour détecter le signal après la liaison optique avec une longueur d'onde de entre 420 nm et 450 nm.
- Démodulateur en quadrature : pour convertir le signal optique en signal électrique.
- Décodeur QAM : pour extraire les bits à partir des symboles pour toutes formes de QAM.
- Démodulateur OFDM : on démoduler le signal pour extraire les symboles.
- Filtre passe-bande : pour détecter le signal après la liaison optique avec une longueur d'onde entre (420 nm 450nm).

4.5 : Résultats de simulation

4.5.1 : 1^{er} test : (Distance de 100 m) avec différent nombres de sous porteuses (128, 256, 512)

paramètres des composants suivants :

- Laser CW/ Photo détecteur PIN : 450 nm de longueur d'onde et 5 w de puissance.
- Modulateur/Démodulateur : 128, 256, 512 sous-porteuses.

- Valeur d'atténuation : 25 dB/km.
- Amplificateur Optique : 30 dB/km
- Distance : 100 m.
- Filtre optique : de longueur d'onde de 450 nm.
- Diamètre de rayon laser (5cm / 20cm).

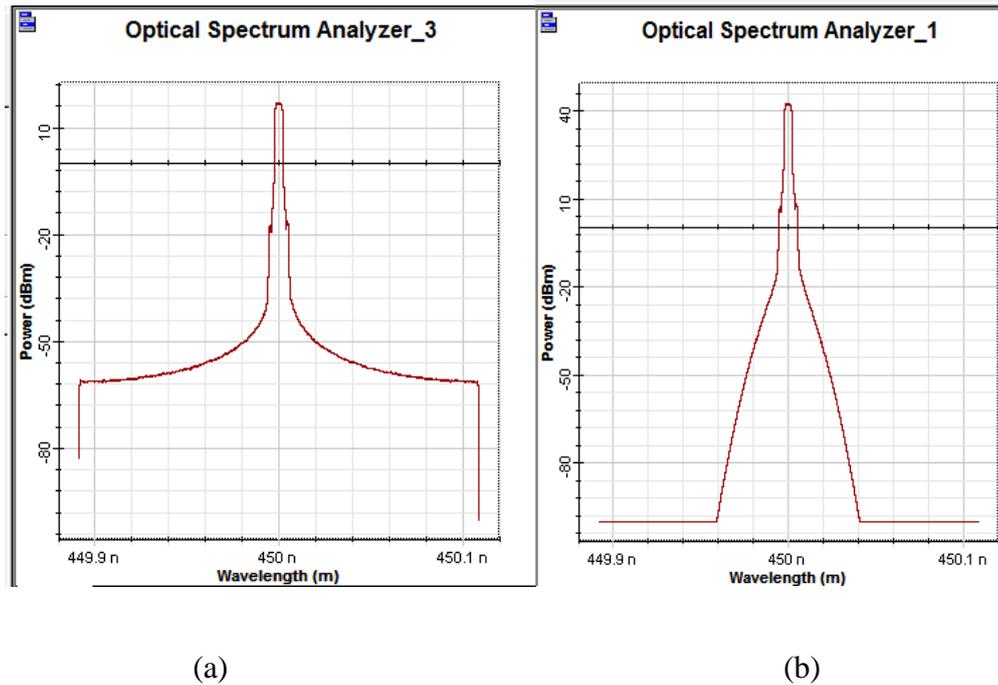
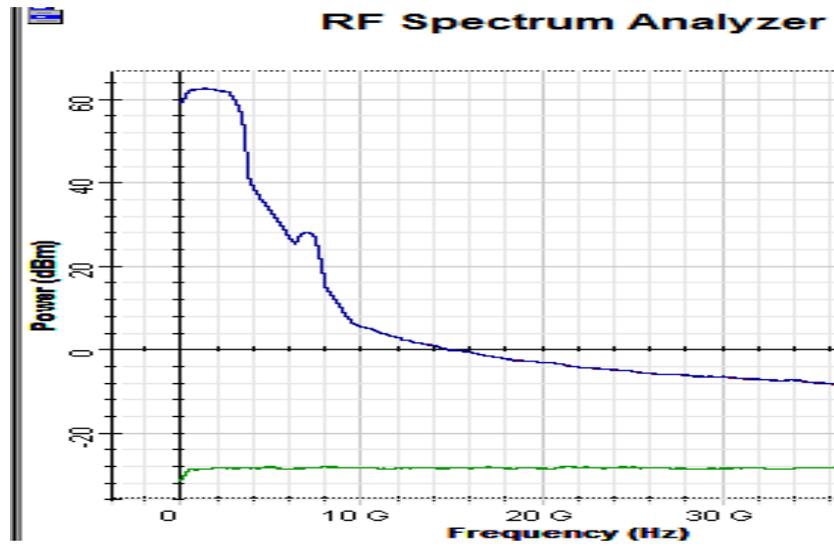
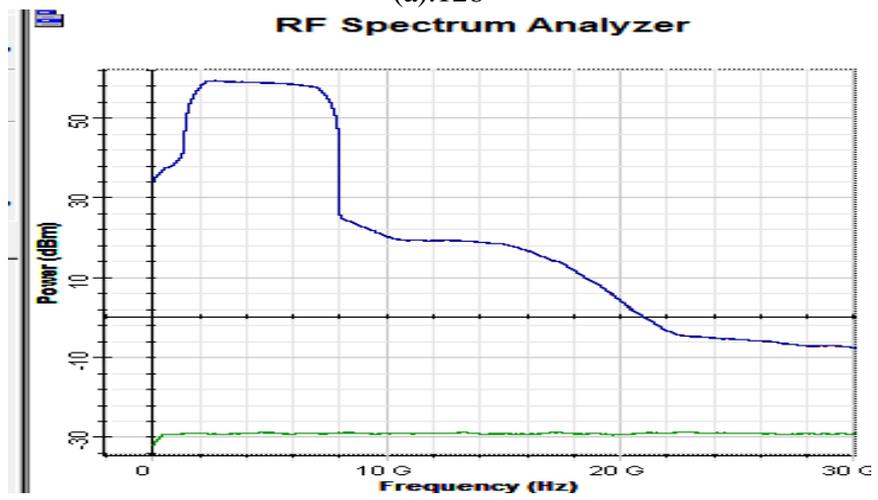


Figure 4.6 : (a) diode laser d'émission, (b) réception par la photodiode

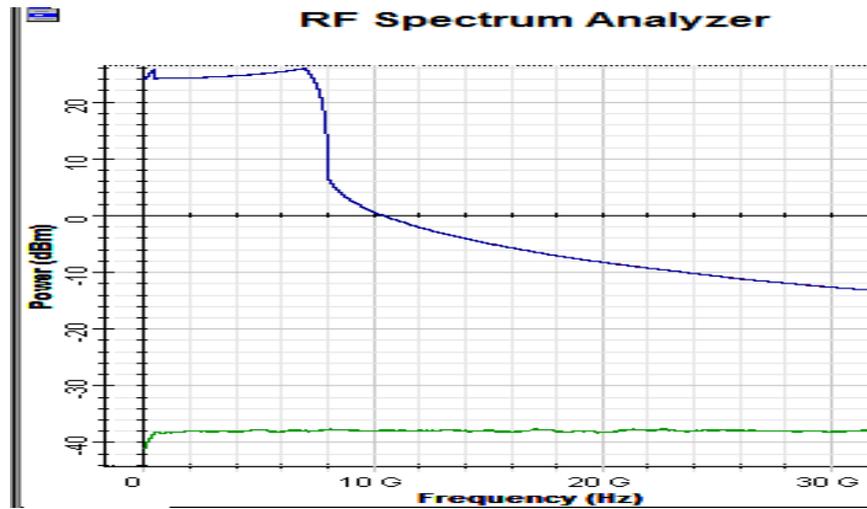
La figure 4.6 montre la propagation d'une onde laser de 450 nm de longueur d'onde dans l'eau de 100 m. le spectre optique à l'émission est étroit. Après propagation le spectre optique commence à s'élargir.



(a).128



(b).256



(c).512

Figure IV.7 : Signaux reçus avec la présence du bruit par le récepteur RF à différents sous-porteuses (a) 128 sous porteuses, (b) 256 sous porteuses et (c) 512 sous porteuses

Pour la figure 4.7.a on a utilisé 128 sous porteuse avec une distance de 100 d'eau. Le bruit reste faible par rapport au signal. Le signal atteint une valeur plus de 60 dBm puis commence à diminuer. La figure 4.7.b montre la simulation avec 256 sous porteuse. Dans ce cas, la puissance RF atteint est moins de 60 dBm mais avec une gamme de fréquence allant jusqu'à 8 GHz. Pour la figure 4.7.c on a utilisé 516 sous porteuse le gain est diminuée au-dessous de 30 dBm, mais il y a une amélioration du rapport signal sur bruit. Aussi, on remarque que quand le nombre des sous-porteuses augmente, la puissance du signal reçu reste plus dans sa valeur maximale pour une plage de fréquence allant 0 à 10 GHz.

4.5.2 : 2^{eme} test : (Distance de 500 m) avec diffèrent nombres sous porteuses (128, 256, 512)

paramètres des composants suivants :

- Laser CW/ Photo détecteur PIN : 450 nm de longueur d'onde et 5 w de puissance.
- Modulateur/Démodulateur : 128, 256, 512 sous-porteuses.
- Valeur d'atténuation : 25 dB/km.
- Amplificateur Optique : 30 dB/km
- Distance : 500 m.
- Filtre optique : de longueur d'onde de 450 nm.
- Diamètre de rayon laser (5cm / 20cm).

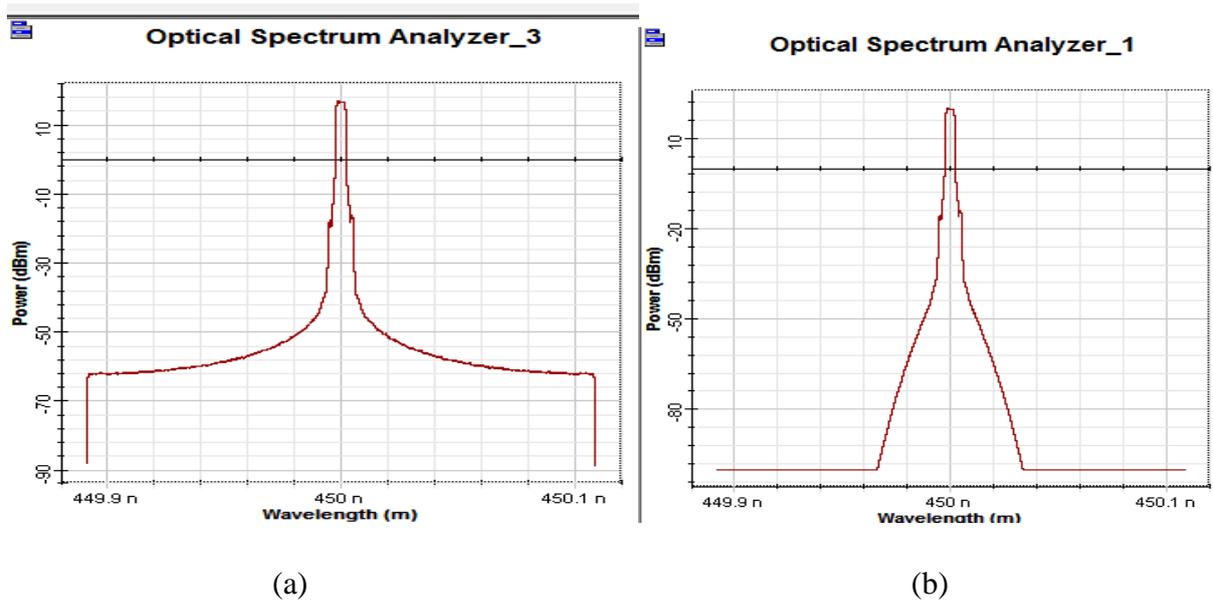
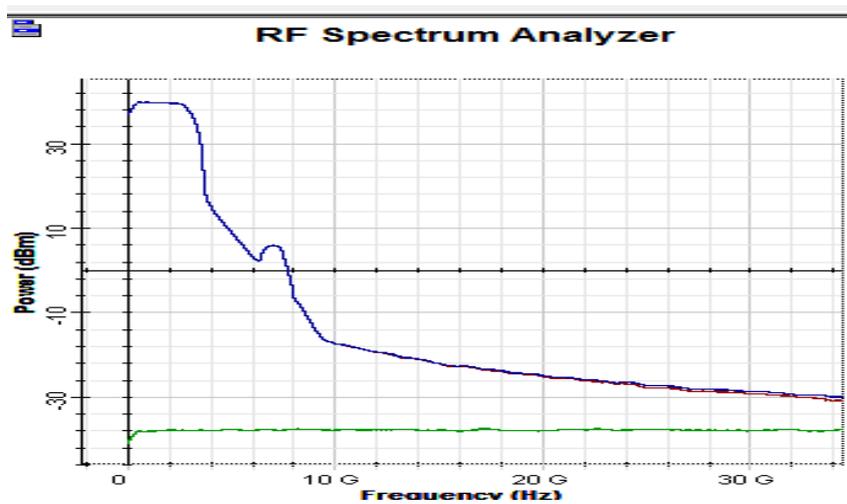
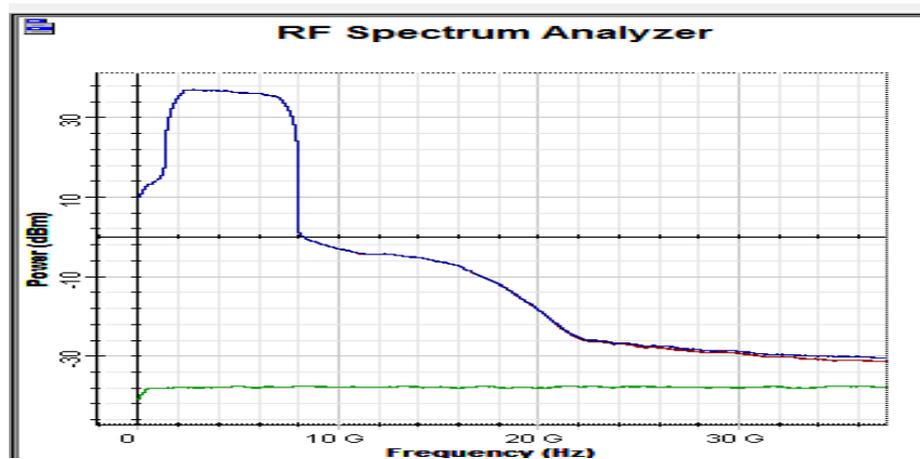


Figure 4.8 : (a) diode laser d'émission, (b) réception par la photodiode

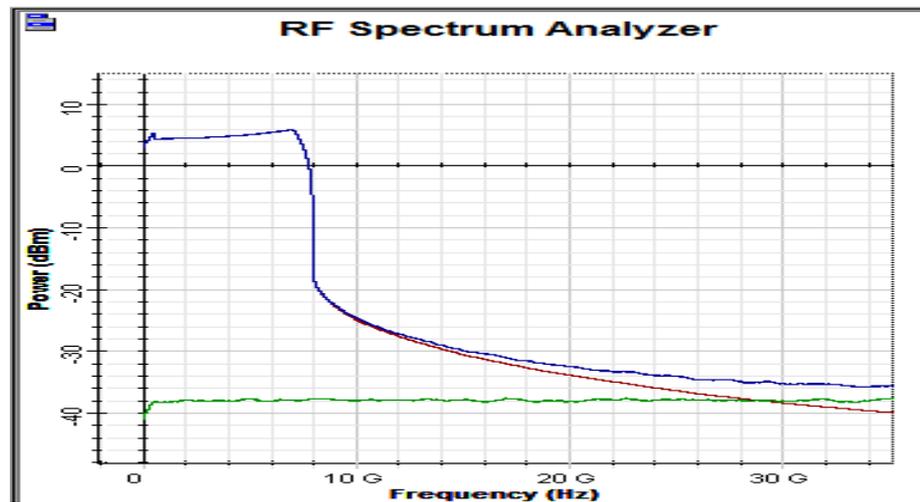
Pour la figure 4.8.b on montre que l'amplitude est diminuée pour une distance de 500 m d'eau. La valeur maximale est de 12 dBm. Pour la forme du spectre pour les deux distances 100m et 500m presque reste le même.



(a).128



(b).256



(c).512

Figure 4.9 : Signaux reçus avec la présence du bruit par le récepteur RF à différents sous-porteuses (a) 128 sous porteuse, (b) 256 et (c) 512 .

Pour la figure 4.9 on trouve que dans le cas de 128 sous-porteuses le signal atteint sa valeur maximale de l'ordre de 35 dBm de sa puissance en fonction de fréquence (jusqu'à 4GHz) et commence à diminuer. Par contre dans le cas de 256 et 512 sous-porteuses le signal atteindra sa valeur maximal de puissance en fonction de la fréquence jusqu'à 8GHz puis commence à diminuer.

On remarque que quand le nombre des sous-porteuses augmente, la puissance du signal reçu reste plus dans sa valeur maximale durant la variation de la fréquence. Le signal est affecté par le bruit dans les grandes valeurs de fréquence (à partir de 25 GHz) pour 512 sous-porteuses.

4.5.3 : 3^{eme} test : (Distance de 1Km) avec différent nombres de sous porteuses (128, 256, 512)

paramètres des composants suivants :

- Laser CW/ Photo détecteur PIN : 450 nm de longueur d'onde et 5 w de puissance.
- Modulateur/Démodulateur : 128, 256, 512 sous-porteuses.
- Valeur d'atténuation : 25 dB/km.
- Amplificateur Optique : 30 dB/km.
- Distance : 1Km.
- Filtre optique : de longueur d'onde de 450 nm.
- Diamètre (5cm / 20cm).

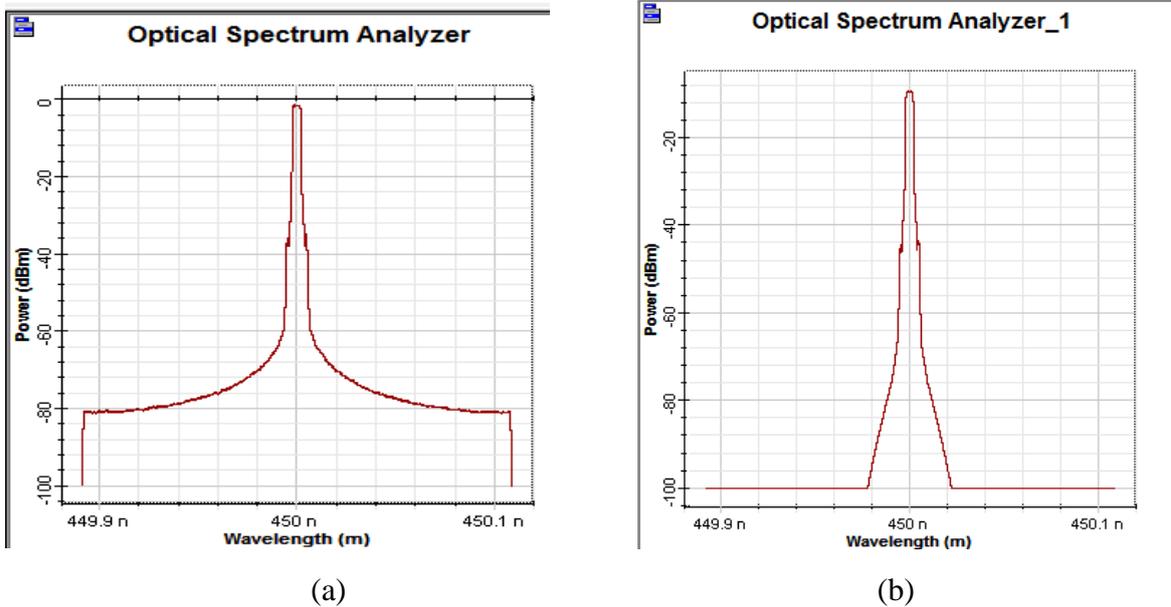
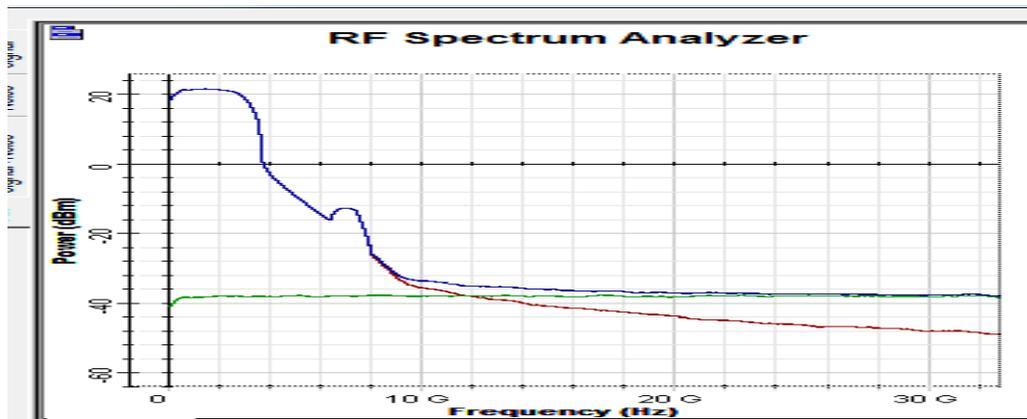
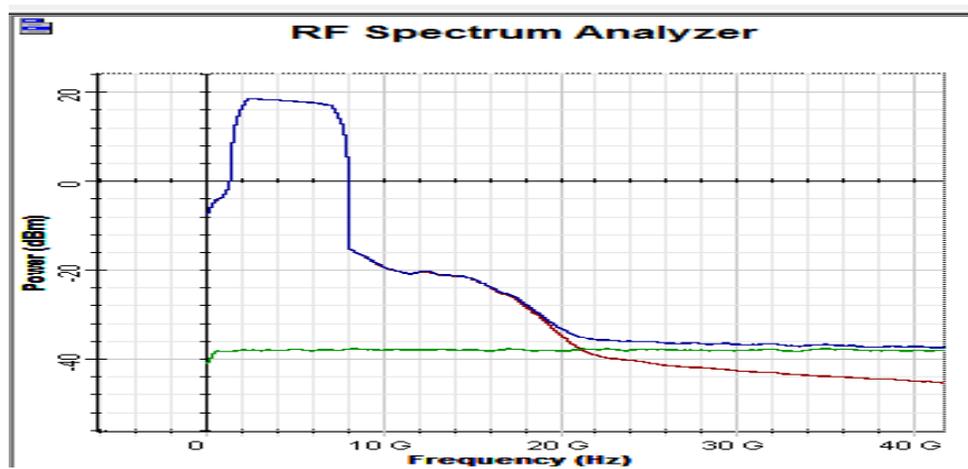


Figure 4.10 : (a) diode laser d'émission, (b) réception par la photodiode

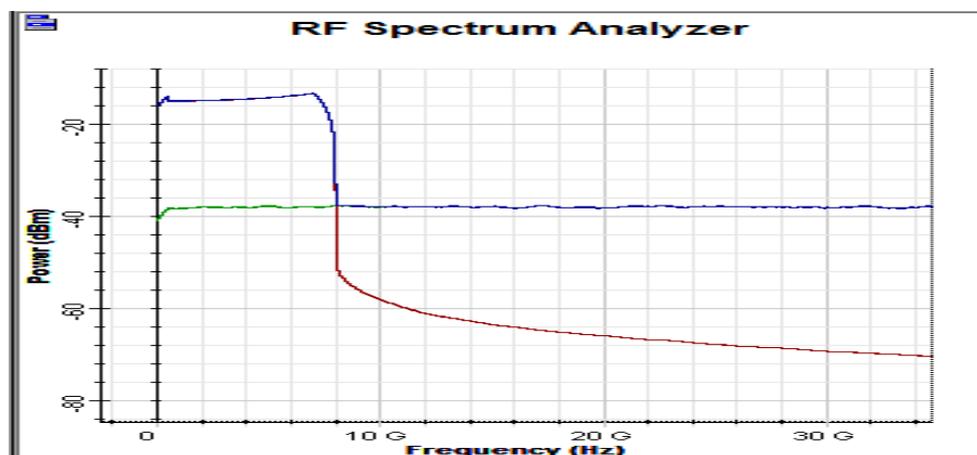
La figure 4.10 montre la simulation pour une distance de 1 km d'eau. Le spectre optique après propagation dans l'eau est diminué à -15 dB, à cause du phénomène d'absorption dans l'eau. Aussi il y a un élargissement au niveau de la largeur de raie de l'intensité.



(a) 128 sous porteuse



(b) 256 sous porteuse



(c) 512 sous porteuse

Figure 4.11 : Signaux reçus avec la présence du bruit par le récepteur RF à différents sous-porteuses (a) 128 sous porteuse, (b) 256 et (c) 512 .

Pour la figure 4.11 ; on remarque que dans les trois types de modulation de sous porteuses 128, 256 et 512 le bruit est devenu non négligeable à partir de 10 Ghz. Presque même grandeur que le signal reçu. L'intensité du signal est beaucoup plus élevée pour 128 sous porteuse de l'ordre de 20 dBm par rapport à 512 sous porteuse qui est de l'ordre de -18 dBm.

4.5.4 : 4^{eme} test : (Distance de 2.6Km) avec 128 sous porteuses

paramètres des composants suivants :

- Laser CW/ Photo détecteur PIN : 450 nm de longueur d'onde et 5 w de puissance.
- Modulateur/Démodulateur : 128 sous-porteuses.
- Valeur d'atténuation : 25 dB/km.
- Amplificateur Optique : 30 dB/km.
- Distance : 2.6Km.
- Filtre optique : de longueur d'onde de 450 nm.
- Diamètre (5cm / 20cm).

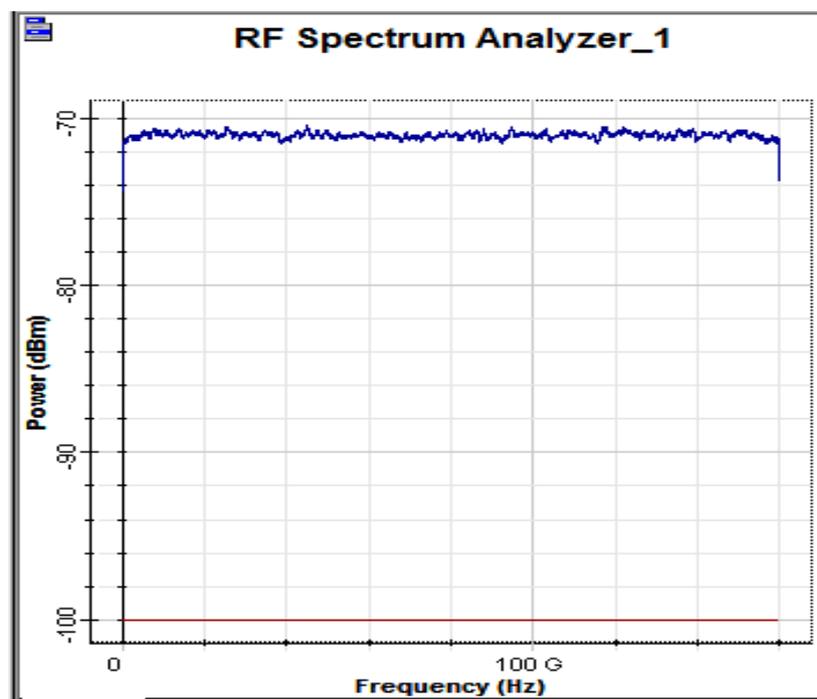


Figure 4.12 : Signal reçu avec bruit par le récepteur RF a différents sous-porteuses (a.128).

Pour la figure 4.12 ; on remarque dans le cas de 128 sous-porteuses que la puissance du signal reçu est très faible de l'ordre de -70 dBm. Un signal qui est difficile a traité. La puissance du signal reçu est presque disparue et très affectée par le phénomène d'absorption des ions OH^- .

4.6 : Résultats et discussion

Dans les cinq tests ; les performances de détection cohérente de l'OFDM attribue M-QAM pour différents paramètres tels que la distance, l'atténuation, le nombre de porteuses, longueurs d'onde sont analysés pour différentes fréquences GHz.

Le système de communication optique sans fil sous-marine est caractérisé par l'utilisation de la détection cohérente M-QAM du OFDM basée sur un nombre différents de sous-porteuses sous le canal d'eau à haute turbulence ; les résultats montrent que lorsque la distance de transmission est augmentée, le nombre de sous-porteuse et la puissance reçu doit augmenter ; cela est dû en grande partie à l'effet anti-impact de l'interférence entre symboles (ISI) ; et comme autre remarque ; lorsque la distance est augmentée , l'effet d'absorption augmente sur le signal .

4.7 : Conclusion

Dans ce chapitre ; nous avons étudié la propagation des ondes lumineuses sans l'utilisation de la fibre optique dans l'eau pour différentes distance de propagation, en utilisant la technique O-OFDM. On y s'intéressé à l'intensité du signal obtenu au niveau du récepteur et le bruit introduit. Notre étude est limitée sur la technique SISO pour faciliter le travail avec la technique de modulation de type QAM.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

La demande croissante pour l'exploration et l'exploitation des ressources sous-marines fait appel au développement des équipements et de la robotique adéquate avec la capacité de transmission de données de grande taille et de manière très réactive.

Parmi les technologies de transmission existantes, les communications optiques sous-marines (UWOC : Under water Wireless Optical communication) s'avèrent particulièrement prometteuses dans ce contexte.

Dans un premier temps ; nous avons étudiée l'impact de différents phénomènes liés à l'environnement aquatique ; sur la qualité de transmission de données dans une liaison UWOC typique ; ensuite ; les diodes laser et les photodiodes utilisés dans le milieu aquatique avec ces caractères limitées au milieu d'eau ; passant par la technique O-OFDM.

Puis nous étions intéressés par l'implémentation de la modulation d'amplitude en quadrature (QAM) dans notre système proposé pour la communication optique sans-fil sous-marine.

Notre simulation est limitée sur la technique SISO pour atteindre des portées de liaison de 1 km. Les résultats obtenus sont satisfaisantes et convaincantes. Pour augmenter la portée qui est le but principal pour les chercheurs est d'aller vers la techniques MIMO. Aussi il faut travailler sur la technique O-OFDM à détection cohérente et à détection directe sans oublier de tester d'autres types de modulations et de démodulations comme QDPSK. Le système proposé peut en outre utilisé dans des scénarios océaniques réels pour transmettre des informations sensibles en temps entre divers nœuds de capteur sous-marines.

Bibliographie

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Jim Hayes <<The Fiber Optic Association (guide to fiber optics and premises cabling)>>2009.
- [2] Mellouk Abdellatif et Ziani Oualid Farid << Analyse des performances d'un système de communication optique en utilisant différents canaux : fso, owc et sMf >>, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en Télécommunication ; Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2017.
- [3] Hamidou Khadîdja Lamia et Gaouar Mohammed Badis << Etude d'un système de transmission par fibre optique et la supervision des liaisons optiques de la DD-T du groupe Sonal gaz >>, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en Télécommunication ; Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2020.
- [4] Melle Belaid Katia et Melle Doumer Ghania << simulation d'une liaison haut débit par fibre optique sur logiciel COMSIS >>, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en Electronique ; Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2012.
- [5] Melle Louazani Marwa et Melle Meddan Samira << Etude des réseaux d'accès optique exploitant le multiplexage en longueurs d'ondes >> ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication ; Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2017.
- [6] Wikipedia.org > Wiki > Diode-Laser, Modifier 2023.
- [7] Irène et Michel Joindot << Les télécommunications par fibre optique >> Centre de Recherche et Développement de France Télécom 1996.
- [8] Sanca Desejado Carlos << Etude des performances d'un réseau optique par la technique OTDR >> ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2020.
- [9] Pierre Lecoy << communication sur fibre optique >> ; 4eme édition revue et augmentée 2014.
- [10] Olivier Bouchet << Télécommunication optique sans fil >> 2011.
- [11] Pierre Lecoy << Communication sur fibre optique >> 3eme édition revue et augmentée 2014.
- [12] Mme Arribi Meriem et Melle Elmahi Aicha << La technique WDM en Télécoms Optiques avancées >> ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication, Université Mustapha Stambouli de Mascara, 2016.
- [13] Mr Chemala Tarik et Seddiki Saïid << Etude d'un canal de transmission toutes optique >> ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Electronique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2017.

- [14] Gilles Willette << De la communication à la télécommunication >> De la communication à la télécommunication, Québec, Presses de l'Université Laval 1991.
- [15] Melle Bouabdallah Radja et Melle Daoued Nesrine << Etude des caractéristique et des performances d'une liaison par fibre optique haut débit >> ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2017.
- [16] Mauris Vo Chin << Transmission communication et Routage dans les réseaux de communication >> 1997.
- [17] Pierre Lecoy , Fibre To The Home << Fibre optique et liaisons >> Professeur Centrale Supelec, président du Club « Fibres Optiques et Réseaux » de la SFO 2015.
- [18] Jinka Venkata ET Aravind << performance analysis of UWOC using SISO and SIMO techniques >>; 2021.
- [19] Glass gow ET Scotland << industry of photonic >>; University of Strathy Cycle 2019.
- [20] Optic express 34060. 24-12-2008 Vol 26 – N: 26.
- [21] Melle Bendra Imene et Melle Mokhtar Khadîdja << Etude de l'effet de la modulation OFDM multi-utilisateurs sur les performances de amplificateurs radio fréquence>> ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2015.
- [22] Ben Mansour Mohamed et Benddra Abdelhadi << Etude d'un système de modulation ROF basée sur OFDM >> ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2022.
- [23] Mr Cherifi Abdlhamid << analyse et évaluation des performances de la modulation multi-porteuse dans la transmission d'information >> ; Thèse de Doctorat pour l'obtention du diplôme en Science en Génie Electrique, Université Abdelhaid Ibn Badis de Mostaganem 2017.
- [24] Galyna Piskonova << Transmission OFDM pour la téléphonie cellulaire >> ; Mémoire presente à l'école de la technologie supérieure comme exigence partielle à l'obtention de la maitrise en Génie Electrique, Ecole de technologie supérieure du QUEBEC 2007.
- [25] Mr Touhami Ridha << Développement d'un modelé OFDM pour la 4eme Génération du mobile de communication >> ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme Magister en Electronique, Université Ferhat Abbas Sétif 2022.
- [26] Boudina Tahar et Matoug Sadak << Impact de DC bias sur les performances d'un système VLC OFDM >> ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master Académique en Télécommunication, Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued 2022.
- [27] Dr Meftah Elhadi << Communication numérique Avancée >> photocopié de cours de la matière communications numériques avancées Université Hassiba Ben Bouali de Chlef 2019.

- [28] Melle Bachaten Amel << Filtrage par réseaux de neurones des non linéarités dans une transmission OFDM >> ; Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en Electronique, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou 2014.
- [29] Zhang, j et Chen Y << Optical OFDM >> Space codes for MIMO optical wireless communications 2015.
- [30] Khan Sa et Houssain Ma << performances analyses of OFDM –BASED Optical communication >> analyzes the performance of indoor orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) optical wireless communication 2007.
- [31] Ahmed Hadji << Système de modulation codées a haute efficacité >> ; Thèse pour L'obtention de garde de Doctorat, Université Dr Mouley Taher, Saida, Algérie 2021.
- [32] Ouchelli Boudjemaa et Ziouani Med Ryad << Etudes et simulations de protocole HARQ dans les canaux RERAYLEIGH>> ; Mémoire de Master en Télécommunication, université Saad Dahlab de Blida 2019.
- [33] Lamia Sadaoui << conception de système antennaires MIMO multistandard LTE pour les nœuds relais >> .Memoire de Master en telecommunication, université cotée D'azur 2018.
- [34] Dehemchi Marwa et Bouhafer Asmae << Etude et analyse de méthode de beamforming pur des systèmes multiutilisateurs pour 5G>> ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master Académique en Télécommunication, Université 8 Mai Guelma 2019.
- [35] Mr Ben Aissa Bilal Ilyes et Mr Bachiri Adel << Détection du signal dans un système MIMO-NOMA>> ; Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master enTélécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2021.