

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE Dr. TAHAR MOULAY – SAIDA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de
Master en Télécommunication
Option : Réseau des Télécommunications

THEME

Etude d'un système OTDMA

Présenté par

- Ben Mechiche Nour El houda
- Yahiaoui Fatna

Soutenu le : 10/09/2020

Devant le jury composé de :

N°	Nom et prénom	Qualité	Grade	Etablissement
1	Dr. Radouane Berber	Président	MAA	Université Dr. Tahar Moulay de Saïda
2	Dr. Boualem Mansouri	Examineur	MCA	Université Dr. Tahar Moulay de Saïda
3	Dr. Garadi Ahmed	Encadreur	MCA	Université Dr. Tahar Moulay de Saïda

Année Universitaire 2019- 2020

Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir offert les capacités morales, physiques et intellectuelles pour pouvoir accomplir ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et l'expression de nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, en particulier notre encadreur

Mr. GARAD? Ahmed

Dédicace

*Au bout de chemin
Au bout de penser à demain
Je pense à tous ceux
Qui vont être heureux
Pour ma réussite et ma joie
Qui ont toujours gardé la foi
En un jour comme celui-ci
Que ce jour l'avenir de toute une vie
A ceux que j'aime fort jusqu'à la frontière de
l'imagination
A mon père, ma mère-grand mère, sans eux je
n'aurais pas abouti
Mon cœur va également à tous ceux que je n'ai pas
cités ici, qu'ils me pardonnent.*

HONDA

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance
et de respect :*

*A mon père et ma mère qui m'ont donnée tous les
moyens disponibles.*

A mes frères

A mes sœurs

A mon binôme et sa famille

*A tous mes amis, tous ceux qui j'ai passé des
meilleurs moments et gardé de très bons souvenirs*

FATMA

Table des matières

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Table des matières	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Liste des abréviations	x
Introduction générale.....	01

Chapitre I : Les Techniques D'accès Multiples

I.1 Introduction	03
I.2 Présentation de la chaine de transmission par fibre optique	03
I.2.1 Conversion optique/électrique et électrique/optique.....	04
I.2.2 Avantages des systèmes avec fibre optiques	05
I.2.3 Partie émission	06
I.2.3.1 LED	06
I.2.3.2 Diode Laser.....	07
I.2.3.3 Technique de modulation.....	07
I.2.3.3.1 La modulation directe.....	08
I.2.3.3.2 La modulation externe.....	08
I.2.3.3.3 Comparaison des deux modulations.....	09
I.2.4 La fibre optique.....	09
I.2.4.1 Définition	09
I.2.4.2 Principe de fonctionnement de la fibre optique.....	10
I.2.4.3 Les types d'une fibre optique.....	10
I.2.4.3.1 Fibre optique à saut d'indice.....	10
I.2.4.3.2 Fibre optique à saut d'indice Multi mode (MMF, Multi Mode Optical Fiber)..	11
I.2.4.3.3 Fibre optique à saut d'indice Mono mode:(SMF, Signal Mode Optical Fiber)..	11
I.2.4.3.4 Fibre optique à gradient d'indice.....	11
I.2.4.4 Les caractéristiques principales de la fibre optique.....	12
I.2.5 Partie réception.....	14
I.2.5.1 Le photo-détecteur.....	14
I.2.5.2 Photodiode PIN.....	15
I.2.5.3 Photodiode avalanche APD.....	15
I.3 L'accès multiple dans les systèmes de communication optiques.....	16
I.3.1 Accès multiple par répartition de fréquences FDMA.....	16
I.3.2 Multiplexage par longueur d'onde.....	17
I.3.3 Multiplexage optique à répartition par longueur d'onde.....	19
I.3.4 L'accès multiple par répartition de code (CDMA).....	19
I.3.5 Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA).....	20
I.4 Conclusion.....	21

Chapitre II : Système OTDMA

II.1 Introduction.....	22
II.2 Système OTDMA.....	22
II.2.1 Architecture d'OTDMA.....	22
II.2.2 Les différentes approches de l'OTDMA.....	22
II.2.2.1 La technique ETDMA.....	23
II.2.2.2 La technique OTDMA.....	23
II.2.2.3 Avantage.....	25
II.2.2.4 Inconvénients.....	25
II.3 Partie émission.....	25
II.3.1 Source optique.....	25
II.3.2 Diviseur de puissance optique.....	26
II.3.3 Coupleur.....	26
II.3.4 Modulation d'amplitude optique (AM).....	27
II.3.5 Décalage entre utilisateurs.....	27
II.4 Partie réception.....	28
II.4.1 Différents types de photo-détecteurs.....	28
II.4.2 Synchronisation.....	29
II.5 Bruit en OTDMA.....	29
II.5.1 Bruit thermique.....	29
II.5.2 Bruit de grenaille.....	30
II.6 Calcul du BER.....	30
II.6.1 Expression du BER.....	31
II.7 Conclusion.....	33

Chapitre III : Implémentation et évaluation des performances d'un système OTDMA

III.1 Introduction.....	34
III.2 Structures étudiées	34
III.2.1 Répartition des longueurs d'onde	34
III.2.2 Source optique.....	36
III.2.3 Photo détecteur et filtre de mise en forme	38
III.3 Résultats et Discussions.....	39
III.3.1 Analyseur BER.....	39
III.3.2 Le facteur de qualité et le diagramme de l'œil	42
III.4 Conclusion.....	44
Conclusion générale.....	45

Listes des figures

Figure I.1 : Chaîne de transmission par fibres optiques	03
Figure I.2 : Spectre électromagnétique.	04
Figure I.3 : Absorption (a), émission spontanée (b) et émission stimulée (c) d'un photon	05
Figure I.4 : Classification des modulations optiques	08
Figure I.5 : Modulation directe	08
Figure I.6 : Modulation externe	09
Figure I.7 : Structure d'une fibre optique	10
Figure I.8 : Fibre à saut d'indice multi mode MMF	11
Figure I.9 : Fibre à saut d'indice mono mode SMF	11
Figure I.10 : Fibre optique à gradient d'indice	12
Figure I.11 : Propagation d'une impulsion le long d'une fibre réelle	13
Figure I.12 : Propagation de deux impulsions de même amplitude à des vitesses différentes	13
Figure I.13 : Schéma du Dispersion modale	14
Figure I.14 : Structure d'une photodiode PIN.	15
Figure I.15 : Structure d'une photodiode a avalanche.	16
Figure I.16: L'accès multiple à répartition en fréquence FDMA	17
Figure I.17 : Multiplexage par longueur d'onde	17
Figure I.18 : Les systèmes WDM.	18
Figure I.19 : Multiplexage optique à répartition par longueur d'onde (WDMA)	19
Figure I.20 : l'accès multiple par répartition de code CDMA	20
Figure I.21 : L'accès multiple par répartition dans le temps TDMA	20
Figure II.1 : Système d'émission et de réception de la technique ETDMA.	23
Figure II.2 : Canal OTDMA a) émetteur, b) récepteur	24
Figure II.3 : Diviseur de puissance optique.	26
Figure II.4 : Modulation AM	27
Figure II.5 : Décalage entre 4 utilisateurs	28
Figure II.6 : Fonctions de base de la synchronisation d'horloges	29
Figure II.7 : BER en fonction du nombre d'utilisateurs	33
Figure III.1 : Schéma blocs d'une liaison radio sur fibre sous Optisystem 7.0.	34
Figure III.2 : Décalage de la longueur d'onde	35

Figure III.3 : Signal de données du premier utilisateur	35
Figure III.4 : Signal de sortie de la source optique	36
Figure III.5 : Répartition des longueurs d'ondes	37
Figure III.6 : Horloge de synchronisation	37
Figure III.7 : La sortie du modulateur : a) Spectrale b) Temporelle	38
Figure III.8 : Récepteur après démodulation	38
Figure III.9 : Signal à la sortie du filtre de Bessel	39
Figure III.10 : Le BER et le seuil de décision respectivement	39
Figure III.11 : Le signal électrique après filtrage de mise en forme.	40
Figure III.12 : Évolution du seuil de décision durant le temps bit.	41
Figure III.13 : Seuil de décision en fonction du temps bit	42
Figure III.14 : Facteur Q en fonction du temps bit	43
Figure III.15 : Diagramme de l'œil du premier utilisateur	43
Figure III.16 : Blocs d'horloge de synchronisation et de retard à la réception	44
Figure III.17 : Le BER du deuxième et du troisième utilisateur	44

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Comparaison des arrangements optiques communs d'accès multiple.	21
Tableau II.1 : Paramètres utilisés dans le calcul numérique	32

Liste des abréviations

LED	Light Emitting Diode
MZ	Mach-Zehnder.
FDMA	Frequency Division Multiple Access.
WDM	Wavelength Division Multiplexing.
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing.
CDMA	Code Division Multiple Access.
OCDMA	Optical Code Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
GSM	Global System For Mobile Communication
ETDMA	Electrical Time division Multiplexing
OTDMA	Optical Time Division Multiplexing
BER	Bit Error Rate.
SNR	Signal to Noise Ratio.
DSP	Densité Spectrale de Puissance.
PRBS	Pseudo Random Bit Sequence Generator.
NRZ	Non Return to Zero

Liste Des Symboles

- E : Energie
- I : Photo-courant
- P : Photon
- S/B :Signal sur bruit
- nm : nanomètre
- λ : La longueur d'onde
- THz : Téra hertz
- τ : Temps chip
- T_b : Temps bit
- Δt : étant le retard apporté par une boucle de ligne à retard
- N : Nombre d'utilisateurs
- HS : Valeurs d'horloges synchronisées des sites
- H_v : Valeurs d'horloges physiques des sites
- σ^2_{TH} : Une variance sur la tension à la sortie du photo-détecteur
- K_B : La constante de Boltzmann en [J.K⁻¹].
- T : La température en [°K].
- Δf : La bande passante du récepteur en [Hz].
- R : La résistance de charge du système de photo détection en [Ω].
- G_{PD} : C'est la densité spectrale de puissance (PSD) à la photodiode.
- σ^2_{SN} : La variance de Bruit de grenaille
- e : Représente la charge d'électron.
- V : C'est la tension moyenne
- Q : Le facteur qualité
- i_{obs} : le courant d'obscurité de la photodiode
- I_K : Le courant du k^{ieme} utilisateur à la réception
- P_{sr} : La puissance effective d'une source à large bande au récepteur
- d_k : Le bit de données du k^{ieme} utilisateur
- \mathfrak{R} : Le rendement de la photodiode
- η : L'efficacité quantique
- e : La charge d'électrons,
- h : La constante de Planck
- ν_0 : La fréquence centrale de l'impulsion optique à large bande d'origine

- P_{tot} : La puissance des sources de bruit qui existent dans le photo-courant
- B : La bande passante équivalente électrique du récepteur en [Hz]
- T_n : La température absolue du récepteur
- $\Delta\nu$: La largeur de bande de la source optique
- P : La probabilité
- f_c : Fréquence de coupure

Introduction générale

Introduction générale

Quelques soit la nature d'un réseau, caractérisé par la présence d'un seul et unique support de transmission, le canal est partagé entre plusieurs utilisateurs voulant accéder au réseau. Ce partage offre de nombreux avantages permettant de faciliter la mise en œuvre de la connexion et d'assurer une grande souplesse d'installation à faible coût. Néanmoins, la répartition non contrôlée du support a un revers, car les utilisateurs ne peuvent pas communiquer simultanément sur le même milieu de transmission. En effet, une utilisation incontrôlée causerait des erreurs. Afin de mettre l'ordre dans le réseau et répondre à la demande croissante en nombre d'utilisateurs, une discipline respectée par toutes les stations interconnectées est nécessaire : c'est la méthode d'accès au support qui permet d'admettre un grand nombre d'utilisateurs [1].

Plusieurs techniques d'accès sont nécessaires pour répondre à l'augmentation de la demande de grande vitesse et de grande capacité de communication dans les réseaux, à savoir l'accès multiple par répartition de fréquences, appelé Frequency Division Multiple Access (FDMA), multiplexage en longueur d'onde WDM ou Wavelength Division Multiple, répartition on code CDMA aussi connu sous le nom de Code Division Multiple Access et répartition de ressources en temps TDMA appelé Time Division Multiple Access. Ces méthodes de multiplexage sont aussi bien employées ou envisageable dans les transmissions radiofréquences que dans les systèmes de communications optiques. A ce titre, le TDMA et le FDMA interviennent tous les deux dans la norme actuelle de téléphonie mobile GSM (Global System for Mobil communications). Le WDM représente, quant à lui, une transposition du FDMA dans les réseaux optiques. Le CDMA était initialement destinée aux applications militaires [2].

La migration des systèmes vers le domaine optique répond parfaitement aux besoins des fournisseurs d'accès afin d'augmenter la bande passante de leurs réseaux. De plus, le support optique présente d'autres nombreux avantages tels que : faible atténuation, grande souplesse et la possibilité de travailler avec des hauts débits sur des longues distances.

Plus récemment, une attention plus particulière a été portée à l'association de la technique d'accès OTDMA qui est l'intérêt de notre mémoire [1] [3].

Ce manuscrite est structuré comme suit :

Le chapitre 1 est consacré à la présentation de la chaîne de transmission par le support essentiel de transmission considéré étant la fibre optique, il s'est donc avéré nécessaire de détailler ses caractéristiques physiques afin de se focaliser ensuite sur les avantages, puis l'étude des différentes techniques de multiplexages (FDMA, TDMA, CDMA) et leurs avantages et inconvénients, nous nous intéressons au TDMA et plus particulièrement à son développement en optique, pour finir avec une présentation de quelques dispositifs tout optiques.

Le chapitre 2 constitue l'axe de notre mémoire où nous abordons le principe de base de la technique OTDMA, nous présentons par la suite les différents bruits qui limitent les performances du système.

Le chapitre 3 porte sur la simulation sous OptiSystem7.0 d'un système OTDMA, avec trois utilisateurs actifs, afin d'évaluer leurs performances dans un environnement réel et de voir les différents paramètres qui limitent leurs performances.

Et nous terminons avec une conclusion générale et les références

Chapitre I : *Les Techniques d'Accès Multiples*

Chapitre I : Les Techniques d'Accès Multiples

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la chaîne de transmission optique et les différentes techniques d'accès multiple utilisées dans les systèmes de télécommunications particulièrement optique ou toutes optiques. Le concept de technique, les sources optiques pour la transmission optique sont présentées et les techniques de modulation, La classification des systèmes d'accès multiple et leur principe de fonctionnement.

I.2 Présentation de la chaîne de transmission par fibre optique

Le schéma d'une chaîne de transmission d'un signal par fibres optiques est illustré sur la figure suivante :

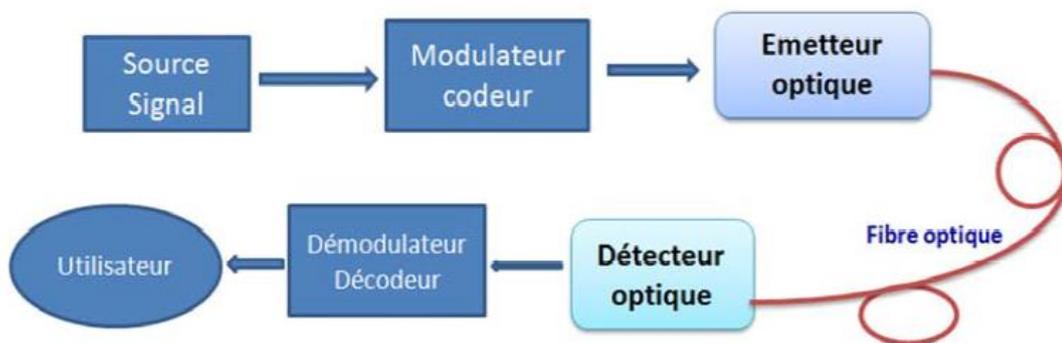


Figure I.1 : Chaîne de transmission par fibres optiques

L'utilisation de la fibre optique, pour le transport du signal, impose une double transformation :

- **Au départ** le signal électrique est converti en un signal lumineux à l'aide d'un composant photoémetteur. Les deux catégories de sources les plus adaptées à ce genre de transmission sont les diodes électroluminescentes et les diodes laser.
- **A l'arrivée**, le signal optique est converti en un signal électrique à l'aide d'un composant photorécepteur. Sont, surtout, utilisées dans ce genre de transmission les photodiodes pin et les photodiodes à avalanche [3].

Dans ce système de transmission, l'information est transportée en utilisant la lumière comme support et les fibres optiques sont les guides de propagation dont le principe est le

confinement de la lumière dans un diélectrique qui assure sa conduction avec une faible atténuation, tout en assurant une insensibilité presque parfaite, de l'information, par rapport aux parasites électromagnétiques [4].

Les systèmes de télécommunications optiques à longues distances sont basés sur la transmission de fréquences optiques de la région du proche IR, soit pour des longueurs d'onde comprises entre 850 nm et 1700 nm ce qui correspond à un domaine fréquentiel compris entre $1.76 \cdot 10^{14}$ et $3.53 \cdot 10^{14}$ Hz (figure I.2), la relation entre la longueur d'onde λ et la fréquence f

étant :

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (I.1)$$

Avec $c = 3 \cdot 10^8$ Km/s, la vitesse de la lumière dans le vide.

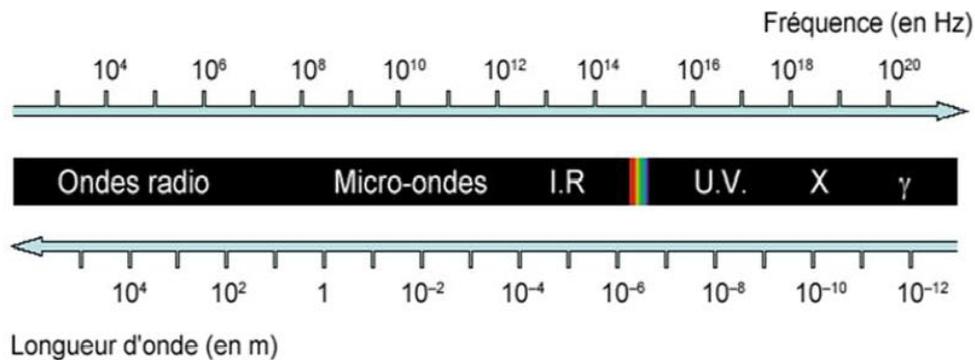


Figure I.2 : Spectre électromagnétique [4].

La fibre optique est très bien adaptée aux transmissions numériques en haut débit. Les avantages principaux de la fibre optique sont :

- Une grande capacité de transmission (Débit très élevé)
- Une importante largeur de la bande passante
- Une très faible atténuation du signal.

L'amplification du signal optique à l'aide de fibres dopées EDFA est apparue en 1989 pour $\lambda = 1550$ nm.

I.2.1 Conversion optique/électrique et électrique/optique

Ces deux types de composants sont élaborés à partir de matériaux semi-conducteurs et leurs principes de fonctionnement sont basés sur les interactions rayonnement semi-conducteur.

Les trois processus d'interaction entre le rayonnement et le semi-conducteur d'énergie de gap E_g (bande interdite) étant :

1. **L'absorption** du photon par un électron de la bande de valence et son passage vers la bande de conduction, entraînant l'apparition d'un trou dans la bande de valence (figure I.3-a).
2. **L'émission spontanée** d'un photon par retour de l'électron excité de la bande de conduction vers la bande de valence et sa recombinaison avec le trou (figure I.3-b), dans le cas où l'énergie cédée par l'électron est de type radiatif [2].
3. **L'émission stimulée** d'un photon avec retour de l'électron excité vers la bande de valence et sa recombinaison avec un trou (figure I.3-c). le photon émis est identique, en longueur d'onde et en phase, au photon incident, il est dans le même état de polarisation. Ce dernier processus est à la base de l'effet laser. L'information émise.

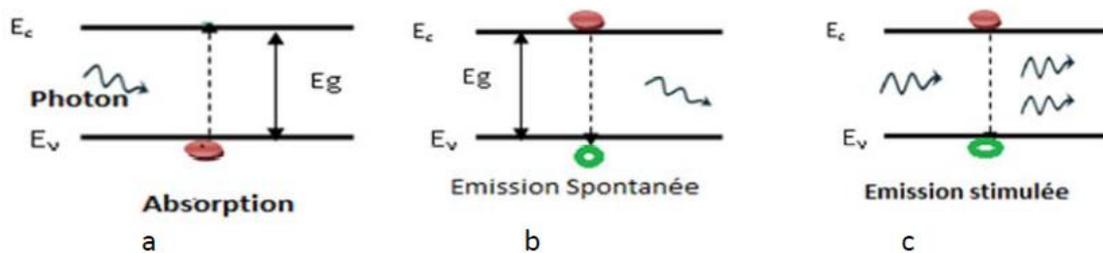


Figure I.3 : Absorption (a), émission spontanée (b) et émission stimulée (c) d'un photon

L'énergie de gap des semi-conducteurs est comprise entre 0.5 et 4 eV, elle est surtout voisine de 1 eV [5].

Qu'il s'agisse d'absorption ou d'émission de radiation par un semi-conducteur, le photon d'énergie :

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (I.2)$$

Avec : h : constante de Planck = $6,62607004 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$

I.2.2 Avantages des systèmes avec fibre optiques

- La capacité de diffuser beaucoup plus d'information et de la fournir avec une plus grande fidélité que le câble coaxial.
- La fibre optique peut soutenir des débits beaucoup plus élevés, et à de plus grandes distances, que le câble coaxial.
- La fibre est totalement immunisée à pratiquement toutes sortes d'interférences, y compris l'éclairement, et ne conduira pas l'électricité. Il peut donc entrer en contact direct avec les équipements électriques et les lignes électriques à haute tension.

- Comme la fibre de base est en verre, elle ne corrodera pas et ne sera pas affectée par la plupart des produits chimiques. Il peut être enterré directement dans la plupart des types de sol ou exposé aux atmosphères les plus corrosives dans les usines chimiques sans préoccupation importante.
- Les câbles à fibres optiques ne sont pratiquement pas affectés par les conditions atmosphériques extérieures, Ce qui leur permet d'être attachés directement aux poteaux téléphoniques ou aux câbles électriques existants sans se soucier du captage de signal étranger.
- Un câble à fibre optique, même celui qui contient de nombreuses fibres, est habituellement beaucoup plus petit et plus léger qu'un câble fil ou coaxial avec une capacité de charge d'information similaire. Il est plus facile à gérer et à installer, et utilise moins d'espace de conduit.
- Le câble à fibre optique est idéal pour les systèmes de communication sécurisés, car il est très difficile à utiliser mais très facile à surveiller. De plus, il n'y a absolument aucun rayonnement électrique d'une fibre.

On peut classifier la chaîne de transmission optique en deux parties avec la technique de modulation [5]:

I.2.3 Partie émission

L'émetteur optique a pour fonction de convertir des impulsions électriques en signaux Optiques pour les véhiculer au cœur de la fibre.

Les informations à transmettre dans un système de télécommunications optiques doivent être inscrites sur le support que constitue la lumière émise par une source de lumière qui peut être :

- Une LED (Light Emitting Diode) qui fonctionne dans le rouge visible (850 nm).
- Une diode à infrarouge qui émet dans l'invisible à 1300 nm.
- Un laser, utilisé pour la fibre monomode, dont la longueur d'onde est 1300 ou 1550nm.

I.2.3.1 LED

Pour la plupart des applications de communications en espace libre, les diodes à émission de lumière infrarouge sont utilisées à cause de leur grande efficacité et de leur longueur d'onde en infrarouge proche, surtout si elles sont utilisées avec des photo-détecteurs en silicium.

La diode électroluminescente est utilisée surtout dans les systèmes de communications à fibres optiques multi-modes, du fait de leurs faisceaux de sortie à large angle de divergence. Il y a deux configurations de LED : les diodes à émission de surface et les diodes à émission latérale [3].

La combinaison des différentes couches dans la LED constitue un guide d'onde optique où un confinement optique est réalisé. Avec le confinement optique et électrique, l'efficacité du dispositif augmente.

La LED est utilisée dans les communications optiques et délivre une puissance optique de plusieurs centaines de microwatts et offre des débits inférieurs à 5 Mbits/s sur fibre multi-mode. Elles sont relativement bon marché et ne demandent pas de circuit distinct pour la polarisation et la modulation [1].

I.2.3.2 Diode Laser

Les diodes laser produisent une puissance optique beaucoup plus importante que les LEDs avec un spectre plus fin, et peuvent donc coupler plus de puissance avec la fibre. La différence avec les LEDs et que les lasers disposent sur les côtés de deux miroirs pour obtenir plusieurs aller-retours dans le milieu en constituant ainsi une cavité optique.

I.2.3.3 Technique de modulation

Afin de transmettre des informations dans le système OTDMA, il faut les imprimer sur le signal à envoyer dans la fibre, c'est ce que l'on appelle une modulation, cette dernière est le procédé qui permet au laser de transmettre de l'information dans une fibre optique en faisant varier certaines caractéristiques du signal lumineux comme son amplitude, sa fréquence ou sa phase, il existe principalement deux techniques : la modulation directe et la modulation externe [3] [6].

Les modulateurs optiques peuvent être classifiés de différentes façons. Une classification simple est proposée sur la Figure I.4. La modulation est dite directe quand la phase ou l'amplitude du laser sont directement modulées à l'intérieur de la source optique. Le temps de réponse de ce type de modulation est lent, ce qui en fait un mauvais candidat pour atteindre des débits de données élevés. C'est pourquoi la majorité du temps, une modulation externe est utilisée.

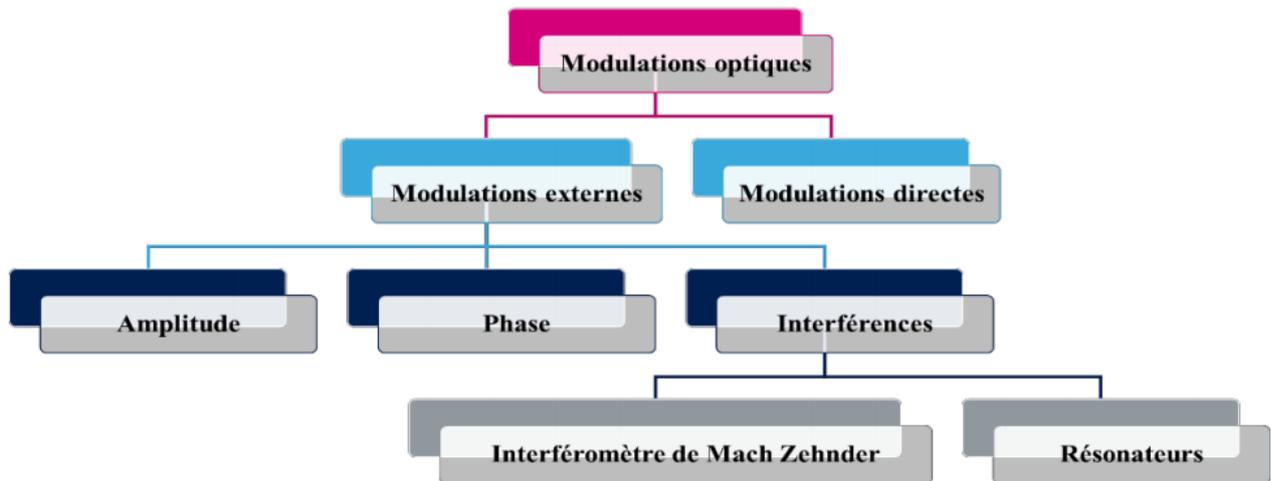


Figure I.4 : Classification des modulations optiques.

Les modulations externes peuvent être catégorisées en trois types : amplitude, phase et interférence. Bien que le dernier type soit basé sur la modulation de phase, l'information est portée par l'amplitude de la puissance optique. Deux types de modulateur permettent de réaliser ces interférences, le premier dit modulateur de Mach Zehnder (MMZ) et le second basé sur des résonateurs électro-optiques [3].

I.2.3.3.1 La modulation directe

La modulation directe consiste à moduler directement le courant d'alimentation de la diode laser. Elle possède quelques avantages tels que la simplicité et le faible coût, mais elle comporte une limitation en terme de temps de réponse. Elle n'est pas applicable pour des systèmes de transmissions à haut débit [6].

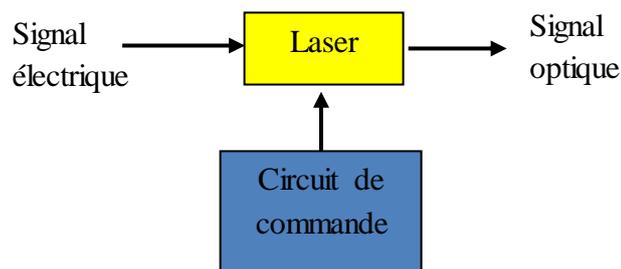


Figure I.5 : Modulation directe

I.2.3.3.2 La modulation externe

La modulation externe est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser. Elle est effectuée par un

composant indispensable qui est le modulateur externe, où le signal à la sortie de ce modulateur est beaucoup moins dégradé que celui issu de la modulation directe [7].

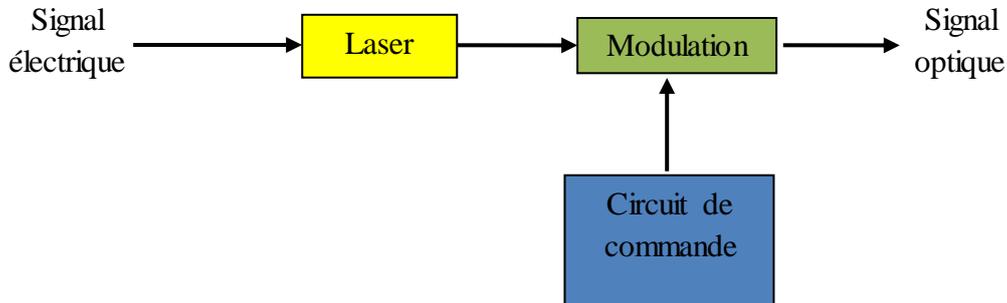


Figure I.6 : Modulation externe

Dans le cas de la modulation externe, divers types de modulation sont possibles : modulation d'amplitude, de phase, de polarisation, d'impulsion ...etc. [8]

I.2.3.3 Comparaison des deux modulations

Une comparaison, on peut dire que la modulation externe possède une grande bande passante par comparaison avec la modulation directe. Cependant, la modulation directe est plus facile à réaliser et avec un moindre coût et sera utilisée dans les réseaux à accès optique.

I.2.4 La fibre optique

I.2.4.1 Définition

La fibre optique est un support de transmission destiné à transmettre de l'information sur les réseaux informatiques. Autrefois réservée aux liaisons interentreprises

La fibre optique désigne un câble qui contient un fil transparent en verre ou en plastique capable de conduire la lumière. C'est cette lumière qui va être transportée dans le réseau de communication et être interprétée à la réception. La fibre optique possède aussi l'avantage d'être naturellement insensible à des perturbations électriques extérieures. On peut ainsi établir une liaison en fibre optique sur des milliers de kilomètres [2].

Il constitue de :

- Le cœur: composé de silice, de quartz fondu ou de plastique. C'est la couche la plus importante en termes de transmission optique qui permet de guider des informations d'un bout à l'autre de la fibre sans trop de pertes.

- La gaine optique : qui est composée des mêmes matériaux que le cœur. Son indice de réfraction est inférieur à celui du cœur (différence de quelques millièmes) ce qui permet de réfléchir la lumière entièrement de multiples fois à l'interface cœur-gaine (phénomène de réflexion totale interne). La gaine optique n'étant pas destinée à transmettre la lumière, il n'est pas nécessaire que ses propriétés optiques soient aussi bonnes que celles du cœur. Le cœur et la gaine constituent la partie optique qui canalise et propage la lumière.
- La couche de protection : permet de contact de la fibre avec des supports sans perturber le fonctionnement de la partie optique. Généralement en plastique, le tube n'intervient pas dans la transmission de la lumière. Il assure la protection mécanique de la fibre ; il sert à la flexibilité de la fibre et facilite sa manipulation.

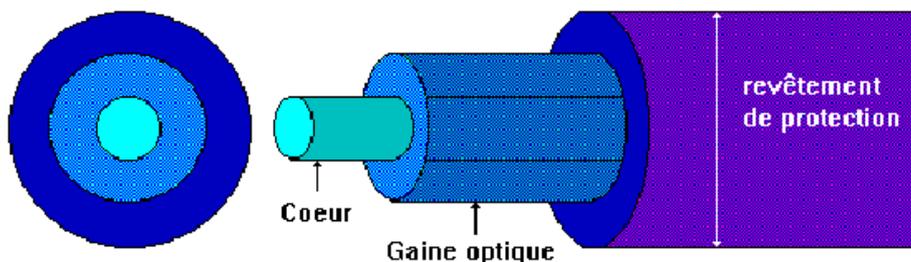


Figure I.7 : Structure d'une fibre optique

I.2.4.2 Principe de fonctionnement de la fibre optique

Pour guider la lumière, celle-ci comprend un cœur, où l'énergie lumineuse est confinée, et une gaine dotée d'un indice de réfraction plus faible. Le cœur est constitué d'une silice très pure comportant un minimum d'ions hydroxydes (OH⁻). La gaine optique est-elle réalisée avec une silice de moindre qualité.

L'ouverture numérique de la fibre (ON) représente le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre, pour que la lumière puisse être guidée ; cet angle est mesuré par rapport à l'axe de la fibre, elle est définie par la relation suivante :

$$\sqrt{n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}$$

I.2.4.3 Les types d'une fibre optique

I.2.4.3.1 Fibre optique à saut d'indice

Dans les fibres optiques à saut d'indice la variation d'indice entre le cœur et la gaine est brutale. La propagation s'y fait par réflexion totale à l'interface (cœur/gaine).

I.2.4.3.2 Fibre optique à saut d'indice Multi mode (MMF, Multi Mode Optical Fiber)

Quand le diamètre du cœur de la fibre est grande devant la longueur d'onde de la lumière, l'ouverture numérique est important et permet un bon couplage optique ce type de fibre autorise l'utilisation de sources de faible puissance (LED). Cependant, la fibre admet plusieurs rayons qui se propagent sur des chemins différents on modes de propagation. Ces différents trajets provoquent un étalement du signal (dispersion modal ou DMD, Différentiel Mode Delay) (figure I.8)

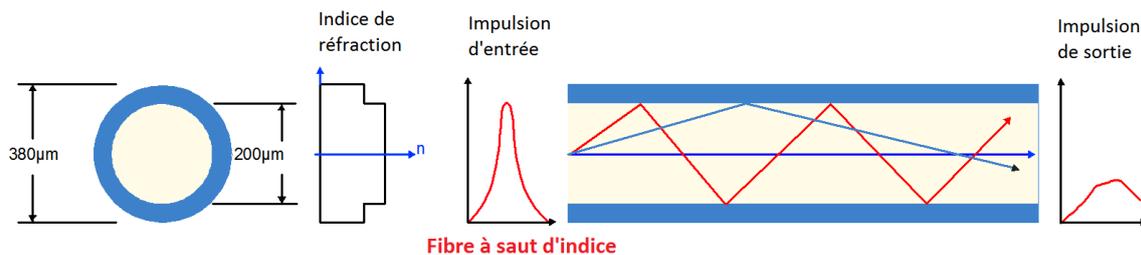


Figure I.8 : Fibre à saut d'indice multi mode MMF

I.2.4.3.3 Fibre optique à saut d'indice Mono mode:(SMF, Signal Mode Optical Fiber)

Le diamètre de cœur est compris entre 8 et 9 μm et le diamètre du manteau 125 μm . La fibre n'est monomode qu'au-delà d'une certaine longueur d'onde appelée longueur d'onde de coupure. Si la fibre monomode permet de franchir grandes distances, le couplage optique est faible est demande une source de puissance lumineuse supérieure. La fibre monomode exige l'emploi de diodes laser, d'un coût plus élevé et d'une longévité réduite (figure I.9)

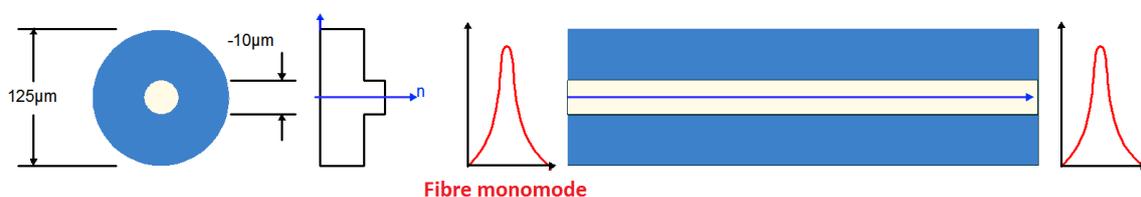


Figure I.9 : Fibre à saut d'indice mono mode SMF

I.2.4.3.4 Fibre optique à gradient d'indice

L'indice de cœur décroît de façon continue, depuis le centre de cœur jusqu'à l'interface cœur/gaine suivant une loi parabolique. La vitesse de propagation est d'autant plus élevée que

l'indice de réfraction est faible. Cette différence vitesse tend à compenser les différences de trajets, elle réduit la dispersion modale (figure I.10)

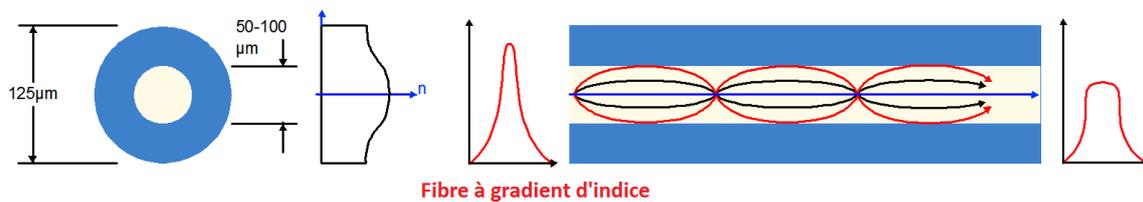


Figure I.10 : Fibre optique à gradient d'indice

I.2.4.4 Les caractéristiques principales de la fibre optique

➤ L'atténuation

L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal transmis

L'atténuation, que ce soit dans les lignes de transmission ou dans la transmission hertzienne, est une grandeur importante dans les télécommunications, dont elle est un facteur limitatif.

Ce concept sert aussi en acoustique, notamment en acoustique environnementale pour le calcul de l'isolation phonique. Dans les circuits électroniques, les montages atténuateurs servent pour l'adaptation du niveau du signal entre des parties d'un appareil, sans en modifier d'autre part les caractéristiques.

L'atténuation dépend généralement de la fréquence et peut, par conséquent, s'exprimer par un nombre complexe, exprimant le rapport des amplitudes et le déphasage de la sortie par rapport à l'entrée à une fréquence donnée. Dans un circuit électronique, cette expression est donnée par la fonction de transfert. Dans une ligne de transmission, c'est le coefficient de propagation ou exposant linéique de propagation, dont la partie réelle s'appelle affaiblissement linéique et s'exprime en nêpes par kilomètre, et la partie imaginaire, déphasage linéique et s'exprime en radians par kilomètre.

On se contente souvent d'indiquer la diminution de la puissance du signal ou de la porteuse par unité de longueur, le plus souvent en décibels par kilomètre [9].

Cette valeur concerne aussi les transmissions par fibre optique.

➤ **Dispersion**

La dispersion du signal optique dans une fibre crée de la distorsion aussi bien en transmission analogique que numérique. Le phénomène de dispersion se traduit par un élargissement des impulsions au cours de leur propagation. Cet élargissement limite de la bande passante du canal de transmission.



Figure I.11 : Propagation d'une impulsion le long d'une fibre réelle

a) **La dispersion chromatique**

Dans les fibres optiques, la dispersion chromatique, correspondant aux variations de temps de propagation des diverses longueurs d'onde, est l'un des facteurs limitant de la bande passante (les autres étant la dispersion intermodale et la dispersion par polarisation) [6].

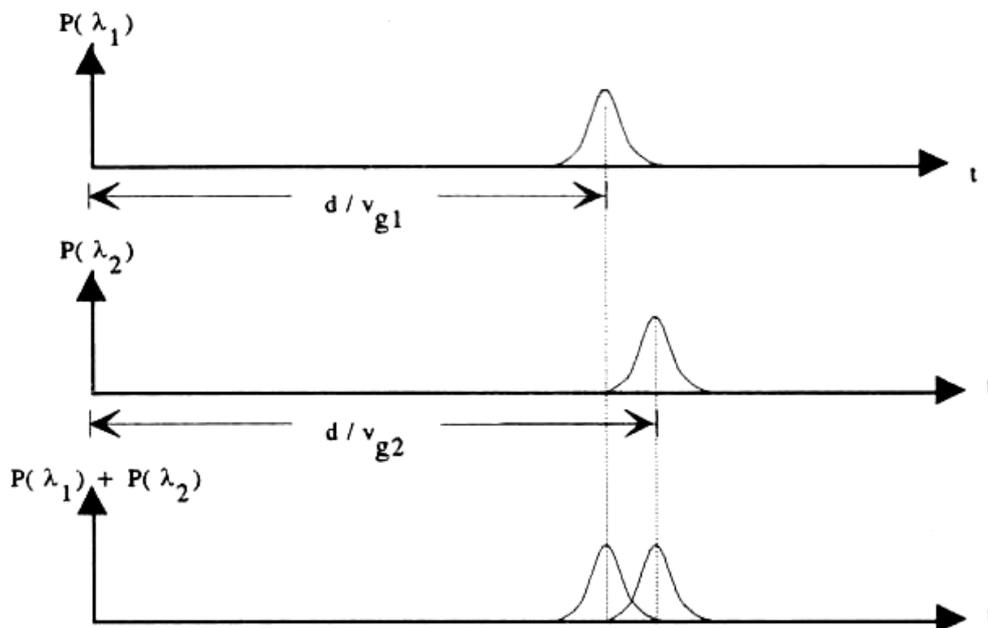


Figure I.12 : Propagation de deux impulsions de même amplitude à des vitesses différentes (même trajectoire).

b) Dispersion modale

Une fibre multi modes est le siège de plusieurs modes de guidage de la lumière. Ces différents modes ont une vitesse de propagation différente. Lorsqu'une impulsion est émise dans la fibre, elle se décompose selon ces différents modes ; certaines composantes arrivant avant d'autres, l'impulsion est alors étalée. Les fibres multi modes à gradient d'indice ont été développées de manière à pallier ce problème de la dispersion modale. Le cœur n'est pas homogène. Comme l'indice de réfraction n'est pas constant, la vitesse de propagation de chaque mode va varier. Le faisceau lumineux est continuellement dévié vers l'axe optique, produisant une sorte d'effet de focalisation. Ainsi, la dispersion modale d'une fibre à gradient d'indice est plus faible que celle d'une fibre à saut d'indice. Dans le cas d'une fibre monomode, la dispersion modale n'existe pas ou elle est pratiquement nulle. Par ailleurs, ses dimensions sont telles qu'il y a une très faible dispersion due aux trajets multiples [10].

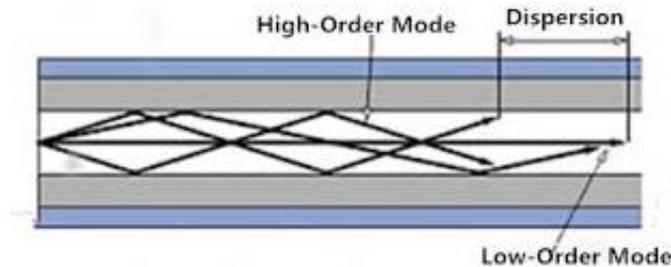


Figure I.13 : Schéma du Dispersion modale

I.2.5 Partie réception

Un récepteur optique est le module de fin du système de chaîne de transmission par fibre optique. Il reçoit le signal optique provenant de la fibre optique et le transforme en signal électrique afin d'extraire l'information transmise. Le signal optique qui est transformé en signal électrique grâce à un photo-détecteur est ensuite amplifié avant que les données ne soient extraites.

I.2.5.1 Le photo-détecteur

Un photo-détecteur convertit les photons incidents en courant d'électron. Il transforme donc le signal optique en signal électrique. Un bon photo-détecteur doit être très sensible à la longueur d'onde utilisée, générer un minimum de bruit et doit être suffisamment rapide [5].

Les photo-détecteurs à semi-conducteurs sont les plus utilisés car ils sont très rapides, leur coût est de dimensions compatibles avec les fibres optiques.

I.2.5.2 Photodiode PIN

La principale qualité d'une photodiode PIN est que la composante d'entraînement du photo-courant domine sur la composante diffusive, parce que la plupart de la puissance optique incidente est absorbée à l'intérieur de la zone I, [6].

En Effet, la zone I est placée entre la zone P et la zone N d'un semi-conducteur différent dont la bande interdite est choisie afin que les photons incidents soient absorbés seulement dans la zone I de la photodiode (Figure I.14).

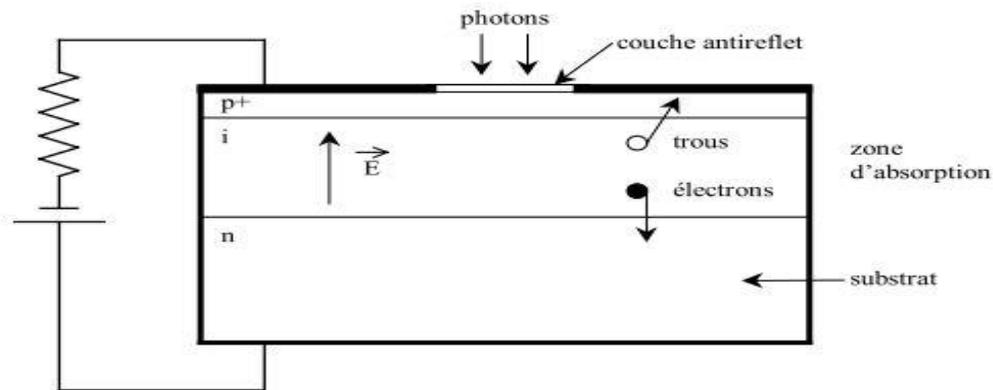


Figure I.14 : Structure d'une photodiode PIN.

Une photodiode PIN utilise généralement du matériau InGaAs pour la région I et du matériau InP pour couches P et N.

I.2.5.3 Photodiode avalanche APD

Afin que le rapport signal sur bruit soit suffisamment important, l'idée d'utiliser le phénomène de multiplication interne pour qu'un photon incident n'engendre plus un seul photoélectron, mais plusieurs ont été soulevées, ceci pour augmenter la puissance du signal électrique correspondant à une puissance optique incidente donnée [7].

Tous comme pour les photodiodes PIN, il existe plusieurs structures possibles. Elles résultent d'un compromis entre une zone d'absorption large, et une jonction très abrupte pour obtenir un très fort champ électrique. C'est le principe de la structure donnée (Figure I.15).

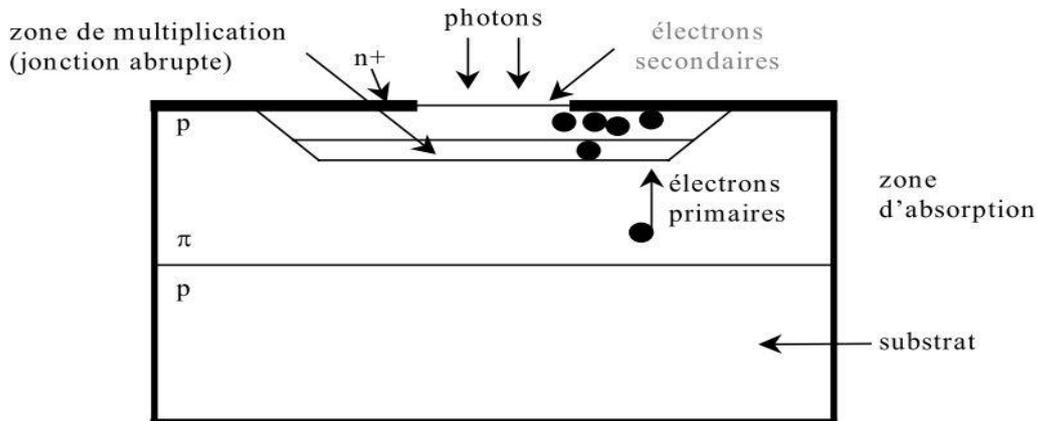


Figure I.15 : Structure d'une photodiode a avalanche.

Des performances entre les deux photodiodes permettent de faire un choix. Le rapport Signal sur Bruit (S/B) est défini par le rapport du (Photo-courant engendré par la puissance du signal optique)² sur le (Courant de bruit du photo-détecteur + courant de bruit de l'amplificateur) ².

Pour de faibles niveaux, le rapport signal sur bruit est meilleur avec une photodiode à avalanche alors que pour des niveaux plus forts, il vaut mieux utiliser une photodiode PIN.

I.3 L'accès multiple dans les systèmes de communication optiques

La bande passante des fibres optiques permet de concevoir des systèmes de transmission de l'information à des débits élevés; cependant, le traitement électronique des données à l'émission et à la réception impose des limitations en termes de débit dues aux composants électroniques dont la bande passante est très inférieure à celle fournie par la fibre optique. Cette bande importante permet d'effectuer opérations d'accès multiples, ce qui favorise la communication entre plusieurs utilisateurs simultanément. Des techniques de multiplexage ont été développées pour les systèmes d'émission et de réception permettant chacune de transmettre N signaux de débits D sur le même canal, ce qui équivaut à la transmission d'un signal de débit $N \times D$: ce sont les techniques FDMA, TDMA, CDMA [2].

I.3.1 Accès multiple par répartition de fréquences FDMA

L'accès multiple à répartition en fréquence (FDMA pour Fréquence Division Multiple Access) est le plus ancien des procédés de multiplexage, sans doute pour des raisons de faisabilité technologique. Les transmissions hertziennes demandant déjà un décalage en fréquence du spectre (modulation), il était tout naturel d'utiliser plusieurs valeurs de décalage pour transmettre plusieurs messages en même temps. Ce multiplexage est fondé sur le

découpage d'une bande de fréquences et l'allocation de chaque portion de spectre à chacun des utilisateurs (voir figure I.16). Les systèmes FDMA sont très largement répandus sur câble et en radiofréquence [3].

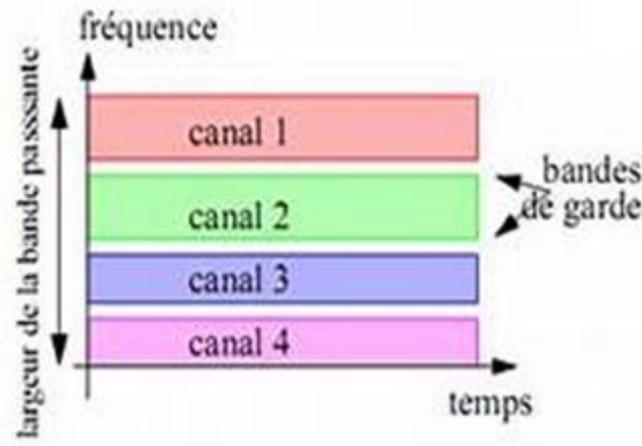


Figure I.16 : L'accès multiple à répartition en fréquence FDMA

I.3.2 Multiplexage par longueur d'onde

La technologie du WDM est représentée par deux terminaux et un lien optique monomode les reliant. Le premier est un multiplexeur, le second un démultiplexeur. Le multiplexeur a pour rôle de changer les longueurs d'ondes des signaux entrant et de les multiplexer sur un seul canal. Pour changer les longueurs d'ondes entrantes, il est nécessaire d'utiliser un transpondeur. Lorsque des signaux arrivent au niveau du multiplexeur, il est possible qu'ils aient la même longueur d'onde, même si l'émetteur est différent. Etant donné qu'il n'est pas possible d'envoyer deux fois la même longueur d'ondes sur un même lien au risque d'erreur l'information des deux signaux, c'est le transpondeur qui va se charger de changer la longueur d'onde d'un de des deux signaux.

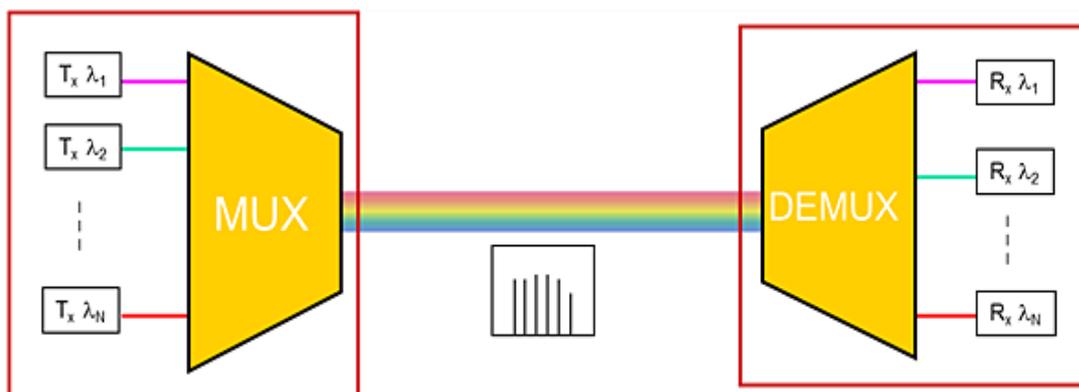


Figure I.17 : Multiplexage par longueur d'onde

Ainsi, chaque flux entrant va être codé sur une porteuse par modulation d'amplitude ou de phase. Ce qui permet donc de diffuser des signaux de sources différentes et ayant des longueurs d'ondes identiques sur un même canal.

Arrivé au démultiplexeur, celui-ci va agir comme plusieurs filtres dans des zones de longueurs d'ondes données. Il a donc connaissance des longueurs d'ondes qui circulent dans le lien optique. Le démultiplexeur va donc pouvoir récupérer l'intégralité d'un signal qui avait été multiplexé. L'intérêt de la fibre optique est que ces signaux ne peuvent se confondre, à la réception ils seront parfaitement distingués [4].

Il existe plusieurs systèmes WDM. Ils adoptent tous le même principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux (longueurs d'onde) utilisables dans une fibre.

- **Le multiplexage WDM** : est caractérisé par l'intervalle minimum entre deux longueurs d'onde accessibles. Cet intervalle est exprimé en nanomètres (nm) ou en Gigahertz (GHz).

- **Le multiplexage DWDM (Dense WDM)** : Si cet intervalle est inférieur ou égale à 0,8 nm (soit 100 GHz), nous parlons alors de multiplexage DWDM (Dense WDM). Des expérimentations ont même effectuées avec des intervalles de 0,4 et 0,2 nm ou 160 canaux peuvent être utilisables dans une fibre. Dans ce cas, nous parlons de multiplexage UDWDM (Ultra Dense WDM). La figure I.18 illustre les différents systèmes WDM en fonction de l'espacement [3].

Espacement	Nombre de canaux
1000 GHz ($\Delta\lambda = 8$ nm)	4
400 GHz ($\Delta\lambda = 3,2$ nm)	8
200 GHz ($\Delta\lambda = 1,6$ nm)	16
100 GHz ($\Delta\lambda = 0,8$ nm)	32
50 GHz ($\Delta\lambda = 0,4$ nm)	80
25 GHz ($\Delta\lambda = 0,2$ nm)	160

Figure I.18 : Les systèmes WDM.

Il existe une autre forme de multiplexage WDM, moins performante, connue sous l'appellation CWDM (Coarse WDM qui signifie WDM grossier) [3]. Dix-huit canaux au maximum sont utilisables, mais en pratique les équipements émettent sur quatre, huit ou seize canaux.

I.3.3 Multiplexage optique à répartition par longueur d'onde

L'adaptation en optique de cette technique est l'accès multiple par longueur d'onde (Wavelength Division Multiple Access ou WDMA), dont le schéma est donné sur la figure 1.3. Une longueur d'onde est attribuée à chaque utilisateur, l'ensemble des utilisateurs communique dans une fenêtre fréquentielle donnée. En télécommunication, on considère souvent des fenêtres de largeur 40 nm correspondant par exemple à 50 longueurs d'ondes espacées de 0.8nm. Par différentiation de la formule reliant la longueur d'onde de propagation à 100 gigahertz pour une longueur d'onde 1.55 micromètre. Actuellement, on peut doubler le nombre de canaux et multiplexer sur une fibre optique 100 canaux qui seront alors espacés de 50 gigahertz par entrelacement des longueurs d'onde. Dans un tel système, chaque canal utilisateur peut utiliser le débit maximal autorisé par le matériel électronique. Le multiplexage des canaux permet alors d'atteindre des débits de l'ordre de quelques téraoctets par seconde (5 téraoctet avec 100 canaux de 50 gigahertz sur une fenêtre optique de 40 nanomètre). Toutefois les performances du système sont limitées par celles des sources laser, du point de vue de la dérive en longueur d'onde pendant le fonctionnement, nécessitant un contrôle d'autant plus précis que l'écart en longueur d'onde entre deux canaux est faible.

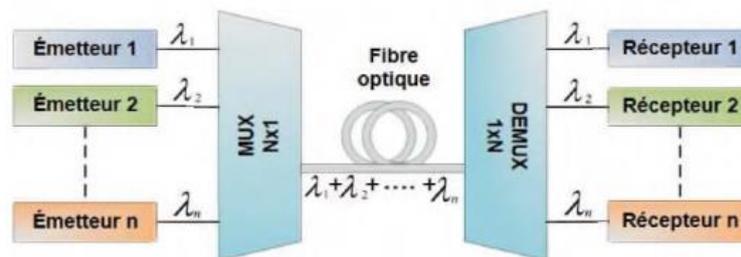


Figure I.19 : Multiplexage optique à répartition par longueur d'onde (WDMA)

Dans le cas d'utilisation de lasers accordables, le temps nécessaire à l'établissement de la longueur d'onde désirée est aussi à prendre en compte dans les performances globales. Un effort important doit être porté sur la syntonisation entre l'émetteur et le récepteur dans un système d'allocation dynamique des longueurs d'onde, car ils devront être accordés sur la même longueur d'onde au même moment avec une grande précision. On peut alors implémenter des systèmes de contrôle des canaux et de détection de collision, ce qui consomme une partie de la bande passante [3].

I.3.4 L'accès multiple par répartition de code (CDMA)

Le CDMA est défini comme un élargissement du signal sur très grande bande passante, de telle sorte qu'il aura l'apparence d'un bruit par rapport aux autres utilisateurs. Cette

technique de multiplexage est plus récente que le TDMA et le FDMA. Elle repose principalement sur le partage de la même bande de fréquence et le même intervalle de temps, tout en attribuant un code spécifique à chaque abonné [5].

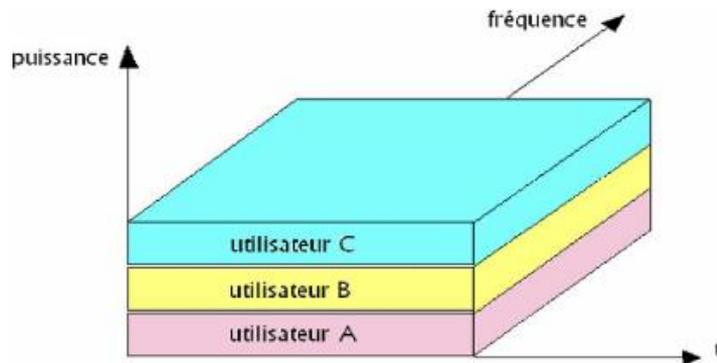


Figure I.20 : l'accès multiple par répartition de code CDMA

Dans les réseaux optiques, le concept du CDMA ou Optical Code Division Multiple Access (OCDMA) a été introduit vers le milieu des années 80, les systèmes de communication par fibre optique bénéficiant d'une bande passante très élevée (de l'ordre du THz). En effet, le CDMA est basé sur la technique de l'étalement de spectre [2–4], qui consiste à répartir la puissance du signal émis sur une largeur de bande beaucoup plus grande que celle nécessaire à la transmission des informations. Les systèmes à fibres optiques sont donc avantageés.

I.3.5 Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA)

Le TDMA est fondé sur la transmission sur une même bande de fréquence les signaux provenant de plusieurs utilisateurs. Chaque utilisateur dispose d'une courte période de temps (un slot). Une trame TDMA est émise quand, chacun à leur tour, tous les transmetteurs ont parlé. Le fonctionnement du système apparaît sur la figure 1.21.

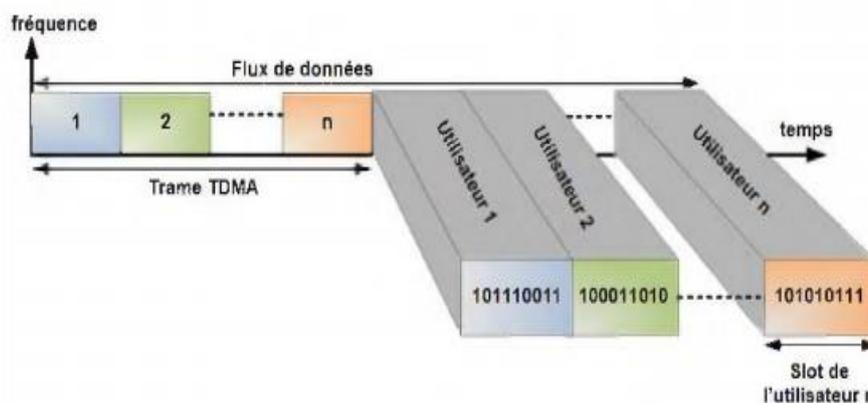


Figure I.21 : L'accès multiple par répartition dans le temps TDMA

La téléphonie fixe utilise ce type de partage qu'on retrouve en téléphonie mobile GSM (Global System For Mobile Communication) sous forme de huit sous-canaux à l'intérieur de chacune des bandes de fréquence (originellement un canal à allouées aux opérateurs de téléphonie. On peut dénombrer deux implémentations optiques de ce type de multiplexage : ETDM (Electrical Time Division Multiplexing) qui suppose que le multiplexage et démultiplexage soient réalisés de manière électronique, et OTDMA (Optical Time Division Multiplexing), qui suppose que le multiplexage et le démultiplexage soient réalisés en optique. [3] En peut faire une comparaison dans les trois types dans le tableau suivant [10] :

Technique d'accès Multiple	Avantages	Inconvénients
TDMA	<ul style="list-style-type: none"> a. canaux consacrés fournis. b. haut débit. c. Accès déterministe. 	<ul style="list-style-type: none"> a. La performance se dégrade avec le nombre d'utilisateurs simultanés. b. Pas efficace du trafic en rafales c. La bande passante gaspillée d. Canal pas utilisé efficacement e. Performance se dégrade avec le nombre d'utilisateurs simultanés
CDMA	<ul style="list-style-type: none"> a. Les utilisateurs simultanés autorisés. b. Accès asynchrone. c. Pas de retard ni de planification. d. Efficacité élevée de largeur de bande. e. Efficace pour le trafic en rafales. f. Canaux consacrés fournis. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Performance se dégrade avec le nombre d'utilisateurs simultanés.
FDMA/ WDMA	<ul style="list-style-type: none"> a. canaux consacrés fournis. b. Les utilisateurs simultanés autorisés. c. Efficacité de large bande passante. d. Les utilisateurs simultanés autorisés. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Interférence de canal. b. Channel inactif la plupart du temps. c. Effets non linéaires.

Tableau I.1 : Comparaison des arrangements optiques communs d'accès multiple.

I.4 Conclusion

Cette partie donne une brève description des réseaux de télécommunications optiques, principe de transmission sur fibre optique, des nombreux schémas d'accès multiple avec la présentation des composants utilisés pour la réalisation de chaque technique et une comparaison entre les différentes techniques WDMA, CDMA, TDMA et FDMA.

Chapitre II : *Système OTDMA*

Chapitre II : *Système OTDMA*

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous limitons l'analyse à un seul type d'OTDMA qui constitue l'axe de notre travail. L'OTDMA (Optical Time Division Multiple Access) qui a été développé au début des années 1990, permet de dépasser cette limite pour approcher des débits de l'ordre du Téra-bit par seconde.

Nous parlerons dans un premier temps des principes de base de système OTDMA: partie émission et partie réception. Ensuite, nous analyserons les différents types de bruit présents dans ce genre de système.

II.2 Système OTDMA

Les liaisons optiques dans le système OTDMA reposent sur le principe de faire circuler une information entre un émetteur et un récepteur en minimisant les risques de déformation du signal reçu. Dans ces liaisons il existe trois parties importants pour effectuer la transmission des données qui sont : partie émission, décalage entre utilisateurs et partie de réception.

II.2.1 Architecture d'OTDMA

L'OTDMA consiste à multiplexer en temps des trains d'impulsions optiques de manière purement optique. Le système OTDMA est constitué à l'émission d'une source laser qui émet des impulsions optiques de durée τ (appelé aussi temps chip). Ces impulsions sont appliquées à l'entrée d'un modulateur optique, commandé par un signal électrique de durée T_b (appelé aussi temps bit) qui représente les données à transmettre d'un utilisateur [7].

II.2.2 Les différentes approches de l'OTDMA

Le système OTDMA peut être divisé dans deux catégories :

- Technique ETDMA
- Technique OTDMA

II.2.2.1 La technique ETDMA

Les signaux provenant de chaque utilisateur sont multiplexés de manière électrique (Figure I.3), le signal résultant servant à moduler à l'aide d'une source optique.

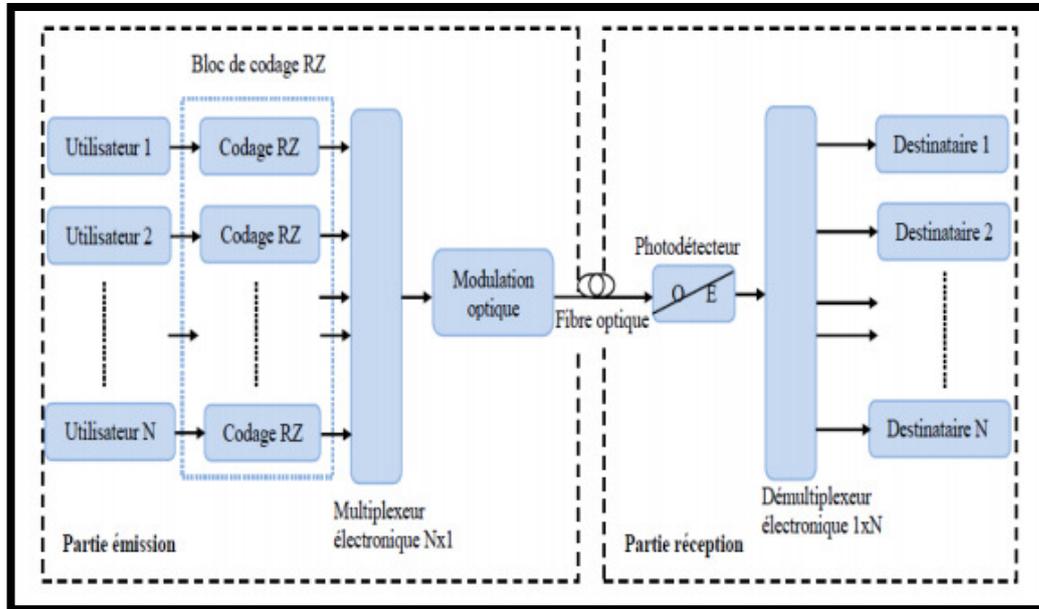


Figure II.1 : Système d'émission et de réception de la technique ETDMA.

La fréquence maximum du signal résultant, généré de manière électrique, sera donc limitée par les possibilités de l'électronique (quelques dizaines de gigahertz). En fonction du nombre de canaux, la fréquence autorisée pour chaque canal sera d'autant plus réduite.

L'implémentation pose un problème de synchronisation : les canaux devront être pilotés par une horloge commune ou utiliser des systèmes complexes de synchronisation. De plus, il faut prendre en compte la latence nécessaire à l'attribution des slots par le nœud central du réseau, prévoir des marges de sécurité, des dispositifs compensateurs pour éviter que les signaux ne se chevauchent, ce qui pénalise encore les performances globales [3]. A la réception, un photo-détecteur convertit le signal optique en signal électronique. Un dispositif électronique de démultiplexage synchronisé permet de restituer les données aux destinataires.

I.2.2.2 La technique OTDMA

Dans un système OTDMA, le multiplexage est réalisé de façon optique. Un exemple d'implémentation OTDMA est présenté sur la Figure (II.1) une source laser produit des impulsions très courtes. Le faisceau est divisé en K sous-faisceaux par un diviseur de puissance optique, envoyés sur K fibres équipées de lignes à retard. Le signal arrivant sur la fibre $i = 0$ n'est pas retardé, le retard $\Delta(i)$ appliqué sur chacune des fibres est $\Delta(i) = i \times \Delta t$,

Δt étant le retard apporté par une boucle de ligne à retard. Chaque sous faisceau est ensuite modulé par les données utilisateurs puis recombinaison dans un coupleur optique. Les slots utilisateurs ont une durée Δt , la période de la trame OTDMA est $K \times \Delta t$, avec K le nombre de sources modulantes [4].

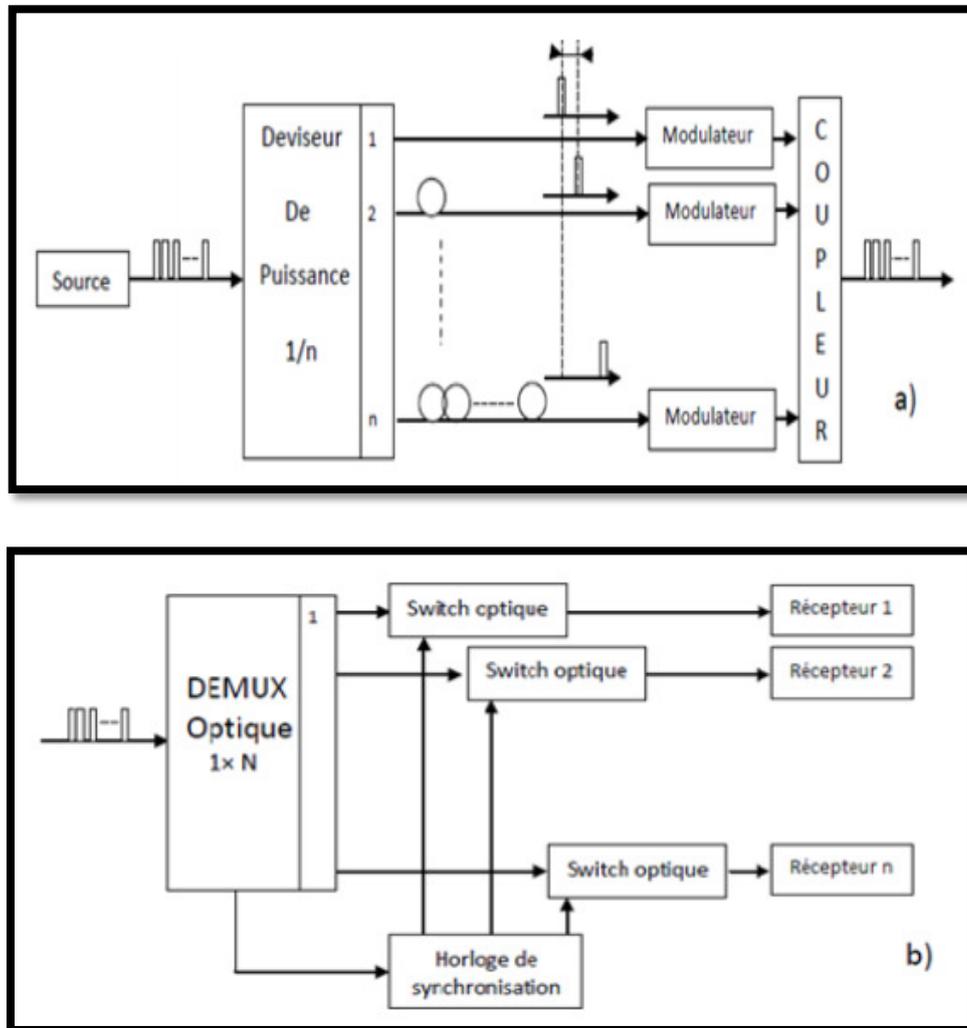


Figure II.2 : Canal OTDMA a) émetteur, b) récepteur

Pour récupérer en réception par démultiplexage temporel les informations d'un utilisateur, le système nécessite un signal de synchronisation du rythme des données émises T_b . La réalisation des composants optiques effectuant le multiplexage OTDMA n'est pas simple (elle augmente naturellement en complexité avec le nombre de canaux à traiter), ce qui a une incidence en terme de coût. Les performances d'un réseau OTDMA sont légèrement supérieures à celles de l'ETDMA, grâce à une moindre interférence inter-symboles et un bruit moins important. En pratique, les très hauts débits atteints par multiplexage temporel en optique (de l'ordre de 160 gigabits par seconde). Grâce à une implémentation hybride ETDMA/OTDMA : plusieurs signaux sont tout d'abord multiplexés de manière électrique

afin de former un premier canal (à la fréquence maximale permise par l'électronique), puis l'ensemble des canaux est envoyé à un multiplexeur optique à lignes à retards [4].

Dans le système OTDMA, la région temps-longueur d'onde disponible est divisée en intervalles de temps (time slots).

- Un seul utilisateur est autorisé à transmettre ou recevoir le slot.
- Les slots sont alloués cycliquement
- La transmission non-continue, alors la synchronisation est nécessaire.
- Les données et les modulations numériques doivent être utilisées
- Les intervalles de garde protègent les stations de base et les terminaux du délai de propagation.

I.2.2.3 Avantage

- Faible complexité de la terminale mobile: d'égalisation ou trama complexe et de synchronisation
- Transmission et synchronisation continue possible

I.2.2.4 Inconvénients

- coût des équipements fixes et élevés : plus des équipements au niveau de la station de base (un canal par porteuse).
- Nécessité d'un duplexeur : contre les interférences entre émetteur récepteur du mobile, ce qui entraîne des coûts supplémentaire.

II.3 Partie émission

Dans le système OTDMA, la partie émission est composée de divers éléments (source optique, modulateur, ...). Son rôle est de convertir les impulsions électriques en signaux optique afin de les délivrer au support de transmission.

II.3.1 Source optique

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques s'est porté sur les émetteurs à semi-conducteur à cause de leurs petites dimensions par rapport à celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité à module directement la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique [8]. Dans le système OTDMA, les diodes lasers sont couramment utilisées.

Les diodes lasers (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), sont basées sur la transmission stimulée, elles sont les mieux adaptées pour les télécommunications optiques car elles produisent une puissance optique beaucoup plus importante que les LEDs ainsi qu'elles permettent d'avoir une meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre [9].

II.3.2 Diviseur de puissance optique

Un diviseur de puissance est un dispositif passif à fibre optique très simple. Il est un composant de base dans une architecture de réseau sans filtre, car il permet de relier les sections de fibres entre elles, de façon simple, passive et très peu coûteuse. Tel qu'illustré à la figure 2.1, il est constitué de deux fibres fusionnées sur une certaine distance, ce qui permet un transfert d'énergie lumineuse d'une fibre à l'autre. Un diviseur de puissance optique, qui est utilisé pour diviser le signal au niveau d'une branche ou du côté de la réception, se voit attribuer le nom de diviseur. Par contre, lorsqu'un tel dispositif est utilisé pour combiner deux branches ou pour insérer un canal, on lui attribue le nom de combineur [11].

Le dispositif est bidirectionnel et peut donc être utilisé pour combiner et diviser le signal. Les pertes d'insertion typiques associées à un diviseur de puissance sont de 3.2 dB, puisque le facteur de couplage est de 50% et les pertes en excès sont de l'ordre de quelques dixièmes de dB. Ce facteur de couplage représente la fraction de puissance du signal qui passe du premier port d'entrée au deuxième port de sortie (perte de 3 dB). Une valeur de 0.2 dB a été ajoutée à la perte totale afin de travailler avec une perte plus réaliste pour ce genre de composant.

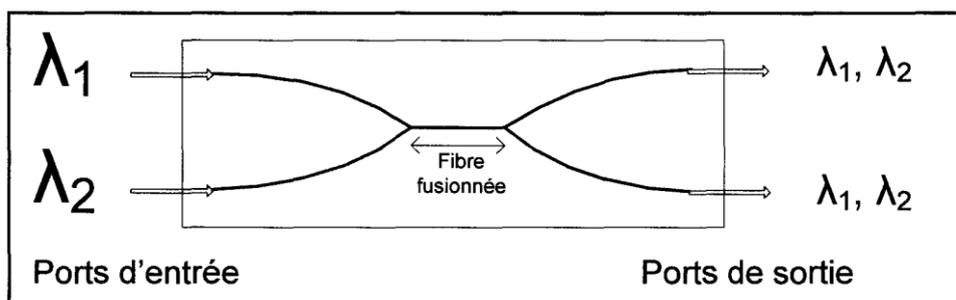


Figure II.3 : Diviseur de puissance optique.

II.3.3 Coupleur

En optique, un coupleur est un dispositif fibré reliant une ou plusieurs entrées à une ou plusieurs sorties. Il permet par exemple de mélanger deux signaux, de séparer un signal en deux ou bien faire les deux à la fois. La répartition de la puissance entre les différentes sorties dépend en général de la longueur d'onde et de la polarisation du signal d'entrée.

II.3.4 Modulation d'amplitude optique (AM)

La modulation d'amplitude s'applique en faisant varier l'amplitude du signal en fonction des bits à coder.

A noter que la modulation d'amplitude est la seule utilisable sur fibre optique, car les équipements utilisés actuellement ne sont pas en mesure d'appliquer une autre modulation sur les ondes lumineuses. Dans ce cas, la modulation s'effectue par tout ou rien. Par exemple :

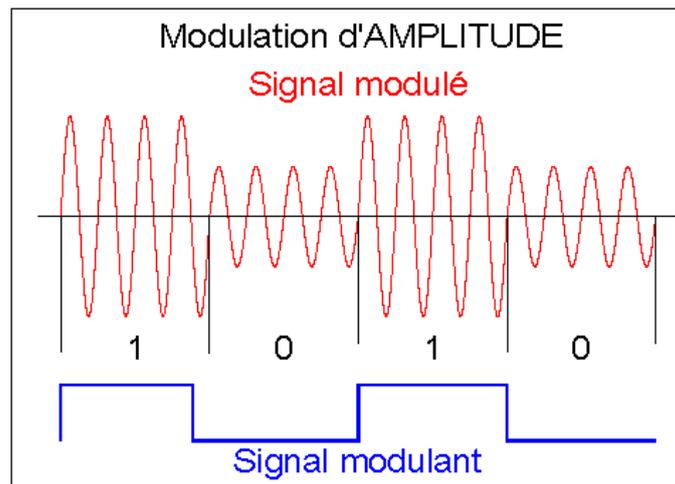


Figure II.4 : Modulation AM

Par contre, elle est peu employée sur d'autres supports, car elle provoque une détérioration du rapport signal sur bruit [12].

II.3.5 Décalage entre utilisateurs

Pour un système à N utilisateurs, les trains optiques en sortie des modulateurs sont décalés en temps et multiplexés en un train optique unique de débit $R=N \times D$ Bit/s envoyé dans la fibre optique.

Les retards de chacune des lignes sont calculés par la formule : $t_j = j \times \tau$, avec $j=0, 1, \dots, N-1$ et avec $\tau = \frac{T_b}{N}$ où T_b est le temps bit (voir figure exemple de $N=4$).

Par exemple pour un système de $N=4$ utilisateurs de débit 10 Mbit/s, on peut obtenir en sortie un multiplex temporel tel que le débit à l'entrée de la fibre est 40M bit/s. La source laser doit émettre au débit D, des impulsions ultracourte de largeur : $\tau = \frac{T_b}{N} = \frac{1}{4 \cdot 10^7} = 25$ ns

Donc :

$$t_0 = 0 \times \tau = 0 \text{ ns}$$

$$t_1 = 1 \times \tau = 25 \text{ ns}$$

$$t_2 = 2 \times \tau = 50 \text{ ns}$$

$$t_3 = 3 \times \tau = 75 \text{ ns}$$

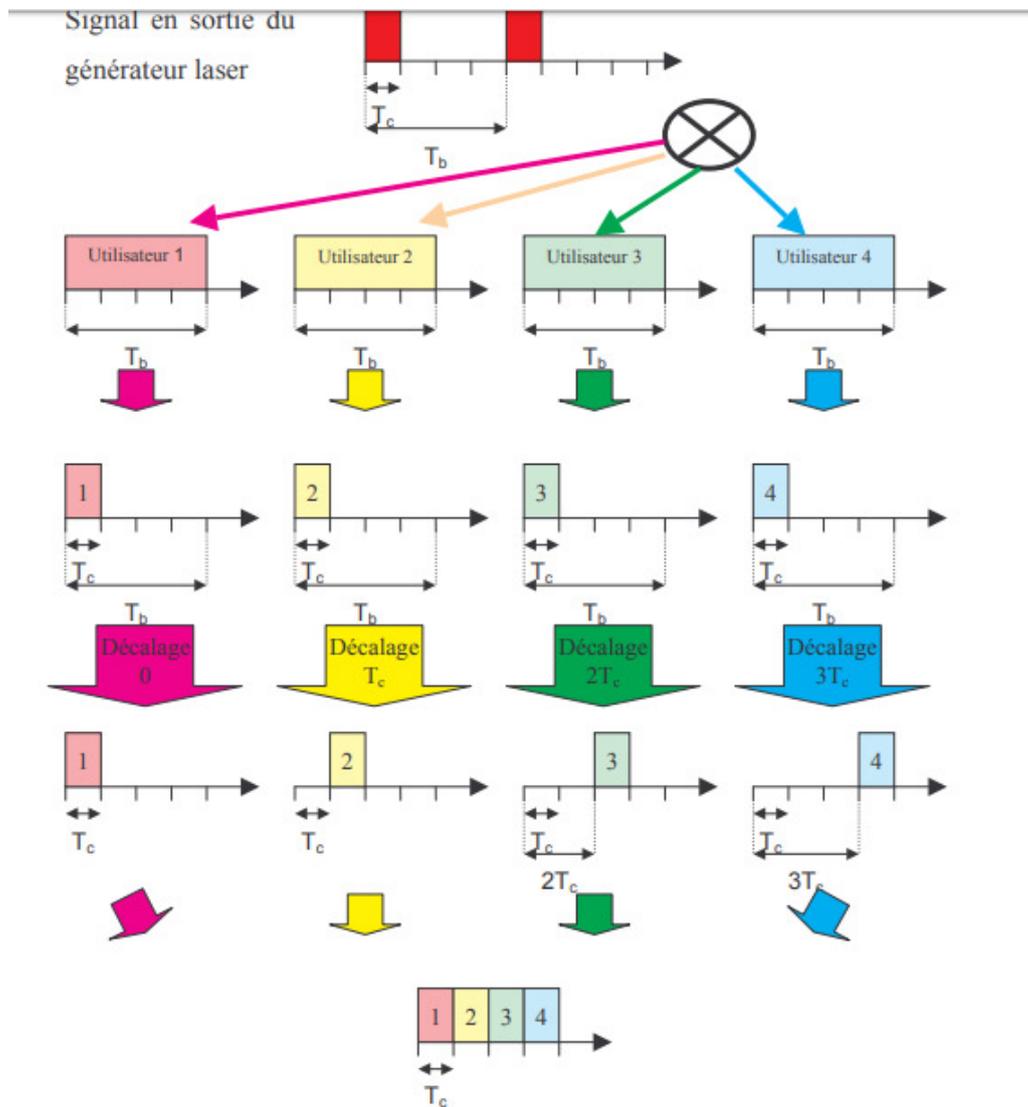


Figure II.5 : Délaiage entre 4 utilisateurs

II.4 Partie réception :

La partie réception est le dernier étage de système OTDMA, 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.

II.4.1 Différents types de photo-détecteurs

On peut distinguer deux grands types de photodiodes utilisées en OTDMA :

- Photodiode PIN

- Photodiode à avalanche APD

II.4.2 Synchronisation

La synchronisation d'horloges est un mécanisme permettant à deux systèmes distincts d'être synchronisés, c'est-à-dire d'avoir une différence entre leurs temps subjectifs la plus faible possible. Les formes de synchronisation sont [13]:

- Synchronisation de fréquences Ajuster les oscillateurs pour fonctionner à une fréquence donnée.
- Synchronisation de temps Mettre à jour les horloges à une même valeur.

La synchronisation d'horloges : Synchronisation de fréquences + synchronisation de temps.

Généralement, l'algorithme de synchronisation s'exécute avec une période V et dure S unités de temps. V et S ont des impacts directs sur les performances de l'algorithme [13].

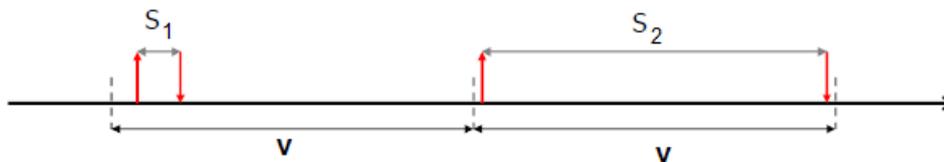


Figure II.6 : Fonctions de base de la synchronisation d'horloges

Arguments des fonctions

- Valeurs d'horloges synchronisées des sites (HS)
- Valeurs d'horloges physiques des sites (Hv)

II.5 Bruit en OTDMA :

Les bruits principalement observés dans les systèmes OTDMA sont :

- Bruit thermique
- Bruit de grenaille

II.5.1 Bruit thermique :

Ce bruit est dû à l'agitation thermique des porteurs de charges dans la jonction de la photodiode. Il suit une statistique gaussienne.

Ce bruit introduit une variance σ^2_{TH} sur la tension à la sortie du photo-détecteur :

$$\sigma^2_{TH} = 4B.T \Delta f/R G^2_{PD} \quad (II.1)$$

K_B : la constante de Boltzmann en [J.K⁻¹].

T : la température en [°K].

Δf : la bande passante du récepteur en [Hz].

R : la résistance de charge du système de photo détection en [Ω].

G_{PD} : C'est la densité spectrale de puissance (PSD) à la photodiode.

La puissance de ce bruit ne varie pas avec la tension moyenne V. Il est donc le bruit dominant à basse tension et donc à basse puissance optique [4].

II.5.2 Bruit de grenaille :

Ce bruit est dû au caractère aléatoire de la création de paires électron-trou dans la photodiode.

Il obéit à une statistique de Poisson. La variance σ^2_{SN} de ce bruit poissonnier est définie par :

$$\sigma^2_{SN} = e \times \Delta f \times V \times G^2_{PD} \quad (II.2)$$

e : représente la charge d'électron.

V : C'est la tension moyenne

La puissance de ce bruit est proportionnelle à la tension moyenne V et augmente donc de manière linéaire en fonction de la puissance optique reçue [2].

II.6 Calcul du BER

Afin de valider ou non une analyse, c'est le taux d'erreur sur les bits (BER) qui servira de seuil de décision. C'est un paramètre d'analyse de la performance privilégié puisqu'il permet de quantifier le nombre de bits erronés reçus par rapport au nombre de bits total reçus, pendant un certain intervalle de temps. L'objectif est donc d'obtenir le plus petit taux d'erreur possible et inférieur à un taux acceptable prédéfini.

Afin de calculer le BER au récepteur, il est nécessaire de connaître la distribution de probabilité des signaux logiques 1 et 0. Assumant une distribution gaussienne égale pour les deux types de signaux, la variance (σ) et la moyenne (m) des niveaux logiques 1 et 0 peuvent être définis, de même que la valeur seuil de voltage, au-delà de laquelle un niveau logique 1 est obtenu. De même, le facteur Q (et le taux d'erreur correspondant), qui est nécessaire pour le calcul de probabilité d'un bit erroné, peut être défini à l'aide de la relation décrite par les équations suivante :

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (II.3)$$

Comme le facteur Q est relié au rapport du signal sur le bruit nécessaire au récepteur pour atteindre un BER spécifique, c'est le paramètre le plus souvent utilisé pour décrire la performance d'une liaison.

$$BER = 0,5 \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) = \frac{e^{(-\frac{Q^2}{2})}}{Q\sqrt{2\pi}} \quad (\text{II.4})$$

III.6.1 Expression du BER

Les expressions des courants i_1, i_2 sont représentées par les équations suivantes [9] :

$$i_0 = i_{obs} \quad (\text{II.5})$$

$$i_1 = i_k + i_{obs} \quad (\text{II.6})$$

Où

i_{obs} : le courant d'obscurité de la photodiode et I_k le courant du $k^{\text{ième}}$ utilisateur à la réception. i_{obs} sera supposé très faible devant I_k ($i_{obs} \ll I_k$) [11] [19].

$$\langle I_{\text{tot}}^2 \rangle = \langle I_{\text{shot}}^2 \rangle + \langle I_{\text{thermal}}^2 \rangle \quad (\text{II.7})$$

$$\langle I_{\text{tot}}^2 \rangle = 2eBI + 4k_b T_n BR_L \quad (\text{II.8})$$

Où $\langle I_{\text{shot}}^2 \rangle$ est la variance du bruit de grenaille et $\langle I_{\text{thermal}}^2 \rangle$ celle du bruit thermique [11]. Le SNR pour une détection directe est défini comme étant [11], [19]:

$$\Rightarrow SNR = \frac{I_k^2}{\langle I_{\text{tot}}^2 \rangle} \quad (\text{II.9})$$

Le BER est donné par la relation (III.6), on utilisant l'approximation Gaussien :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{I_k^2}{(2\sqrt{2})^2 \langle I_{\text{tot}}^2 \rangle}}\right) \quad (\text{II.10})$$

En remplaçant (II.9) dans (II.10) on obtient :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{\frac{SNR}{8}} \quad (\text{II.11})$$

La densité spectrale de puissance (DSP) des signaux optiques reçus peut être écrite comme suit :

$$r(v) = P_{sr} \cdot d_k \quad (\text{II.12})$$

Où P_{sr} est la puissance effective d'une source à large bande au récepteur, N est les utilisateurs actifs, d_k est le bit de données du $k^{\text{ième}}$ utilisateur qui est "1" ou "0".

La densité spectrale de puissance (DSP) au photo-détecteur du $k^{\text{ième}}$ récepteur pendant une période de bit peut s'écrire comme suit:

$$\int_0^{+\infty} G_1(v) dv = \int_0^{+\infty} P_{sr} \cdot d_k = P_{sr}/N \quad (\text{II.13})$$

Après les processus d'intégration, le photo-courant peut être exprimé comme suit :

$$I_k = \mathfrak{R} \cdot P_{sr} \cdot N \quad (\text{II.14})$$

Avec : $\mathfrak{R} = \frac{\eta \cdot e}{h \cdot \nu_0}$

Ici \mathfrak{R} est le rendement de la photodiode η est l'efficacité quantique, e est la charge d'électrons, h est la constante de Planck ($6,626068 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg / s}$) et ν_0 est la fréquence centrale de l'impulsion optique à large bande d'origine, la puissance des sources de bruit qui existent dans le photo-courant [11] peut s'écrire comme suit :

$$\langle I_{\text{tot}}^2 \rangle = \langle I_{\text{shot}}^2 \rangle + \langle I_{\text{thermal}}^2 \rangle \quad (\text{II.15})$$

$$\langle I_{\text{tot}}^2 \rangle = 2 \cdot e \cdot B \cdot I_k + \frac{4k_b T_n B}{R_L} \quad (\text{II.16})$$

Les équations (II.10) et (II.16), nous pouvons obtenir la moyenne de SNR comme dans les équations (III.17)

Alors $\text{SNR} = \frac{I_k}{\langle I_{\text{tot}}^2 \rangle}$

$$\text{SNR} = \frac{\left(\frac{R P_{sr}}{N}\right)^2}{\frac{2eBR P_{sr} \cdot N}{N} + \frac{4k_b T_n B}{R_L}} \quad (\text{II.17})$$

Où P_{sr} est la puissance effective d'une source large bande au récepteur, e est la charge électronique, B est la bande passante équivalente électrique du récepteur en [Hz], k_b est la constante de Boltzmann, T_n la température absolue du récepteur, R_L est la résistance de charge du récepteur, ΔV est la largeur de bande de la source optique N est le nombre d'utilisateurs. Le taux d'erreur binaire (BER) est calculé à partir du SNR en utilisant l'approximation gaussienne [4].

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{R^2 P_{sr}^2 N^2}{8 \cdot (2eBR P_{sr} \cdot N + \frac{4k_b T_n B}{R_L})}} \quad (\text{II.18})$$

Les paramètres utilisés dans notre calcul numérique sont listés dans le tableau II.1 [11] :

η	Rendement quantique	0.6
ν_0	La fréquence centrale	194 THz (1550 nm)
h	Constante de Plank	$6.62 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg / s}$
P_{sr}	Puissance d'émission	-10 dBm (10^{-4} W)
B	Bande passante électrique à la réception	311 Mhz
T_n	Température de bruit au niveau du récepteur	300 K
e	La charge d'électron	$1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
K_b	Constante de Boltzmann	$1.3806503 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$
R_l	Résistance de charge	1030 Ω

Tableau II.1 Paramètres utilisés dans le calcul numérique

La figure II.4 illustre le BER en fonction du nombre d'utilisateurs.

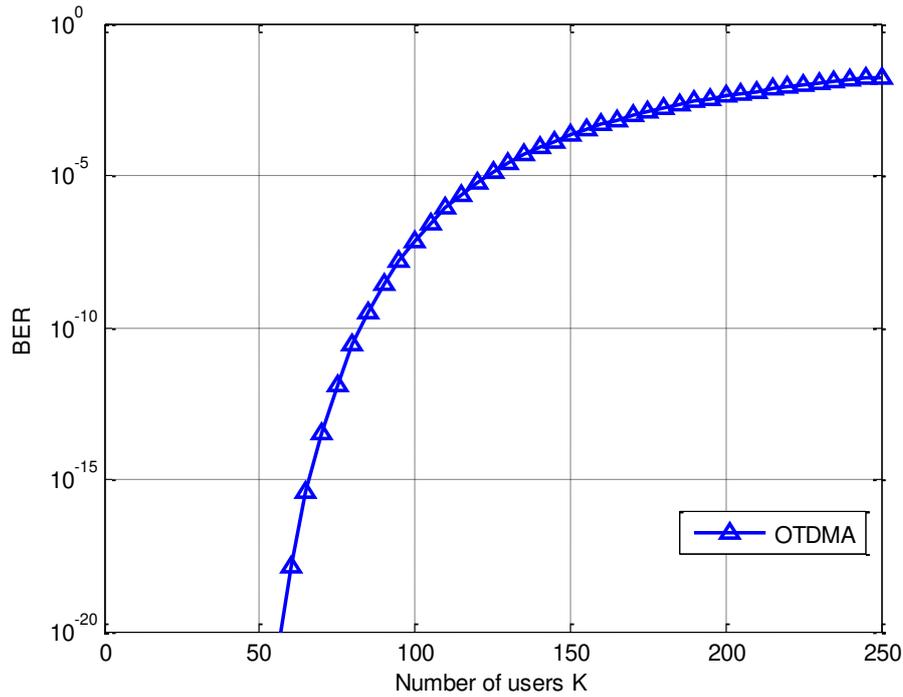


Figure II.7 : BER en fonction du nombre d'utilisateurs

En termes de BER, la figure III.4 montre que les performances du système OTDMA est acceptable 10^{-9} , est obtenu pour 100 utilisateurs actifs.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre on a étudié quelque différentes blocs du système OTDMA, puis on a abordé les avantages et les inconvénients du système, l'évaluation des performances du système OTDMA par apport au nombre d'utilisateurs en termes de rapport signal à bruit et du taux d'erreur binaire a été effectuée. Il est à noter que l'expression analytique du SNR a été établie en se basant sur des approches précises.

Chapitre III : Implémentation et évaluation des performances d'un système OTDMA

Chapitre III : Implémentation et évaluation des performances d'un système OTDMA

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, le logiciel Optisystem 7.0 (voir Annexe A) est utilisé d'abord pour l'implémentation de la chaîne de transmission complète, en utilisant sa bibliothèque de composants, et ensuite pour la simulation, trois critères de qualité sont pris en compte pour évaluer les performances du système OTDMA ; le taux d'erreur binaire (BER : Bit Error Rate), le facteur Q et le diagramme de l'œil.

III.2 Structures étudiées

Le schéma blocs d'une configuration radio sur fibre (monodirectionnel) sous le logiciel OptiSystem 7.0 est représenté par la Figure III.1.

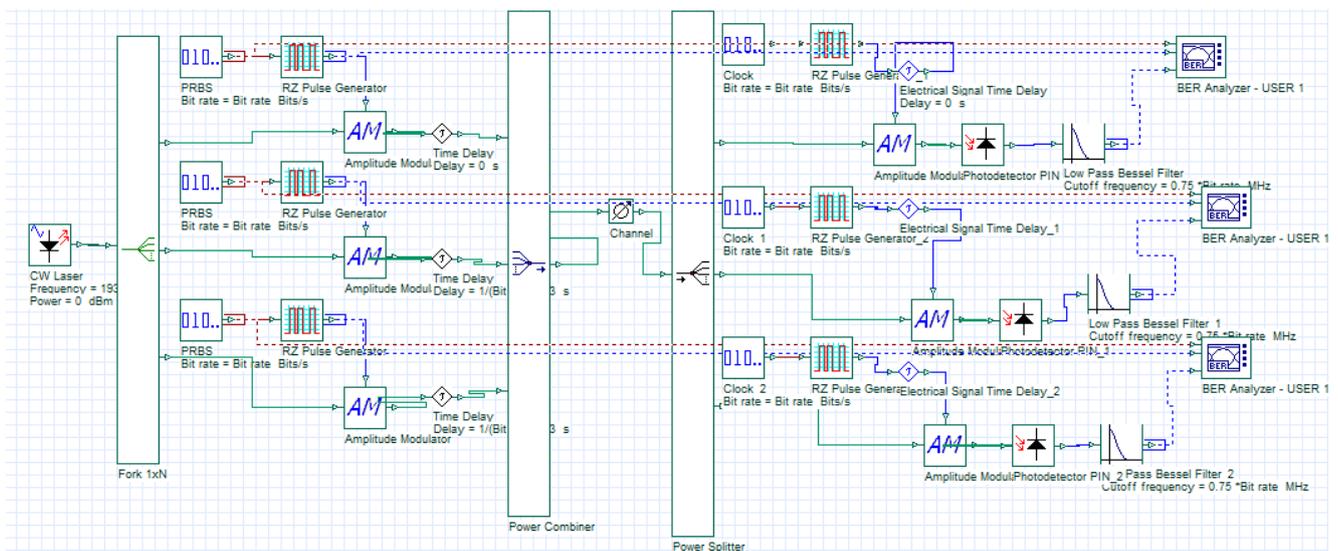


Figure III.1 : Schéma blocs d'une liaison radio sur fibre sous Optisystem 7.0.

III.2.1 Répartition des longueurs d'onde

Pour l'implémentation le système OTDMA, présenté dans le chapitre II, le spectre disponible (de la longueur d'onde $\lambda = 1552$ nm) est décalé deux fois pour 3 utilisateurs actifs. Ceci est illustré sur la Figure III.2.

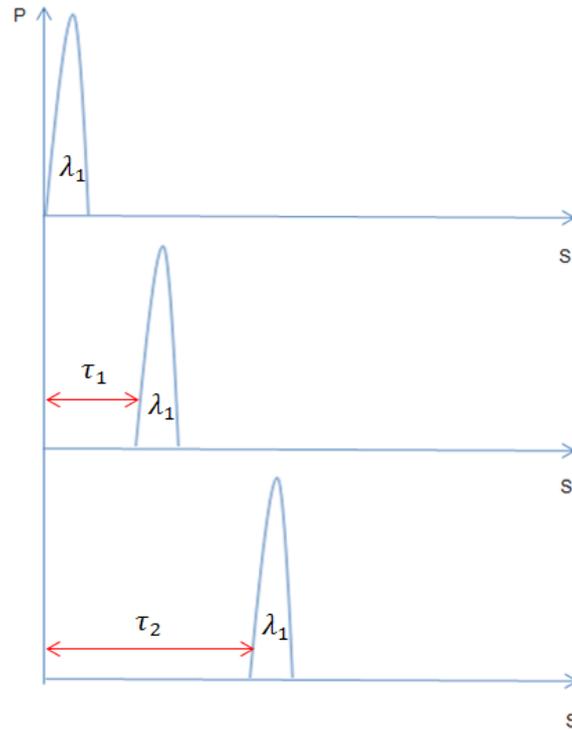


Figure III.2 : Décalage de la longueur d'onde

Pour un débit de 80 Gbits/s, la largeur de l'impulsion, le temps bit, sera $T_b = \frac{1}{80 \times 10^9} = 12.5 \text{ ps}$. C'est cette impulsion lumineuse qui sera modulée à la donnée de l'utilisateur (à 80Gbits/s) comme l'indique la figure III.3.

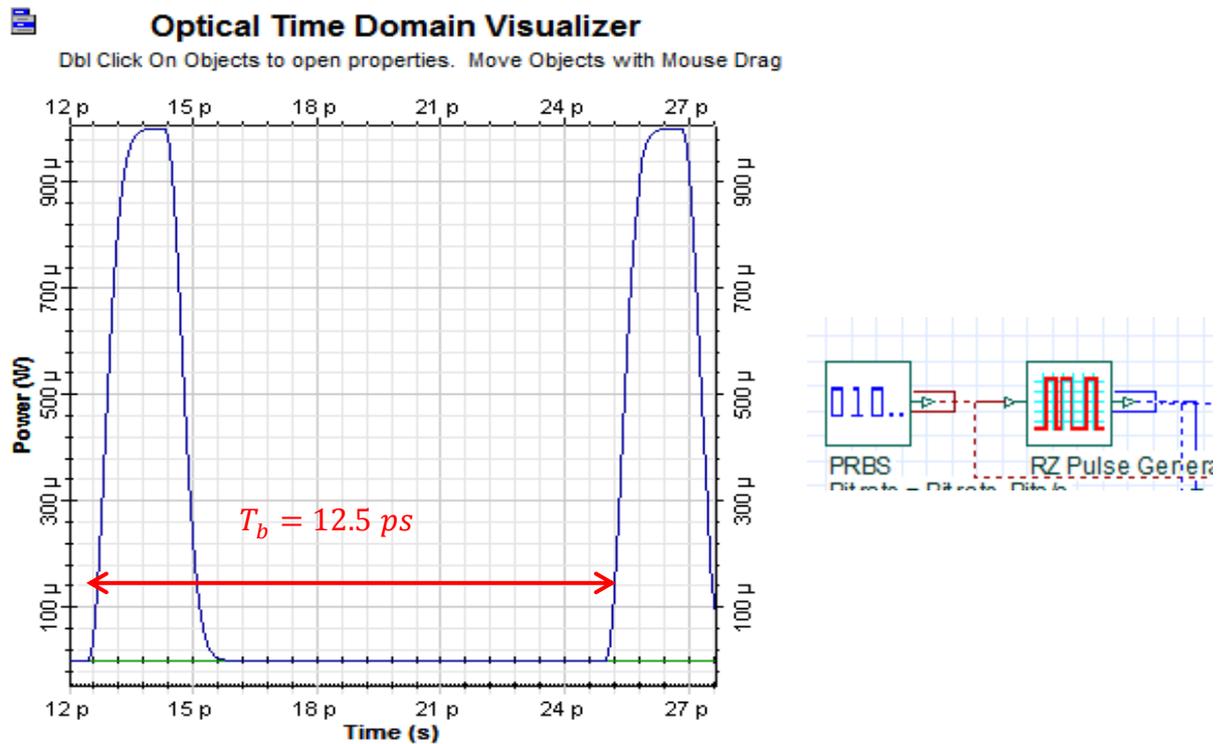


Figure III.3 : Signal de données du premier utilisateur

Le générateur PRBS permet le réglage de la donnée de chaque utilisateur, les paramètres suivants sont pris en compte :

- Le débit binaire de la donnée (data bit rate) a été pris égal à 80 Gbits/s ;
- Les données de chaque utilisateur sont générées de façon aléatoire et équiprobable entre les '0' et les '1' ($P_0 = P_1 = 0.5$ où 'P0' et 'P1' désignent respectivement les probabilités a priori des bits '0' et '1').

III.2.2 Source optique

Une diode laser (CW laser) est utilisée afin de générer la longueur d'onde nécessaire à la transmission simultanée des 3 utilisateurs.

Chaque donnée est ensuite modulée, par le modulateur AM, avec la même longueur d'onde d'onde générée par la source optique (voir figure III.4).

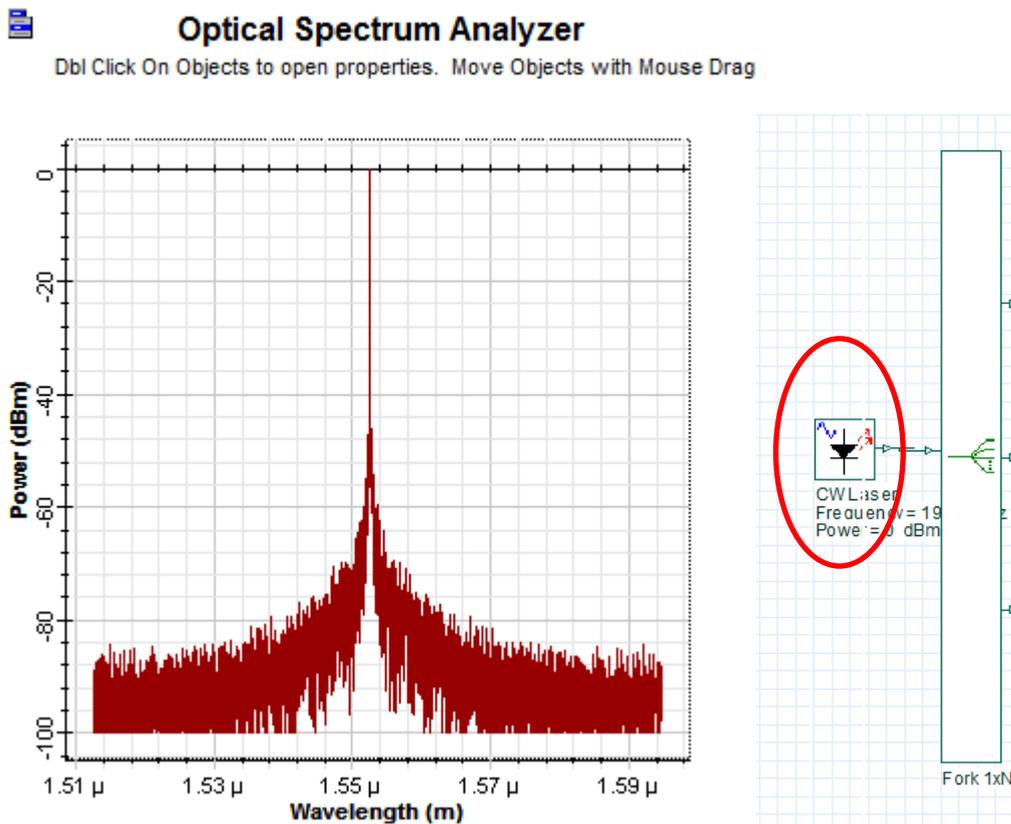


Figure III.4 : Signal de sortie de la source optique

Le signal résultant à la sortie de chaque modulateur sera ensuite retardé par des lignes à retards optiques, toutes les signatures spectrales sont ensuite rassemblées et transmises à travers la fibre optique.

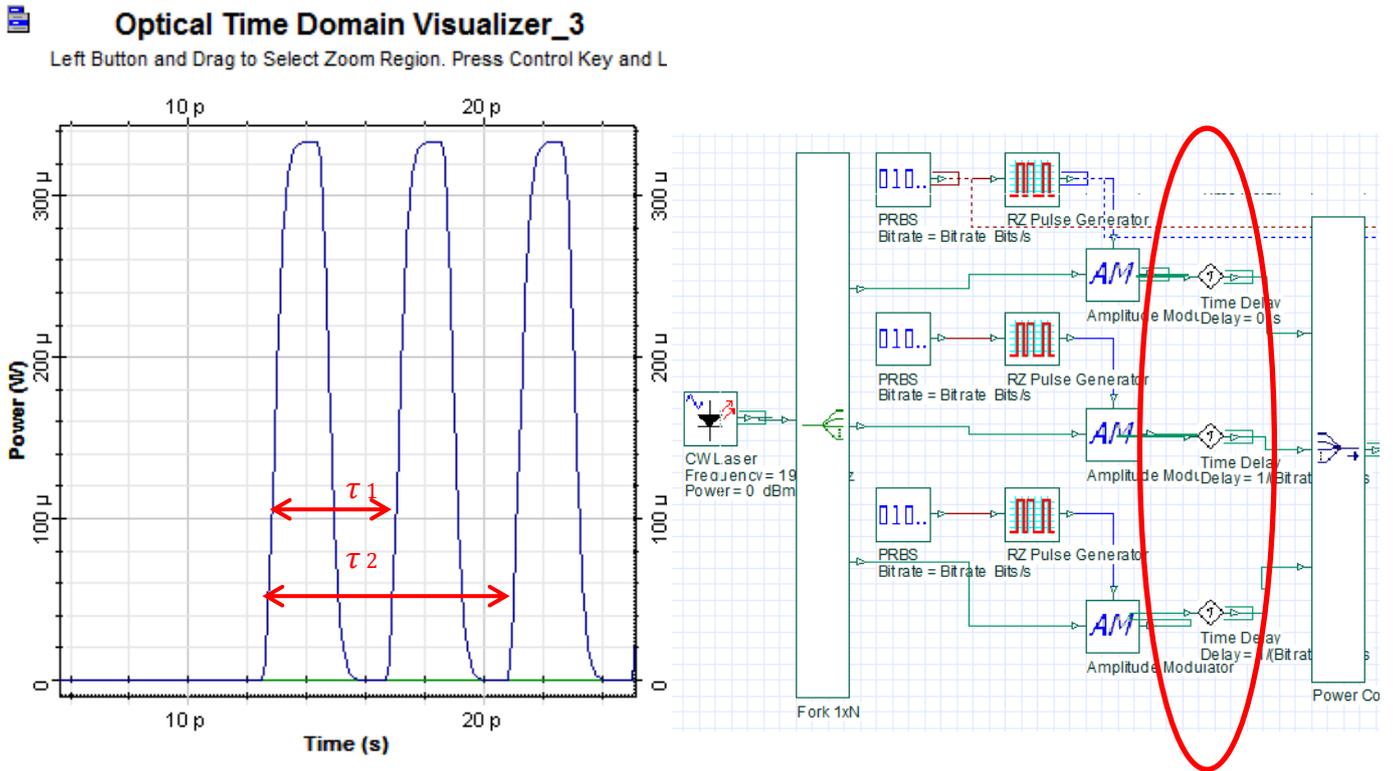


Figure III.5 : Répartition des longueurs d'ondes

Pour un système de $N=3$ utilisateurs de débit 80 Mbit/s, des impulsions ultracourte de largeur : $\tau = \frac{T_b}{N} = \frac{1}{3 \times 80 \times 10^9} \cong 4,16$ ps.

Donc :

$$\tau_0 = 0 \times \tau = 0 \text{ ps}$$

$$\tau_1 = 1 \times \tau = 4,166 \text{ ps}$$

$$\tau_2 = 2 \times \tau = 8,332 \text{ ps}$$

A la réception, une horloge de synchronisation, fournit à l'entrée d'un démultiplexeur AM un signal composite (contenant toutes les longueurs d'ondes des différents utilisateurs).

Ces dernières sont ensuite retardées une seconde fois par des lignes à retards optiques afin de se retrouver à la même position sur le temps bit (voir figure III.6).

Label: Clock Cost\$: 0.00

Main Simulation Random numbers

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Bit rate	80000000000	Bits/s	Normal
<input type="checkbox"/>	Operation mode	Ones		Normal
<input type="checkbox"/>	Order	$\log(\text{Sequence length})/\log(5)$		Script
<input type="checkbox"/>	Mark probability	0.5		Normal
<input type="checkbox"/>	Number of leading zeros	0		Normal
<input type="checkbox"/>	Number of trailing zeros	0		Normal

Figure III.6 : Horloge de synchronisation

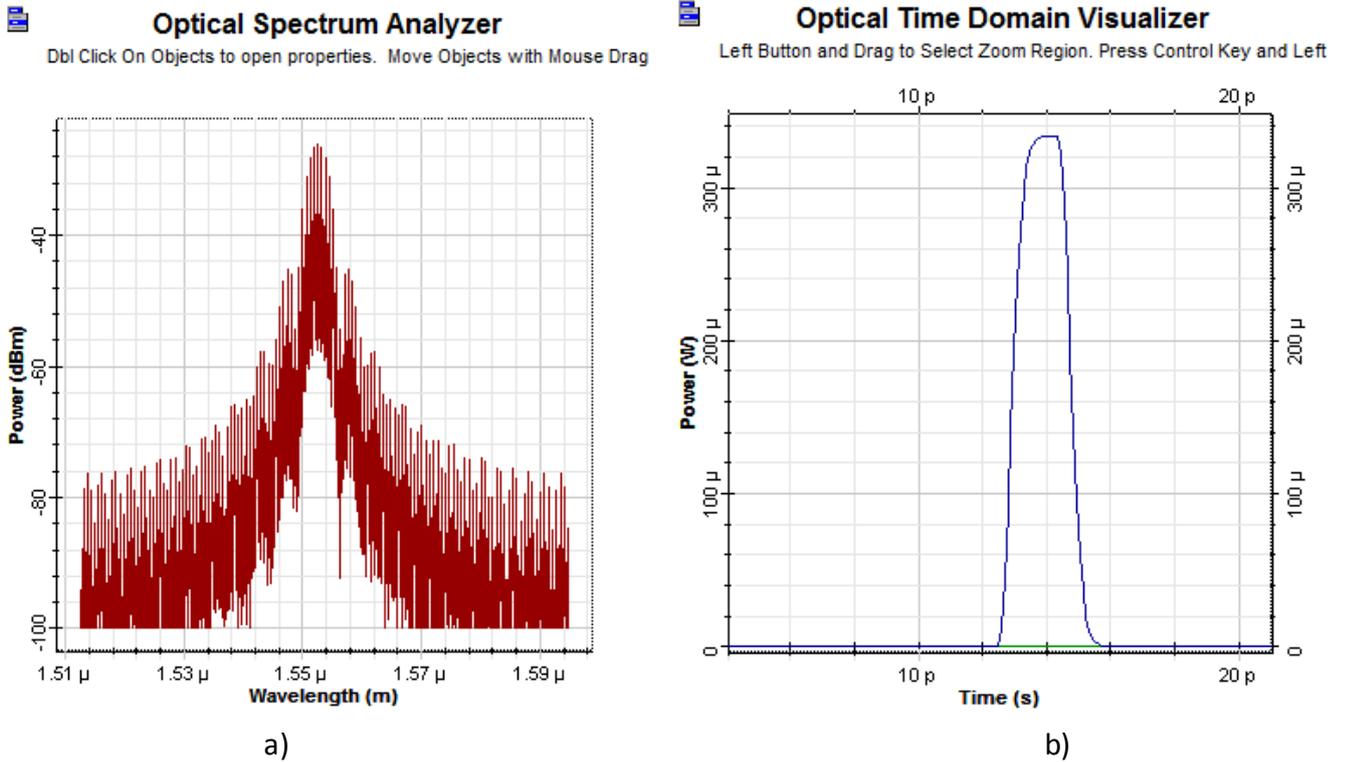


Figure III.7 : La sortie du modulateur : a) Spectrale b) Temporelle

Ensuite le récepteur de chaque utilisateur est composé de photo-détecteur qui est utilisé pour détecter la longueur d'onde qui lui est associées.

III.2.3 Photo détecteur et filtre de mise en forme

À la réception, une photo diode est utilisée pour détecter la longueur d'onde qui lui est associées. La puissance reçue est ensuite convertie en un signal électrique (voir figure III.8).

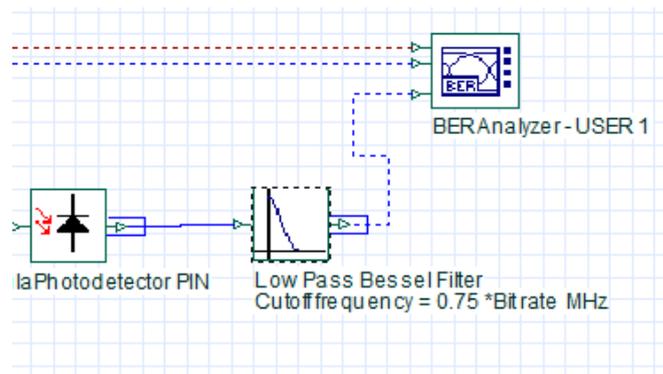


Figure III.8 : Récepteur après démodulation

Un filtre de Bessel passe bas fait office de filtre de mise en forme afin de donner au signal une forme qui facilitera l'opération de décision. Sa fréquence de coupure est $f_c = 0.75 \times D \Rightarrow f_c = 0.75 \times 80 \times 10^9 = 60 \text{ GHz}$. Le signal à la sortie de ses filtres est illustré dans la figure III.9.

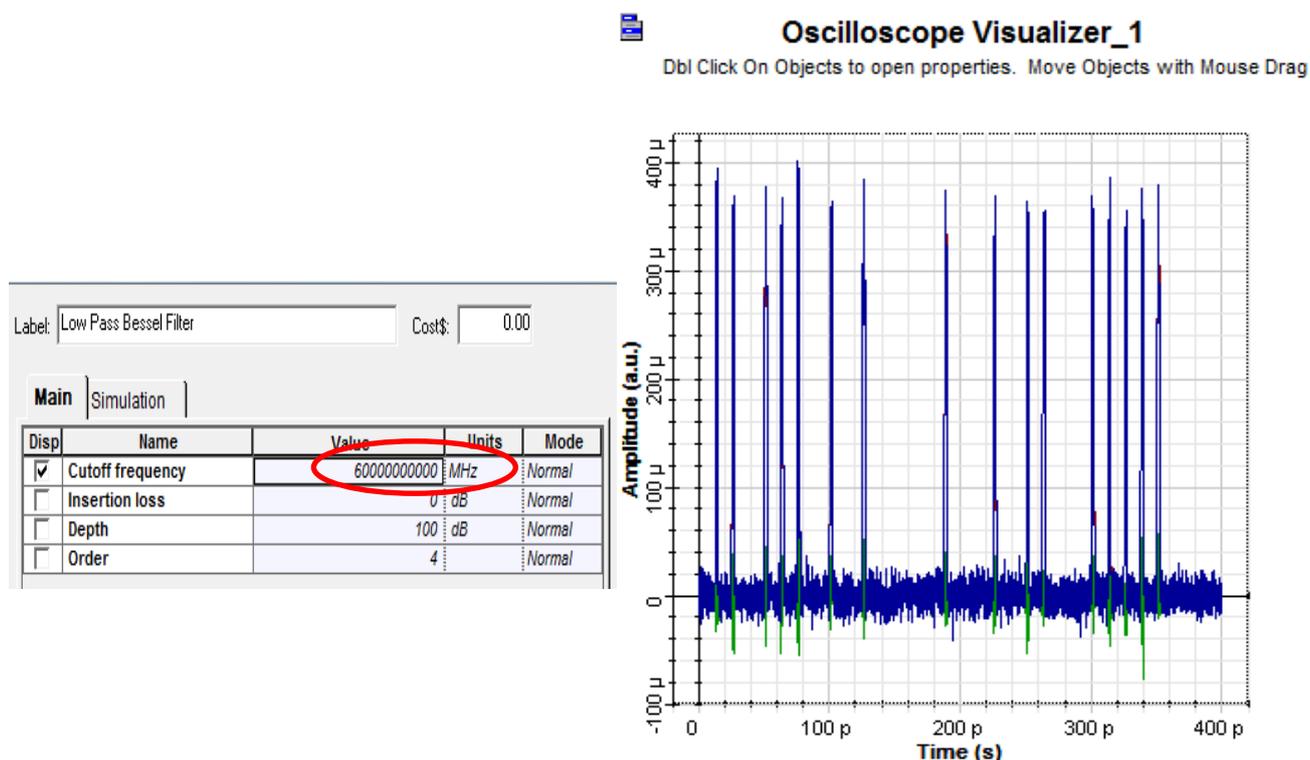


Figure III.9 : Signal à la sortie du filtre de Bessel

C'est à ce niveau que s'achève le traitement en tout optique, la photodiode convertit le signal reçu en signal électrique en y ajoutant un bruit thermique de 1.8×10^{-23} W/Hz. Le rendement des photodiodes est défini par la relation donnée dans le deuxième chapitre:

$$\mathfrak{R} = \eta \cdot e / h \cdot \nu_0$$

Dans le cas présent le rendement est donc $\mathfrak{R}=0.75$.

III.3 Résultats et Discussions

III.3.1 Analyseur BER

Le bloc 'BER analyser' calcule le seuil de décision. ainsi ce bloc nous permet de visualiser certaines courbes qui permettent d'évaluer le système tel que celle du BER, du facteur Q ainsi que le digramme de l'œil (Voir la figure III.10).

Analysis	
Max. Q Factor	11.9849
Min. BER	1.95128e-033
Eye Height	0.000252505
Threshold	8.68296e-005
Decision Inst.	0.132813

Figure III.10 : Le BER et le seuil de décision respectivement

Chaque bit contient 64 échantillons, chacun de ces échantillons aura une amplitude différente au cours du temps bit. La Figure III.11 représente le signal électrique reçu.

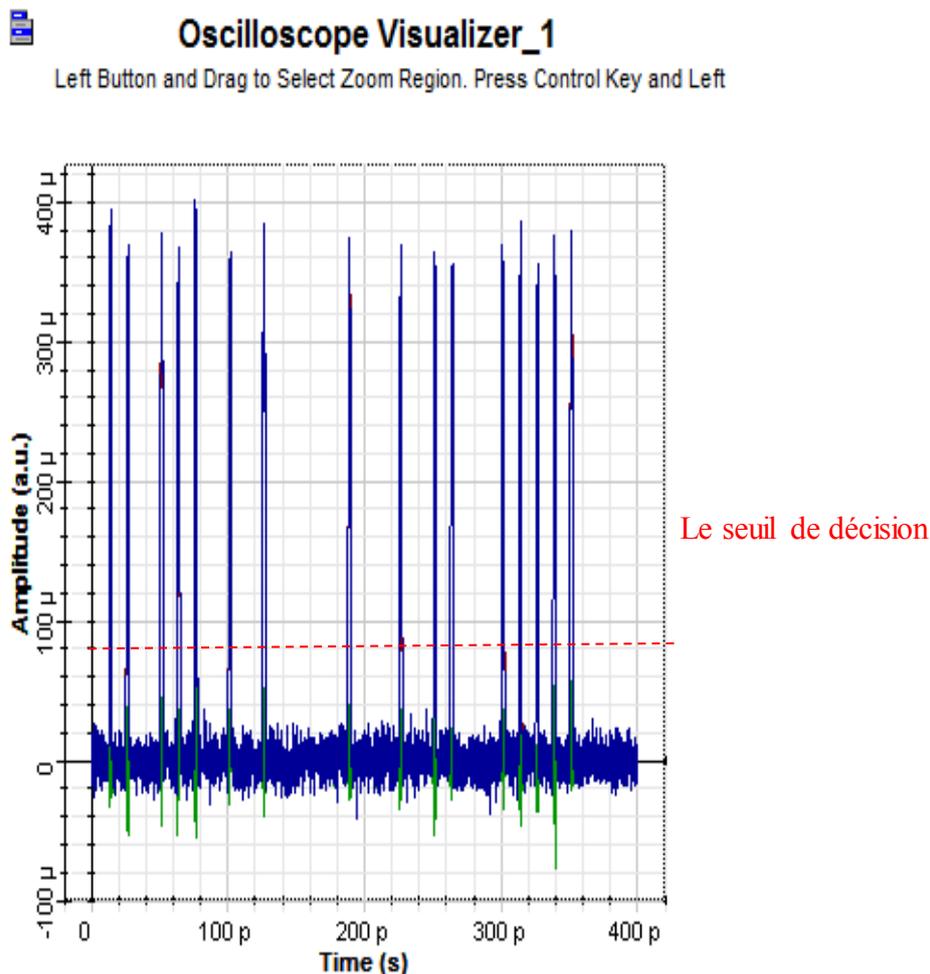


Figure III.11 : Le signal électrique après filtrage de mis en forme.

Le calcul de seuil de décision est réalisé par la relation : $\frac{i_1 - i_0}{2}$

Où i_1 et i_0 sont les courants associés respectivement aux bits 1 et 0. Ils ont des valeurs variables en fonction du temps dû au canal de transmission. Il est à préciser que chaque bit contient 64 échantillons, chacun de ces échantillons aura une amplitude différente au cours du temps bit. La figure III.12, représente le seuil de décision calculé sur le signal électrique reçu.

La Figure III.12 illustre la variation du BER (log BER) durant le temps bit, le BER choisit d'après la Figure III.10 est le minimum.

Le min BER = 10^{-33} , $\log(\text{min BER}) \approx 1,95128 \times 10^{-33}$. Cette valeur est inférieure à 10^{-9} acceptée pour la transmission optique.

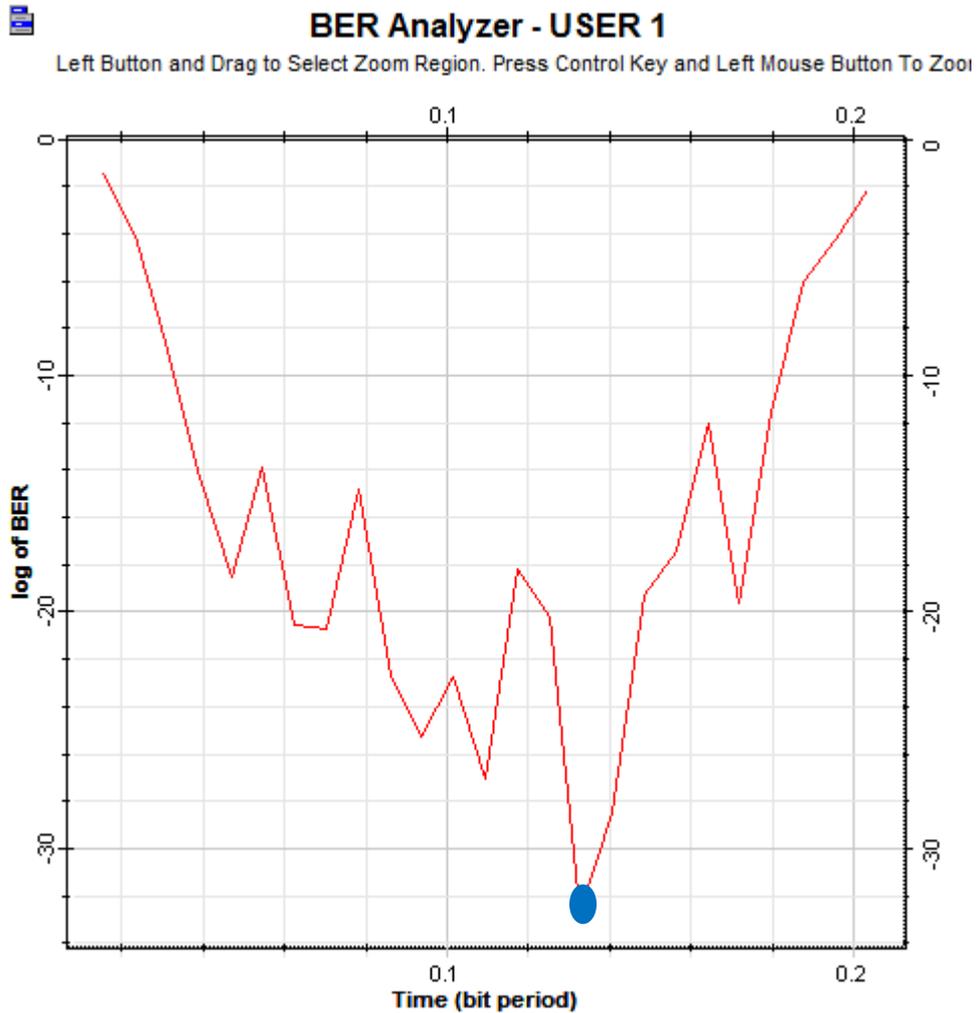


Figure III.12 : Évolution du seuil de décision durant le temps bit.

La valeur du seuil de décision peut donc être représentée en fonction du temps bit comme le montre la figure III.13. Le seuil optimal de décision pour l'utilisateur se situe toujours à une valeur proche du milieu entre i_1 et i_0 . Cela est due au fait que la séquence binaire émise suit un codage NRZ. La valeur correspondante à ce seuil de décision sur l'axe du temps bit représente l'instant de décision.

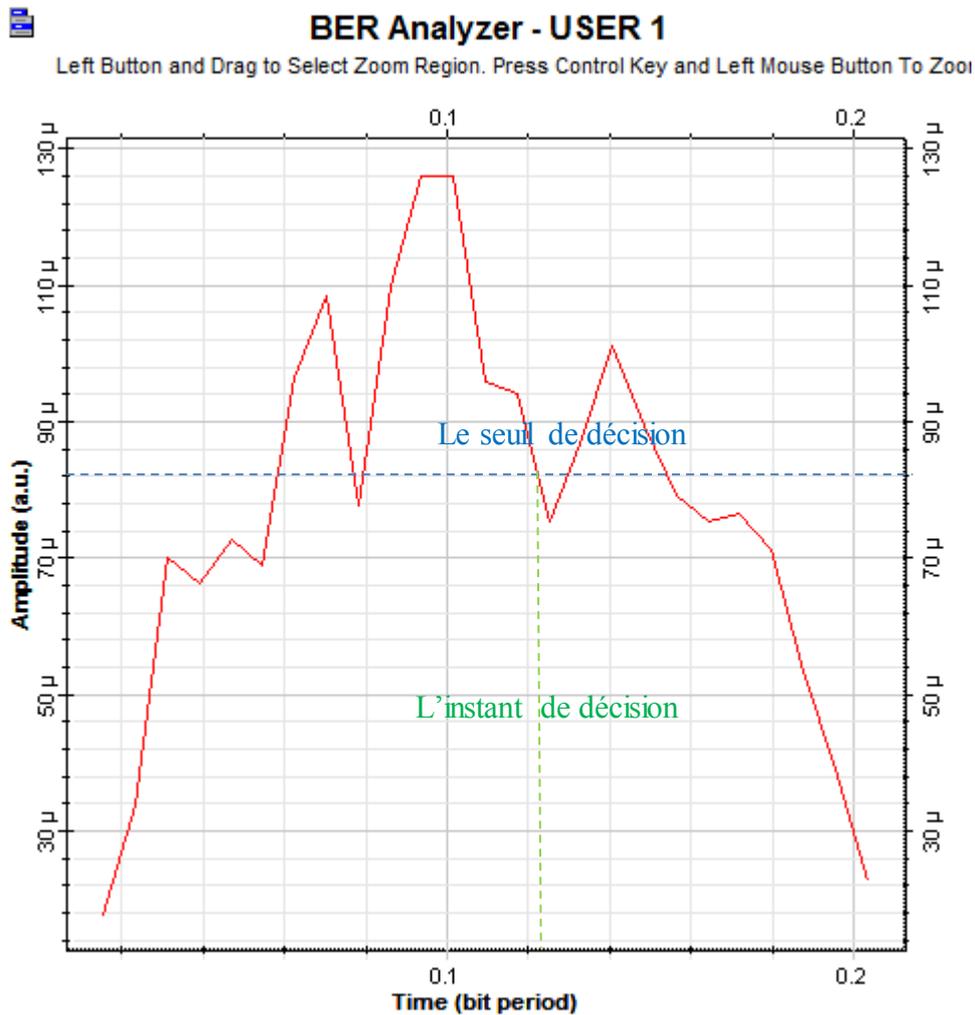


Figure III.13 : Seuil de décision en fonction du temps bit

III.3.2 Le facteur de qualité et le diagramme de l'œil

C'est la valeur minimale du SNR pour obtenir un certain BER. Il est défini par la relation

$$Q = \frac{i_1 - i_0}{\sigma^2}$$

Sachant σ^2 étant la variance du bruit. La figure III.14 représente la courbe du facteur Q en fonction du temps bit.

L'ouverture verticale du diagramme l'œil indique une bonne résistivité du système étudié au bruit et l'ouverture horizontale indique la sensibilité à un décalage de l'instant d'échantillonnage.

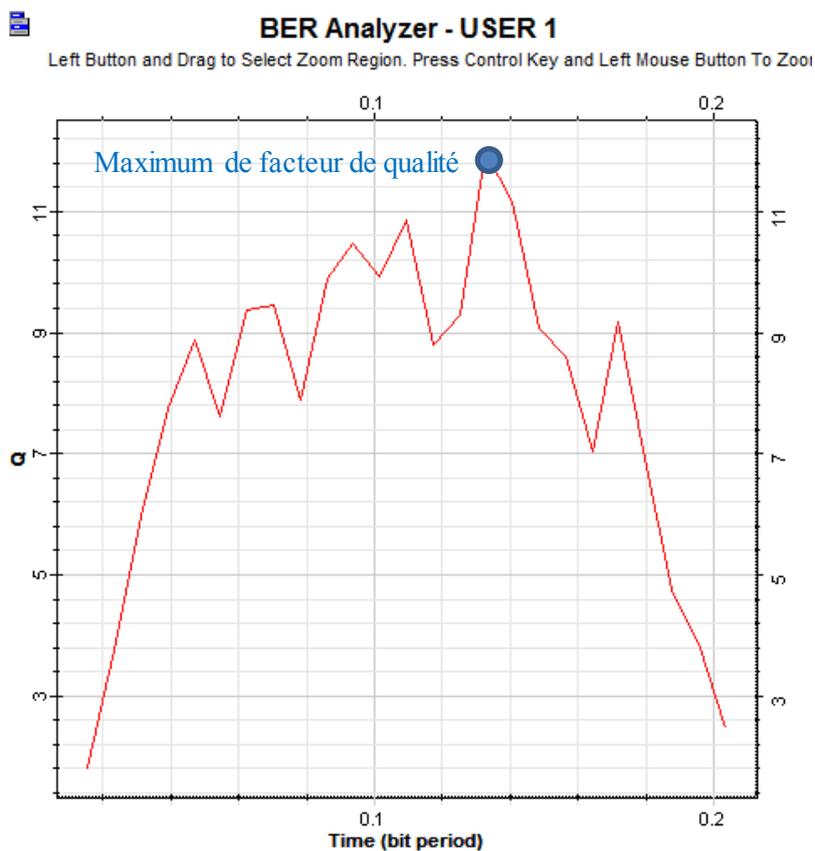


Figure III.14 : Facteur Q en fonction du temps bit

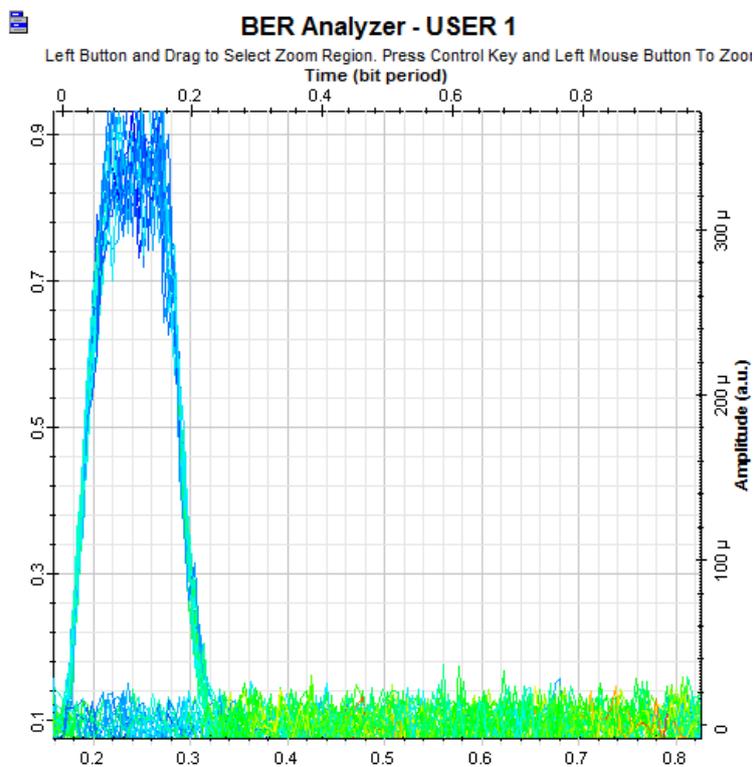


Figure III.15 : Diagramme de l'œil du premier utilisateur

Chapitre III : Implémentation et évaluation des performances d'un système OTDMA

On remarque que pour le premier utilisateur le diagramme de l'œil est donné pour un temps de $\frac{T_b}{3}$, et pour la même chausse pour les deux autres utilisateurs mais avec un décalage de τ_j (voir partie réception).

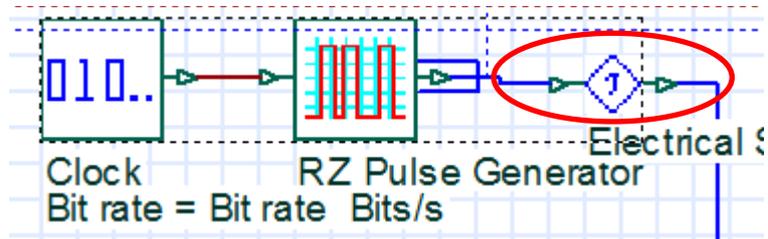


Figure III.16 : Blocs d'horloge de synchronisation et de retard à la réception

Analysis	
Max. Q Factor	13.6547
Min. BER	9.46587e-043
Eye Height	0.000265191
Threshold	0.000161177
Decision Inst.	0.117188

Analysis	
Max. Q Factor	15.1885
Min. BER	2.06875e-052
Eye Height	0.000277428
Threshold	0.000129663
Decision Inst.	0.125

Figure III.17 : Le BER du deuxième et du troisième utilisateur

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, la simulation d'une chaîne OTDMA a été réalisée avec logiciel OptiSystem 7.0 pour 3 utilisateurs actifs où on a utilisé un débit binaire de 80 Gbits/s.

En premier lieu nous avons calculé analytiquement les paramètres de simulation, et par la suite les signaux à la sortie de chaque blocs de la chaîne de transmission ont été visualisés, puis la qualité de transmission a été mesuré par les trois critères de qualité : le BRE, le facteur de qualité Q et le diagramme de l'œil, prouvant ainsi le bon fonctionnement de la chaîne avec un taux d'erreur binaire largement inférieure à la norme acceptable 10^{-9} .

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre travail c'est de connaître et de préciser la transmission de la fibre optique, alors ce travail s'inscrit dans le cadre des réseaux optiques où la bande passante de la fibre est partagée entre plusieurs usagers. Ce type de réseau conduit à s'intéresser aux techniques d'accès multiple déjà bien connues en communication radiofréquences pour le partage des ressources. TDMA en optique est considéré aujourd'hui comme une solution attractive.

Nos études sont basées sur les systèmes OTDMA toutes et/ou partiellement optiques.

Dans le premier chapitre, nous nous sommes intéressés principalement aux différentes notions de multiplexage et de techniques d'accès multiples utilisées dans les systèmes de communications optiques, ainsi les techniques OTDMA.

Dans le second chapitre, nous avons basées sur le principe du Système OTDMA, les différentes techniques de détections ainsi que les bruits engendrés par le système.

Dans le dernier chapitre, la simulation d'une chaîne OTDMA avec trois utilisateurs actifs où on a utilisé le décalage d'une longueur d'onde sous logiciel Optisystem 7.0 avec un débit binaire de 80 Gbits/s.

Le travail est achevé par une optimisation du nombre d'usagers dans un système OTDMA en préservant une bonne qualité de communication, qui résiste aux différentes perturbations causées par les interférences d'accès multiples.

Bibliographies

- [1] RAHIL Kamili, T. Thinhinane, « Analyse des performances des codes SAC-OCDMA dans la liaison de télécommunications optiques », Memoire En Vue De L'obtention Du Diplome De Master, Universite A.Mira-Bejaia, juin 2019.
- [2] Mikaël MORELLE, « Codage en 2 Dimensions pour les systèmes de communications Optiques CDMA(OCDMA) – Application aux transmissions multimédia – », Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LIMOGES, septembre 2008
- [3] Julien Penon « Réduction du bruit d'intensité dans les systèmes SAC_OCDMA incohérents utilisant des réseaux de Bragg », Thèse de Doctorat, Université Laval Québec.
- [4] Garadi Ahmed, « Contribution à l'étude des codes optiques ZCC: Application au système SAC-OCDMA », Thèse de Doctorat, Université Djilali Liabès de Sidi-Bel-Abbes, 2015.
- [5] M.S. Anouar, S.A Aljunid, N.M Saad, Mohammed, E.I, Babekir, Development of a zero cross correlation code for spectrale-amplitude coding optical code division multiple acess (OCDMA), Int. J. Comput. Sci. Network Security 6 (12(December)) (2006).
- [6] Mikael morelle, « Codage en 2 Dimensions pour les systèmes de communications Optiques CDMA(OCDMA) – Application aux transmissions multimédia – » Université de LIMOGES, 2008.
- [7] Stéphanie Casta, “ Codage de canal pour les communications optiques ”, thèse de doctorat, l'université de Limoges, 2009.
- [8] Djebbari. A, A. Garadi, Dayoub i, Taleb-ahmed, "A new code construction with zero cross correlation based on BIBD", Optik, International Journal for Light and Electron Optics, vol. 124, pp. 34193421, 2013.
- [9] X.Liu, et al, "Tolerance in-band coherent crosstalk of differential phase-shift-keyed signal with balanced detection and FEC". IEEE Photonics Tech. Letters, 16 (4), 1209–1211, (2014).
- [10] H. Ghafouri-Shiraz, M. Karbassian, “Optical CDMA Networks Principles, Analysis And ApplicationS” ,book, 2012
- [12] M. Edries, I. F. Tarrad, "Performance Analysis of Spectral Amplitude Coding Incoherent OCDMA System Based on FBGs “, International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 3, Issue 5, May 2015.
- [13] A. Garadi, A. Djebbari, and T. A. Abdelmalik, “Exact analysis of signal-to-noise ratio for SAC-OCDMA system with direct detection,” Optik (Stuttg)., vol. 145, pp. 89–94, 2017, doi: 10.1016/j.jleo.2017.07.038.

Annexe A : *Introduction au logiciel*
Optisystème 7.0

Annexe A : Introduction au logiciel Optisystème 7.0

A.1 introduction

Dans un secteur où la rentabilité et la productivité sont des impératifs pour le succès, le primé Optisystem peut minimiser les exigences de temps et de coût liés à la conception des systèmes optiques, des liens et des composants. Optisystem est donc un outil innovant, qui évolue rapidement, il a une puissance de conception qui permet aux utilisateurs de planifier, tester et de simuler chaque type de liaison optique dans la couche de transmission d'un large éventail de réseaux optiques du LAN, SAN, et MAN. Il offre la couche de transmission de conception optique et de planification des composants au niveau du système, et présente visuellement l'analyse des scénarios.

Crée pour répondre aux besoins des chercheurs, ingénieurs télécoms optiques, des intégrateurs systèmes, des étudiants et d'une grande variété d'autres utilisateurs, Optisystem satisfait la demande de l'évolution du marché de la photonique.

A.2 Démarrage du Logiciel

Pour lancer OptiSystem, nous devons effectuer l'action suivante : Dans le menu Démarrer, sélectionner **Programs > Optiwave Software > OptiSystem 7 > OptiSystem**. Ainsi l'interface graphique apparaîtra comme l'illustre la Figure A.1.

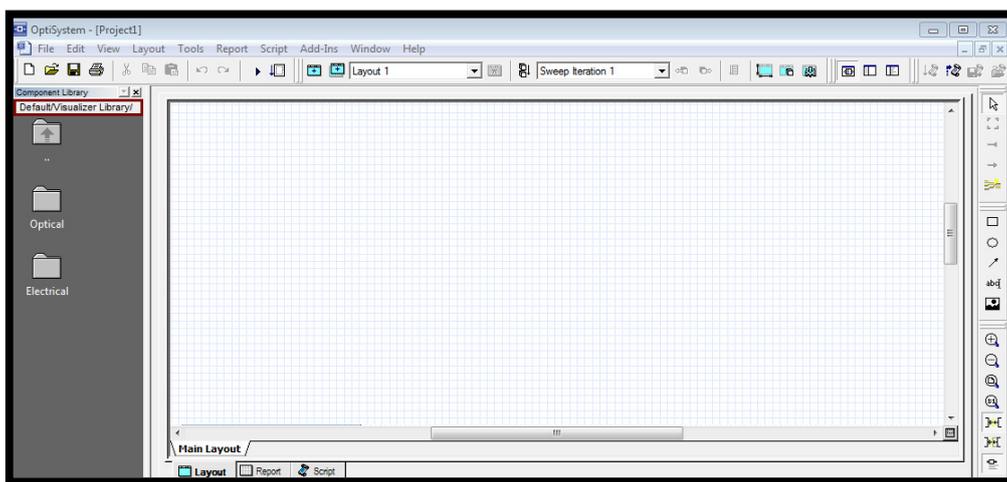


Figure A.1 : Interface graphique du logiciel.

A.3 Librairie des Composants :

La librairie nous donne accès aux composants afin de créer le système désiré elle est apparait comme le montre la Figure A.2



Figure A.2 : Librairie des composants.

A.4 Navigateur du Projet

C'est une sorte de banque qui contient tous les composants utilisés lors du projet afin de pouvoir y accéder plus rapidement, particulièrement dans le cas d'un projet complexe qui contient un nombre important de composants. La Figure A.3 représente le navigateur de projet.

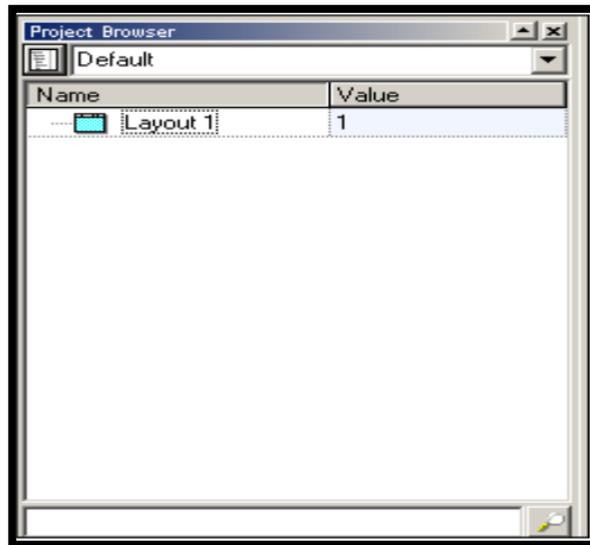


Figure A.3 : Navigateur du Projet.

A.5 Représentations des Signaux

Pour rendre l'outil de simulation plus souple et plus efficace, il est essentiel qu'il fournisse des modèles à différents niveaux d'abstraction, y compris le système, sous-système, et les niveaux de composants. OptiSystem dispose d'une définition hiérarchique de composants et systèmes, vous permettant d'utiliser des outils logiciels spécifiques pour l'optique intégrée et de la fibre dans le

niveau des composants et permettant à la simulation d'aller aussi profond que la précision désirée exige. Différents niveaux d'abstraction impliquent des représentations de signaux différents. La représentation du signal doit être aussi complète que possible afin de permettre la simulation efficace. Il ya cinq types de signaux dans la bibliothèque de signaux dans la bibliothèque du logiciel tous régis par un code de couleur comme le montre le Tableau A.1 et la Figure A.4.

Signal	Couleur du connecteur
Binaire	Rouge
M-aire	Rouge foncé
Electrique	Bleu
Optique	Vert
Tout type	Vert foncé

Tableau A.1 : Code de Couleur des Signaux sous Optisystem.

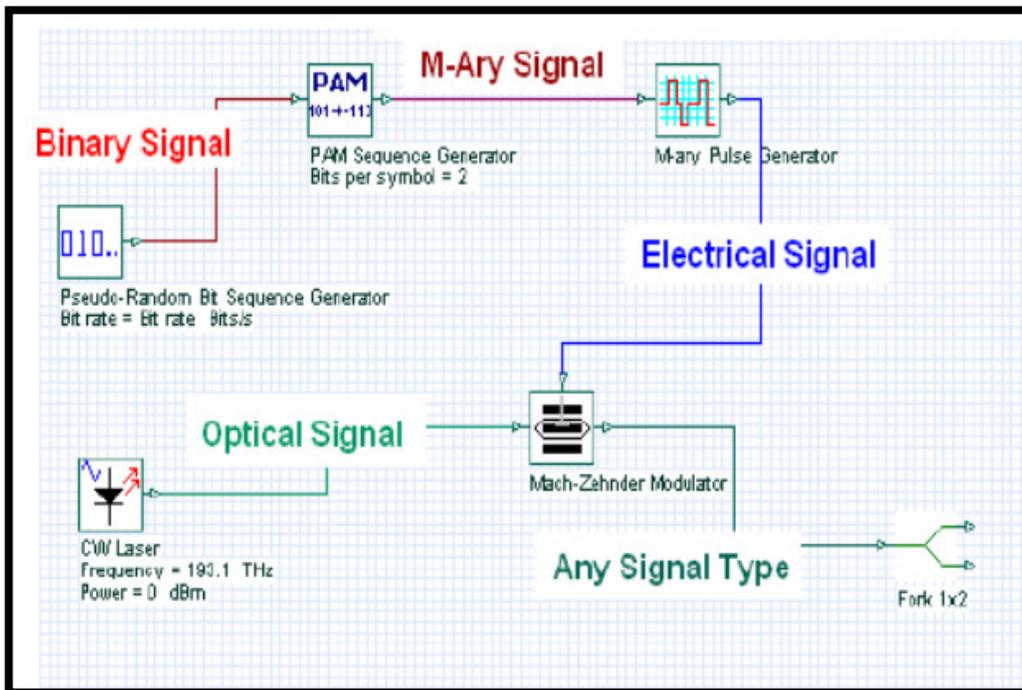


Figure A.4 : Représentation des Signaux sous Optisystem 7.0.

A.6 Paramètres de simulation :

Lors de la création d'un nouveau design, il est indispensable de définir les paramètres de simulation.

Ces paramètres montrent la vitesse, la précision, et les besoins en mémoire pour une simulation particulière au cours de la phase de conception du système. Il est important de comprendre ce que les paramètres globaux sont, parce qu'ils ont un impact sur tous les composants qui utilisent ces paramètres. En cliquant sur le projet, la fenêtre des paramètres généraux de simulation s'affiche comme dans la Figure A.5.

Simulation			
Name	Value	Units	Mode
Simulation window	Set bit rate		Normal
Reference bit rate	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
Bit rate	7812500000	Bits/s	Normal
Time window	1.6384e-008	s	Normal
Sample rate	500000000000	Hz	Normal
Sequence length	128	Bits	Normal
Samples per bit	64		Normal
Number of samples	8192		Normal

Figure A.5 : Paramètres de simulation (par défaut).

Avec :

Bit rate : débit de simulation.

Time Window (TW) : Durée de la fenêtre de visualisation.

Sample rate (ou fréquence d'échantillonnage f) : Nombre d'échantillons en une seconde.

Sequence length : Longueur de la séquence.

Samples per bit : Nombre d'échantillons par bit.

Number of samples : Nombre total d'échantillons.

➤ Calcul des paramètres manuellement :

a. Time Window :

Bit rate = 10 Gbits/= 7812500000 bits/s

⇒ 7812500000 → 1s

128 → TW

$$T_W = \frac{128}{7812500000}$$

⇒ $T_W = 0,16384 \times 10^{-7} \text{ s} = 16,384 \text{ ns}$

b. Sample rate (fréquence d'échantillonnage) :

1s → 64 échantillon

781250000 → Nombre d'échantillons en une seconde

⇒ Nombre d'échantillons en une seconde = 64 × 781250000 échantillon

⇒ $f_e = 0.5 \text{ THZ}$ (C'est la bande offerte par la LED).

c. Number of sample

Nombre total d'échantillons = Longueur de la séquence × nombre d'échantillons par bit.

⇒ Nombre total d'échantillons = 128 × 64 = 8192.

A.7 Relations entre les paramètres

La figure A.6 représente les relations entre les différents paramètres dans les domaines temporel et fréquentiel

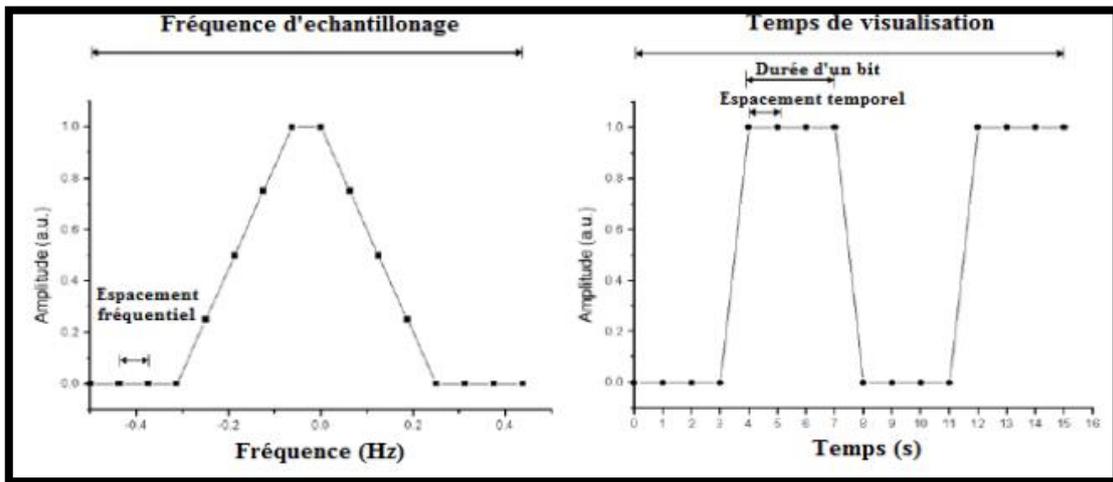


Figure A.6: Paramètres de Simulation dans les Domaines Temporel et fréquentiel

Détermination des valeurs théoriquement

a. En utilisant l'espaceur fréquentiel (f_s)

$$f_s = \frac{1}{T_w} = \frac{1}{16,384 \times 10^{-9}}$$

$$\Rightarrow f_s = 0,06103515625 \times 10^9 \text{ HZ}$$

Sachant que :

$$f_e = f_s \times \text{Nombre d'échantillons}$$

$$f_e = 0.5 \text{ THZ.}$$

b. En utilisant l'espaceur temporel T_b :

$$\text{Durée d'un bit} = T_b = \frac{1}{\text{Debit de simulation}}$$

$$\Rightarrow T_b = 0,128 \text{ ns}$$

$$T_s = \frac{T_b}{\text{Tb Nombre d'échantillons par bit}} = 0,002 \text{ ns}$$

Sachant que :

$$f_e = \frac{1}{T_s}$$

$$\Rightarrow f_e = 0.5 \text{ THZ.}$$

Les résultats trouvés en 'a' et 'b' sont identiques à ceux données par le logiciel (figure A.6).

A.8 Modes de simulation :

Optisystem offre trois différents modes de simulation :

- ✓ Le mode normal : où il suffit d'entrer la valeur du paramètre désiré.
- ✓ Le mode de balayage (Sweep) : Où la valeur du paramètre varie suivant une courbe donnée.
- ✓ Le mode scripte : où le paramètre est évalué comme une expression arithmétique.