

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Électrique et d'Informatique
Département d'Électronique

Mémoire de Fin d'Etudes

de MASTER ACADÉMIQUE

Spécialité :

Instrumentation

Filière :

Electronique

Par

HOCINE LHADJ Linda

BOULDJA Nadjiba

Thème

**Amélioration des performances d'un système
OCDMA unidimensionnel basé sur le code
MFCC**

Soutenu le : 27/06/2024

Promoteur : Dr. DJEFAL NADHIR

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions "DIEU" le Tout-Puissant de nous avoir accordé le courage, la patience et la volonté pour mener à terme ce travail.

Ensuite, nous tenons à remercier et exprimer notre profonde reconnaissance à notre promoteur, le Dr. Djeffal, qui nous a guidés et orientés tout au long de la réalisation de ce projet par ses précieux conseils et encouragements. Sa disponibilité et sa patience ont été décisives dans l'accomplissement de cette étude.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier nos familles pour leurs soutiens, aides, compréhension et encouragements tout au long de nos études.

...

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents, pour leur amour, leur soutien indéfectible et leur confiance en moi tout au long de mon parcours. Votre encouragement constant a été une source d'inspiration et de motivation. Je vous suis infiniment reconnaissante pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour me permettre de réaliser mes rêves. J'espère être la fille que vous avez rêvé d'avoir.

À mes chers frères AKRAM et AYMEN, je vous remercie pour votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible et votre présence dans ma vie. Je vous aime plus que les mots ne peuvent le dire et je vous souhaite tout le bonheur du monde.

À mon oncle SALEH et sa femme, merci pour votre amour, votre gentillesse et vos conseils.

À mon âme sœur ROUFAIDA, tu as été une source d'inspiration pour moi et ma source de joie, je te remercie de tout mon cœur.

À ma chère amie RAZIKA, je vous remercie du fond du cœur pour votre amitié précieuse et je te souhaite tout le bonheur du monde.

Et à ma chère binôme et amie NADJIBA et à toute sa famille.

...
LINDA

Dédicace

Je remercie Dieu qui nous a accordé la chance de vivre cette expérience. C'est avec grand plaisir que je dédie ce mémoire à mes parents les plus chers. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me faire depuis ma naissance jusqu'à ce jour.

À mes chers frères Massinissa, Bilal et Madjid et à mes sœurs Maïssa et Assia, je vous serais éternellement reconnaissante pour vos conseils, votre motivation et votre soutien constant ainsi que votre sagesse qui m'ont guidé tout au long de mon parcours.

À toute ma famille paternelle et maternelle, vous êtes la source de mes racines et de ma force. Votre amour et votre soutien m'ont permis de grandir et de m'épanouir.

À ma chère compagne Nabila, ton amitié sincère et ton soutien inconditionnel ont été d'un immense réconfort tout au long de ce parcours. Merci d'avoir été à mes côtés dans les moments les plus importants de ma vie.

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail, je leur dédie humblement ce travail en signe de gratitude et d'appréciation.

À ma chère binôme Linda et à toute sa famille, je suis reconnaissant au hasard qui a permis à nos chemins de se croiser. Je lui ai également exprimé ma gratitude pour sa gentillesse, son soutien et son amitié, qui sont des trésors précieux pour moi.

...

Nadjiba

Abstract

The aim of our study is to improve the performance of Optical Code Division Multiple Access (OCDMA) systems used in telecommunications networks, thereby increasing the number of users and the data rate, improving multiplexing capacity and reducing the impact of Multiple Access Interference (MAI). This research proposes a new family of codes for the SAC-OCDMA system. The concept of this code is based on flexible cross-correlation (FCC), which has earned it the name "Modified Flexible Cross-Correlation" (MFCC). In order to accomplish this task, various simulations were carried out under the Optisystem environment. The performance of the OCDMA system was evaluated using three criteria : the eye diagram, the bit error rate (BER) and the quality factor Q . . These analyses took into account the impact of different types of noise, such as shot noise, PIIN noise and thermal noise. A comparative study was also carried out, comparing our numerical results with those of two other existing codes, MDW and RD. Our investigative results revealed that the MFCC code performs better in terms of bit error rate (BER) than the MDW and RD codes.

Keywords : Optical Code Division Multiple Access (OCDMA),SAC-OCDMA,MDW, BER, MFCC ,MAI

Résumé

Notre étude vise à améliorer les performances des systèmes OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) utilisés dans le domaine des réseaux de télécommunications, permettant ainsi d'augmenter le nombre d'utilisateurs et le débit de données, d'améliorer la capacité de multiplexage et de réduire l'impact des interférences d'accès multiple (MAI). Cette recherche propose une nouvelle famille de codes pour le système SAC-OCDMA. Le concept de ce code est basé sur la corrélation croisée flexible (FCC), ce qui lui vaut le nom de "Corrélation Croisée Flexible Modifiée" (MFCC) Afin d'accomplir cette tâche, diverses simulations ont été réalisées sous l'environnement Optisystem. Les performances du système OCDMA ont été évaluées à l'aide de trois critères : le diagramme de l'œil, le taux d'erreur binaire (BER) et le facteur de qualité Q. Ces analyses ont pris en compte l'impact de différents types de bruit, tels que le bruit de grenaille, le bruit PIIN et le bruit thermique. Une étude comparative a également été menée, confrontant nos résultats numériques à ceux de deux autres codes existants, les codes MDW et RD. Nos résultats d'investigation ont révélé que le code MFCC offre de meilleures performances en termes de taux d'erreur binaire (BER) par rapport aux codes MDW et RD.

Les mots clés : les systèmes à accès multiples optique (OCDMA), encodage de l'amplitude spectrale SAC-OCDMA, MFCC, MAI, MDW, RD, BER.

	I.3.3.2.1	La fibre multimode à saut d'indice	16
	I.3.3.2.2	Fibre multimode à gradient d'indice	17
I.3.4		La différence entre la fibre optique monomode et la fibre multi- mode	17
I.3.5		caractéristiques de la fibre optique	18
	I.3.5.1	L'atténuation	18
	I.3.5.2	Dispersion	19
	I.3.5.2.1	La dispersion chromatique	20
	I.3.5.2.2	La dispersion modale	20
	I.3.5.3	La bande passante	21
I.3.6		les amplificateurs	21
I.4		Le récepteur	22
	I.4.1	Photo Détecteur	23
	I.4.1.1	Principe de la photo-détection	23
	I.4.1.2	Caractéristique d'une photo-détection	24
	I.4.1.2.1	La photodiode PIN	24
	I.4.1.2.2	La photodiode APD à avalanche	25
	I.4.1.2.2.1	Principe de fonctionnement	25
	I.4.1.2.3	La différence entre la photodiode PIN et PDA	25
	I.4.2	Les préamplificateurs	26
	I.4.3	Circuit de filtrage	26
	I.4.4	Circuit de décision	27
I.5		Conclusion	27
Bibliographie			28
II Encodage de l'amplitude spectrale d'un système OCDMA			32
II.1		Introduction	32
II.2		les techniques d'accès multiple	32
	II.2.1	Accès multiple par répartition dans le temps	33
	II.2.1.1	Les différentes caractéristiques d'un système TDMA sont	33
	II.2.2	Accès multiple par répartition de fréquences	34
	II.2.3	Accès multiple par répartition de codes	35
II.3		Techniques d'accès multiples en communications optiques	36
	II.3.1	Accès multiple par répartition en temps en optique	36
	II.3.1.1	La technique OTDM	36
	II.3.1.2	La technique ETDM	37
	II.3.2	Accès Multiple par Répartition en Longueur d'Onde WDM	38
	II.3.3	Accès multiple par répartition de code en optique	39
II.4		Etude de la technique OCDMA	40
	II.4.1	Principe de la technique OCDMA	40
	II.4.2	Classification des systèmes OCDMA	42
	II.4.2.1	L'OCDMA cohérent	42
	II.4.2.2	L'OCDMA incohérent	42

II.5	Architecture d'OCDMA	43
II.5.1	OCDMA temporel[30][31]	43
II.5.2	OCDMA Spectral	45
II.5.2.1	Inconvénients du système SAC-OCDMA	48
II.6	Conclusion	48
Bibliographie		50
III Amélioration des Performances d'un système OCDMA 1D basé sur le code MFCC		
III.1	Introduction	53
III.2	Critères et méthodes d'évaluer les performances des codes	54
III.2.1	Taux d'erreur binaire	54
III.2.2	Diagramme de l'œil	54
III.2.3	Le facteur de qualité Q	55
III.3	conception de code [2]	56
III.4	Analyse des performances numériques[2]	57
III.5	Configuration de la simulation	59
III.5.1	partie d'émission	61
III.5.2	partie de réception	62
III.6	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	63
III.6.1	L'impact de la distance sur la qualité du signal dans les fibres optiques	64
III.6.2	la variation du taux d'erreur binaire (BER) en fonction de la longueur de fibre optique	65
III.6.3	Impact de la distance avec différents débits	66
III.7	Conclusion	67
Bibliographie		68
Conclusion Générale		70

Table des figures

I.1	Schéma général d'un système de communications par fibre[3].	4
I.2	Structure d'un émetteur optique[5].	5
I.3	Un laser est un oscillateur composé d'un milieu amplificateur (A) et D'une boucle de contre-réaction (CR) [6].	7
I.4	Spectre d'émission d'une LED et d'une DL [3].	7
I.5	Schéma d'un émetteur optique [11].	8
I.6	Synoptique de la modulation directe[11].	9
I.7	Synoptique de la modulation externe [11].	11
I.8	Le modulateur de Mach-Zehnder[15]	11
I.9	le codage NRZ (non retour à zéro)[3].	12
I.10	le codage NRZ (non retour à zéro)[3]	12
I.11	Structure d'une fibre optique[17].	14
I.12	Le guidage de la lumière dans une fibre optique[10].	14
I.13	Principe de guidage de la lumière par réflexion totale interne [18]	15
I.14	Structure d'une fibre monomode[22].	16
I.15	Structure d'une fibre multimode à saut d'indice[22].	17
I.16	Structure d'une fibre multimode à gradient d'indice[22].	17
I.17	Courbe schématique de la perte d'atténuation dans une fibre en fonction de La longueur d'onde [15].	18
I.18	Phénomène de dispersion[29].	19
I.19	Types des amplificateurs selon la position dans la chaine de transmission[10].	22
I.20	Schéma d'un récepteur de données à détection directe[31].	23
I.21	Photo-détecteurs[33].	23
I.22	Structure d'une photodiode PIN[36].	24
I.23	Structure d'une photodiode à avalanche PDA[36].	25
I.24	Réponses fréquentielles du filtre théorique et pratique de Nyquist[12] . . .	26
II.1	Technique d'accès multiple TDMA[6].	33
II.2	Technique d'accès multiple FDMA[6]	34
II.3	Technique d'accès multiple CDMA[7].	35
II.4	Emetteur OTDM à N utilisateurs [5].	37
II.5	Récepteur OTDM à N utilisateurs [5].	37
II.6	Emetteur OTDM à N utilisateurs [5]	38
II.7	Schéma d'un multiplexage en longueur d'onde(WDM)[23].	38
II.8	Spectre WDM avec $\Delta\lambda$ l'espacement entre les canaux[5].	39
II.9	Fenêtres de transmission à faibles pertes [20]	39
II.10	Schéma synoptique d'une transmission CDMA optique[22].	40
II.11	Codage de données en OCDMA [8].	41

II.12 Schéma synoptique d'un réseau OCDMA [26].	41
II.13 Schémas d'un système OCDMA[28].	43
II.14 Types d'OCDMA temporel : a) DS-OCDMA , b) TPE-OCDMA [32] . . .	44
II.15 Principe de l'étalement temporel[33].	44
II.16 Un exemple de codage DS-OCDMA[33].	45
II.17 Types d'OCDMA spectral : a) SAC-OCDMA , b) SPE-OCDMA [32] . .	46
II.18 Principe de l'encodage spectral SAC-OCDMA : a) pour usager désiré avec le code i , b) pour un interférent avec le code j [36].	46
II.19 Technologie d'encodage OCDMA spectral : a) Masque d'amplitude,b) AWG, c) Réseaux de Bragg, d) Démultiplexeurs et multiplexeurs optiques [36].	47
III.1 Diagramme de l'œil d'un signal au format NRZ[8].	55
III.2 schéma du système SAC-OCDMA MFCC code pour trois utilisateurs avec $w=3$	60
III.3 schéma bloc d'émission	61
III.4 schéma bloc de réception	62
III.5 BER en fonction du nombre d'utilisateurs pour les codes MFCC, MDW et RD	63
III.6 Diagrammes de l'œil 10 km	64
III.7 Diagrammes de l'œil 20 km	64
III.8 Diagrammes de l'œil 40 km	65
III.9 Variation de BER en fonction de la longueur de fibre pour le code MFCC	66
III.10 Variation de BER en fonction de la longueur de fibre pour le code MFCC avec différents débits binaire de données	67

Liste des tableaux

I.1	Caractéristiques générales des fibres monomodes et multimodes [24]. . .	18
III.1	Description des paramètres.	59
III.2	Paramètres utilisés dans les calculs numériques	63

Introduction Générale

La demande en bande passante a fortement augmenté ces dernières années avec l'essor des services multimédia, d'internet et du commerce en ligne. L'introduction de nouveaux services tels que la télévision haute définition ou la vidéo à la demande nécessite des débits importants que le réseau cuivre traditionnel ne peut pas supporter[1].

Dans ce contexte, la communication par fibre optique joue un rôle crucial pour le développement de systèmes de télécommunications haute qualité et haute vitesse. La fibre optique permet la transmission d'informations d'un point à un autre par la propagation de la lumière. Grâce à ses faibles coûts, pertes de propagation faibles et large bande passante, la fibre optique domine largement dans le domaine de la transmission de données longue distance, justifiant ainsi son important développement dans les systèmes de transmission optique[2].

Afin de répondre à l'augmentation de la demande en communications à grande vitesse et grande capacité dans les réseaux optiques, plusieurs techniques d'accès multiple sont utilisées, telles que la répartition en longueur d'onde (WDMA), la répartition dans le temps (TDMA) et la répartition par code (CDMA). Ces techniques permettent à plusieurs utilisateurs de partager la même bande passante de la fibre optique[3].

Parmi ces différentes approches, l'accès multiple par répartition de code optique (OCDMA) devient de plus en plus intéressant pour les communications optiques. En effet, cette technique offre un niveau élevé de sécurité, une large bande passante et un faible coût, tout en permettant à plusieurs utilisateurs d'accéder au réseau de manière simultanée et asynchrone, sans gestion du temps ni de la fréquence [2] [4] .

Cependant, la technique OCDMA présente également des inconvénients, notamment les bruits et interférences d'accès multiple (MAI) qui peuvent dégrader le signal reçu et limiter le nombre maximal d'utilisateurs pouvant être supportés sur le réseau [5].

Pour réduire cet effet, la technique SAC-OCDMA (Spectral Amplitude Coding OCDMA) offre une meilleure solution. Elle permet à plusieurs utilisateurs de transmettre simultanément

ment des informations sur le même canal, grâce à l'utilisation de différentes méthodes de détection [4] [6] .

Ainsi, l'OCDMA et ses variantes comme le SAC-OCDMA constituent des techniques prometteuses pour répondre aux besoins croissants en communications optiques à haut débit et multiutilisateurs, malgré les défis techniques à surmonter [5] [4] .

Ce mémoire se compose de trois chapitres :

Le premier chapitre s'attache à présenter une description approfondie d'une chaîne de transmission optique. Nous commencerons par une description détaillée des différentes sources lumineuses et des modulations. Par la suite, nous aborderons la structure et les différents types de fibre optique, afin de décrire les diverses caractéristiques de cette dernière. Dans la dernière partie, nous exposerons les systèmes de réception et leur fonctionnement, ainsi que les circuits de filtrage et de décision qui vont assurer une transmission optique fiable et efficace.

Dans le deuxième chapitre, nous décrirons les différentes méthodes d'accès multiple en télécommunications (TDMA, FDMA, CDMA) ainsi que leur développement en transmission optique (OTMA, WDM, OCDM). Spécialement l'OCDM qui est la plus utilisée dans le monde des réseaux de télécommunications grâce à ses performances, pour cela nous donnerons le principe de son fonctionnement, ces classifications (cohérente et incohérente) ainsi que les différents types de codage associés. Enfin, nous aborderons ces différentes techniques de codage (DS-OCDMA, SAC-OCDMA).

Le dernier chapitre se concentre sur la mise en œuvre d'un système OCDMA (accès multiple par répartition en code optique) à séquence directe moins sensible aux perturbations cohérentes. L'objectif est de développer un code MFFC (Multifunctionality Family Code) unipolaire afin d'augmenter la capacité de multiplexage, le débit par utilisateur et l'efficacité spectrale du système OCDMA. Cette étude analyse les performances du système en termes de propriétés de corrélation et les différentes contraintes qui vont influencer son bon fonctionnement.

Enfin nous terminerons notre travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

Bibliographie

- [1] J. YAMMINE, "Caratérisation du contenu modal et de 1 amplification dansles fibres optiques légèrement multimode," Thèse de Doctorat, UNIVERSITÉ DELILLE, 2019.
- [2] R. SAIDI, "ETUDE D'UNE STRUCTURE DE LIAISON PAR FIBRE OPTIQUE :CARACTERISATION DE LA PROPAGATION ET BILAN ENERGE-TIQUE,"Thèse de Magister, En Electronique, Université de Biskra, 2010.
- [3] R. BOUDAOU, «Contribution à l'étude des performances et limitations d'une liaison CDMA optique haut débit,» Thèse de doctorat. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 2010.
- [4] N. M. SAAD, «Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique,» Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Limoges : Université de Limoges.2005.
- [5] S.DRIZ,« Contribution à l'étude du système hybride SCM SAC-OCDMA », thèse de doctorat, Université DJILLALI LIABES de Sidi- Bel-Abbes, 2018.
- [6] A. GARADI,«Contribution à l'étude des codes optiques ZCC : application au système SAC-OCDMA,» Thèse de doctorat. Université Djillali Liabès, Sidi Bel Abbès, 2015.

Chapitre I

Les Systèmes De Transmission Par Fibre Optique

I.1 Introduction

Parmi les besoins fondamentaux de l'être humain, la communication vient juste après la survie. Les moyens que nous utilisons pour échanger des idées et des informations ne cessent d'évoluer. Autrefois limitées aux conversations en face à face, nos interactions se sont considérablement étendues grâce aux avancées technologiques qui enrichissent continuellement nos réseaux de communication[1].

En 1966, l'idée de transmettre des informations via la lumière est apparue. À l'époque, le principal obstacle était la perte de données due à un manque de précision, et les débits des réseaux locaux étaient relativement faibles. L'utilisation de la fibre optique pour ces infrastructures permettra de répondre aux besoins croissants en termes de débit[2].

Dans les liaisons optiques à hyperfréquences, comme dans tous les systèmes de communication, trois blocs essentiels sont nécessaires pour transmettre l'information, comme illustré dans la figure I.1 : l'émetteur, le canal de communication et le récepteur.

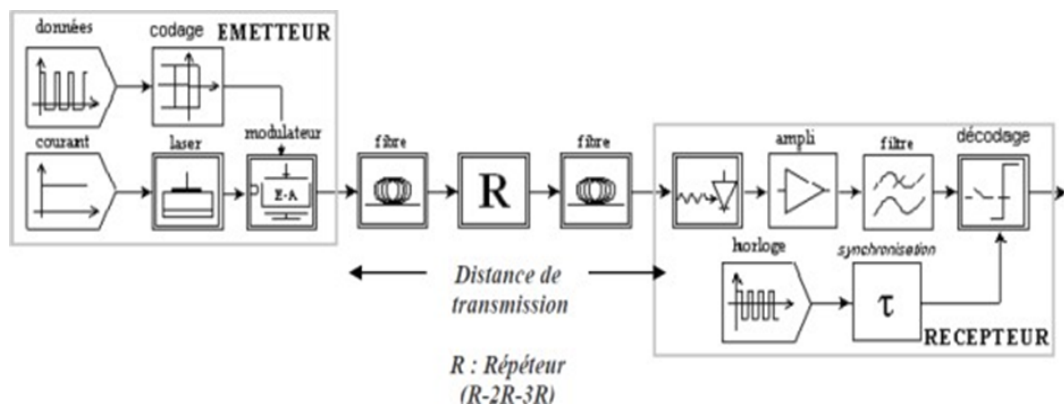


FIGURE I.1 – Schéma général d'un système de communications par fibre[3].

Dans ce premier chapitre, nous décrivons les concepts de base qui nous permettront de comprendre le sujet de recherche qu'avons choisi d'étudier. Nous commençons par le bloc d'émission, constitué de trois éléments essentiels (alimentation, source optique et modulateur) qui permet de convertir et de moduler un signal sinusoïdal électrique en un signal optique. Par la suite, on a parlé sur le canal de transmission (la fibre optique) qui transporte une porteuse optique modulée contenant l'information. Enfin, après son arrivée à la réception, le signal subit une modification par un ensemble de composants comprennent un photodétecteur, un préamplificateur, un circuit de filtrage et un circuit de décision. Cet ensemble joue le rôle de récupérer, amplifier et filtrer le signal électrique véhiculé en effectuant une conversion optique-électrique.

I.2 Émetteurs optique

Le composant initial des systèmes de communication optique est l'émetteur, responsable de la transmission des données via le canal de transmission. Il est composé d'une alimentation qui fournit l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de l'émetteur et de la diode laser(DL), qui est la source optique la plus couramment utilisée dans les systèmes de communications optiques. Cette diode émet une porteuse optique monochromatique, qui est un signal transmis en continu et sera modulé à onde continue. La modulation peut être effectuée soit directement au niveau du laser, ou de manière externe en utilisant un modulateur optique. Le signal est ensuite propagé à travers un lien optique formé par une fibre optique monomode ou multimode. Ensuite, la lumière modulée est amplifiée à l'aide d'un amplificateur optique à semi-conducteur(voir la figure I.2)[4].

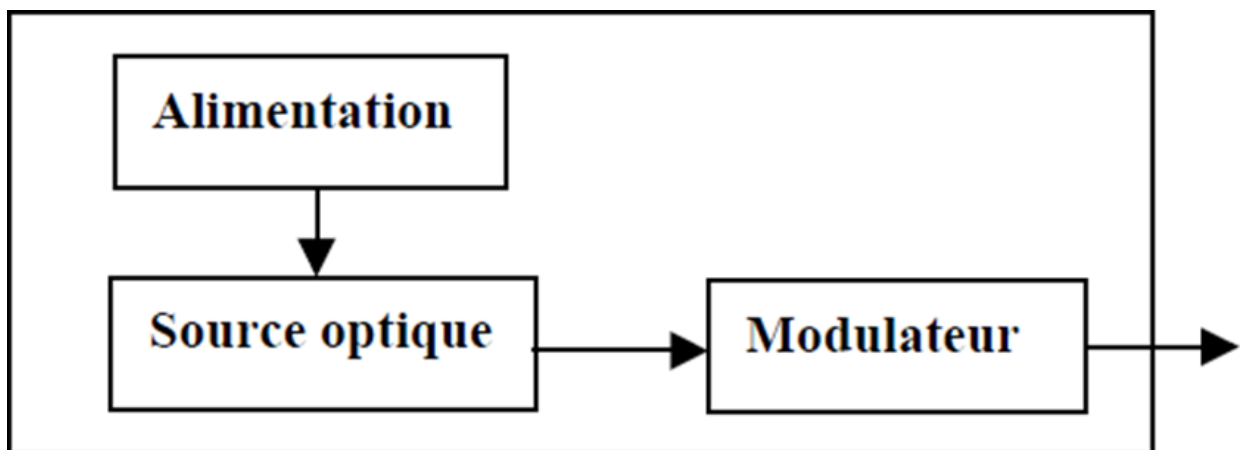


FIGURE I.2 – Structure d'un émetteur optique[5].

I.2.1 Les sources optiques

Les sources lumineuses sont des composantes fondamentales de tout système de communication optique, notamment des diodes laser à semi-conducteur. Leur principale fonc-

tion est de convertir l'énergie électrique en énergie optique, Une bonne source de rayonnement doit être intense, consommer peu de puissance, avoir un temps de réponse rapide, être modulable facilement, fiable et économique. De plus, il est important de prendre en considération les caractéristiques de la fibre lors du choix de la source : la lumière doit être injectée dans le cône d'acceptation, la longueur d'onde doit correspondre à une atténuation réduite et la largeur spectrale doit être faible afin de réduire la dispersion.

Dans le domaine des télécommunications, on utilise principalement deux types de sources lumineuses : les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL). Bien que ces deux dispositifs soient fabriqués à partir de semi-conducteurs, ils fonctionnent de manière fondamentalement différente en ce qui concerne le type de lumière qu'ils émettent. Ainsi, les DL et les DEL doivent remplir deux fonctions distinctes : d'un côté, transmettre les ondes vers le support de transmission, et de l'autre, encoder le message à transmettre sur ce support[4][8].

I.2.1.1 Diodes électroluminescentes

Si nous observons notre environnement, nous constaterons que les diodes électroluminescentes (LED) sont omniprésentes. Elles se déclinent en vert, jaune ou rouge et se trouvent dans les véhicules, les ordinateurs, les téléphones et divers autres appareils électroniques. La LED est le composant émetteur le plus simple, basé sur l'émission spontanée, avec une lumière à large spectre et faible directivité. Elle est principalement utilisée dans les systèmes de transmission où les bandes passantes ne sont pas très élevées, car un large spectre d'émission correspond à une faible bande passante.

L'électroluminescence est due à la recombinaison radiative des électrons et des trous dans un matériau, où l'énergie des électrons excités est libérée sous forme de photons (lumière). Avant cette recombinaison, les électrons et les trous sont séparés par l'induction dans le matériau semi-conducteur pour créer une jonction (dans le cas des LED), ou par l'excitation due aux impacts d'électrons de haute énergie accélérés par un champ électrique intense[5].

I.2.1.2 La diode laser

DL est une source monochromatique et cohérente, elle est principalement utilisée dans les systèmes de transmission à très grandes distances (faible largeur spectrale, bande passante importante). Elle possède une bande passante très importante et une faible largeur spectrale.

La source la plus appropriée pour les télécommunications optiques est la diode laser, car elle offre une efficacité de couplage optique optimale avec la fibre optique. Grâce à une

boucle de contre-réaction, il est possible de faire passer un signal lumineux à plusieurs fois dans un amplificateur. Comme illustre la figure I.3 ci-dessous.

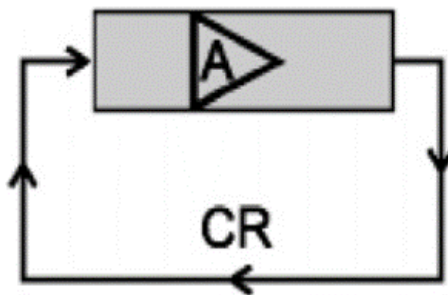


FIGURE I.3 – Un laser est un oscillateur composé d'un milieu amplificateur (A) et d'une boucle de contre-réaction (CR) [6].

Plusieurs catégories de diodes lasers sont disponibles, notamment les lasers FP (Fabry-Perrot), les DFB (Distributed-feedback) et les VCSEL (Vertical-cavity Surface Emitting Laser). Ces dispositifs se caractérisent généralement par leur compacité, leur qualité spectrale élevée, leur faible consommation d'énergie et leur capacité à ajuster la longueur d'onde pour correspondre aux fenêtres de transmission des fibres optiques compatibles avec les fenêtres de transmission des fibres optiques [7].

I.2.1.3 La différence entre LED et le LASER

Bien que la LED offre une bande passante limitée, elle se distingue par sa fiabilité élevée, sa longue durée de vie et son faible coût. De plus, elle est moins sensible aux variations de température et présente un risque minimal pour la sécurité oculaire du fait de sa faible puissance d'émission dans le spectre visible pour les applications sur fibre optique [8]. En revanche, la diode laser s'avère la source la plus adaptée aux télécommunications optiques en raison de son efficacité de couplage optique optimale avec la fibre [9]. Il est important de noter que la LED présente un spectre continu et relativement large, ce qui la rend particulièrement sensible à la dispersion chromatique. En comparaison, le spectre d'une diode laser est monomode longitudinal, comme illustré par la figure I.4.

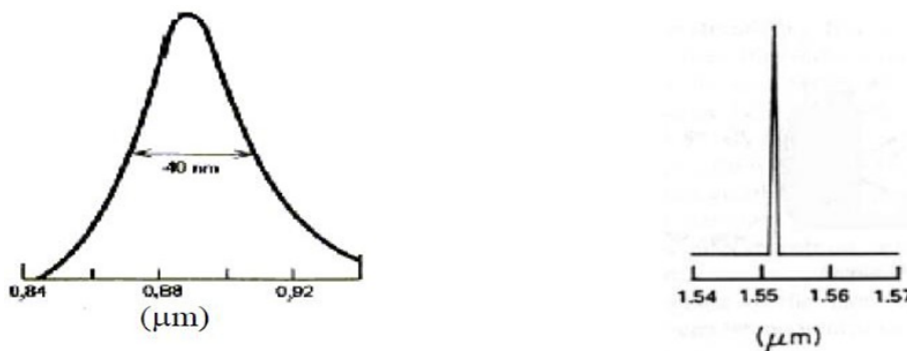


FIGURE I.4 – Spectre d'émission d'une LED et d'une DL [3].

I.2.2 Les modulateurs

La modulation optique convertit des informations binaires en signaux optiques pour leur transmission sur des fibres optiques et de modifier les caractéristiques des ondes optiques (telles que l'amplitude, la phase... etc). Afin de transférer des données à travers une fibre optique, il est nécessaire de les coder ou de les moduler. Il existe deux méthodes les plus importantes sont la modulation directe (interne) et la modulation externe [10].

Le schéma simplifié d'un émetteur optique peut être représenté dans la figure I.5 en utilisant soit la modulation interne (source optique) soit la modulation externe (modulateur optique).

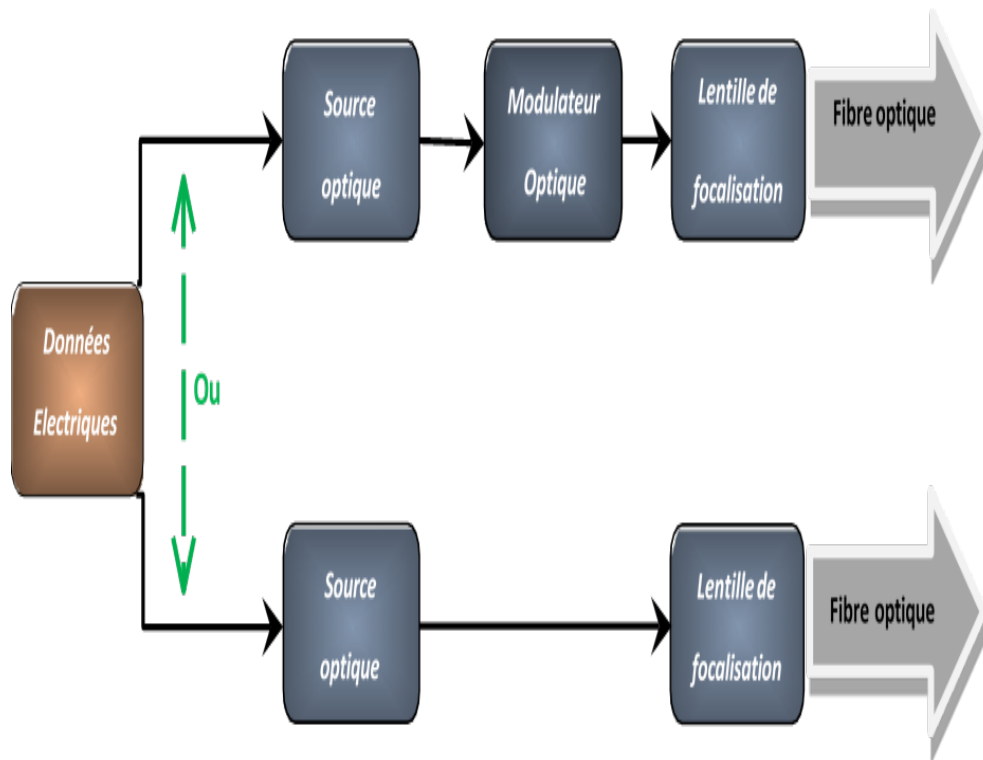


FIGURE I.5 – Schéma d'un émetteur optique [11].

I.2.2.1 Modulation directe

La modulation directe en fibre optique est une technique qui permet de transformer un signal électrique en signal lumineux directement à la source. Cette méthode implique la modulation du courant injecté dans la diode laser (DL) ou la diode électroluminescente (DEL).

Donc la variation du courant entraîne une modification de l'intensité lumineuse émise par la source [10]. Cette modulation nécessite de mettre en place trois éléments essentiels : un générateur de courant, une diode laser et un circuit de commande (voir la figure I.6) qui permet de réguler la puissance du faisceau émis par la source optique (en réglant les valeurs du courant d'alimentation). Afin d'y parvenir, il ajuste les niveaux de courant

provenant du générateur [12].

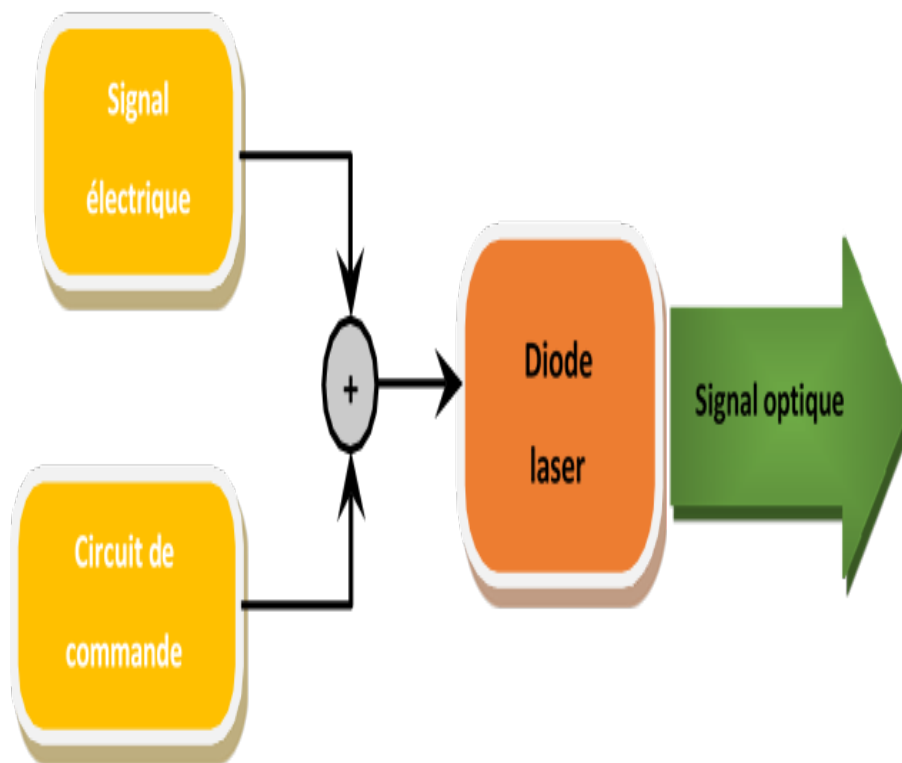


FIGURE I.6 – Synoptique de la modulation directe[11].

I.2.2.1.1 Les avantages de la modulation directe :

La modulation directe offre plusieurs d'avantage qui en font une technique de choix pour de nombreuses applications de transmission par fibre optique parmi lequel[13] :

- **Simplicité de mise en œuvre** : La modulation directe est une méthode relativement facile à mettre en place, ne demandant que peu de composants électroniques cela se traduit par des coûts de fabrication et de maintenance réduits.
- **Faible coût** : La simplicité de la modulation directe contribue également à son faible coût. En effet, les composants nécessaires à sa mise en œuvre sont généralement peu onéreux.
- **Bonne efficacité énergétique** : La modulation directe offre une excellente efficacité énergétique, car elle transforme de manière efficace le signal électrique d'entrée en signal optique. Cela se traduit par une consommation d'énergie réduite.
- **Bande passante adaptée aux faibles débits** : Une bande passante adéquate est fournie par la modulation directe pour les applications à faible débit, comme les liaisons fibre optique courtes, les réseaux locaux (LAN) et les communications par satellite.
- **Compatibilité avec différentes sources lumineuses** : La modulation directe peut être utilisée avec différentes sources lumineuses, telles que les diodes laser et les

LED.

- **Facilité de contrôle** : La modulation directe est relativement facile à contrôler, ce qui permet d'ajuster aisément les caractéristiques du signal optique en fonction des besoins de l'application.

I.2.2.1.2 Les inconvénients de la modulation directe :

Malgré ses nombreux avantages, la modulation directe présente également certains désavantages

- **Bruit de modulation** : La modulation directe peut générer du bruit de modulation, qui peut affecter la qualité du signal transmis.
- **Limites de puissance** : La puissance du signal optique modulé par modulation directe est limitée par la puissance de la source lumineuse.
- **Sensibilité à la température** : Les caractéristiques de la modulation directe peuvent être affectées par les variations de température.
- **Bande passante limitée** : la modulation directe ne convient pas aux applications à haut débit car sa bande passante est limitée. Elle est inadaptée aux réseaux longue distance et à la vidéo haute définition
- **Difficulté de contrôle de la linéarité** : Un contrôle précis de la linéarité est difficile, ce qui affecte la qualité du signal transmis.

I.2.2.2 Modulation externe

La modulation externe est une méthode qui consiste à convertir un signal porteur (une onde haute fréquence de 5 à 10 GHz) en un signal d'information de fréquence plus basse contenant le message à transmettre. Cette technique facilite la transmission de données sur de longues distances ou à travers des canaux de transmission à bande passante limitée. Contrairement à la modulation du courant d'alimentation à l'entrée du laser, la modulation externe consiste à moduler directement le faisceau lumineux en sortie du laser (voir la figure I.7)[14]). Cette approche est plus rapide, ce qui permet d'atteindre des débits de transmission plus élevés[3].

La modulation de ce genre se produit sur une onde pur d'amplitude constante grâce à un élément essentiel qui est le modulateur externe. Le dispositif d'émission se compose d'une diode laser émettant un signal continu,, suivi d'un modulateur externe(modulateur optique) contrôlé par un circuit de commande appelé driver . Ce dernier fixe les niveaux d'une tension modulée $v(t)$, représentative de l'information à transmettre. La tension appliquée au modulateur modifie le facteur de transmission en intensité en sortie. Ainsi,Le laser émet un signal optique continu pur et peu dégradé. mais une fois qu'il traverse le

modulateur, il est modifié par le facteur de transmission, ce qui module le signal de sortie en fonction de $v(t)$ [11].

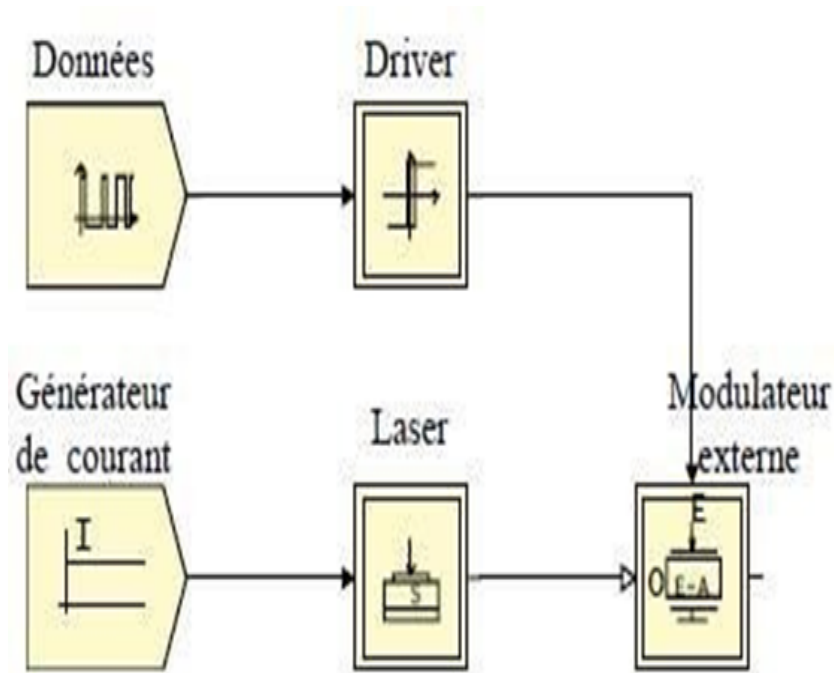


FIGURE I.7 – Synoptique de la modulation externe [11].

La technique OCDMA permet de multiplexer plusieurs utilisateurs sur une seule bande passante optique en utilisant des codes uniques pour chaque utilisateur, assurant ainsi une communication simultanée et robuste

I.2.2.2.1 Le modulateur de Mach-Zehnder (MMZ)

Les modulateurs du type Mach-Zehnder sont des appareils électro-optiques qui sont directement connectés à la sortie du laser, On les retrouve souvent dans les applications de télécommunication à large bande, ils utilisent un signal électrique afin de réguler un signal lumineux [3]. Comme montre dans la figure I.8.

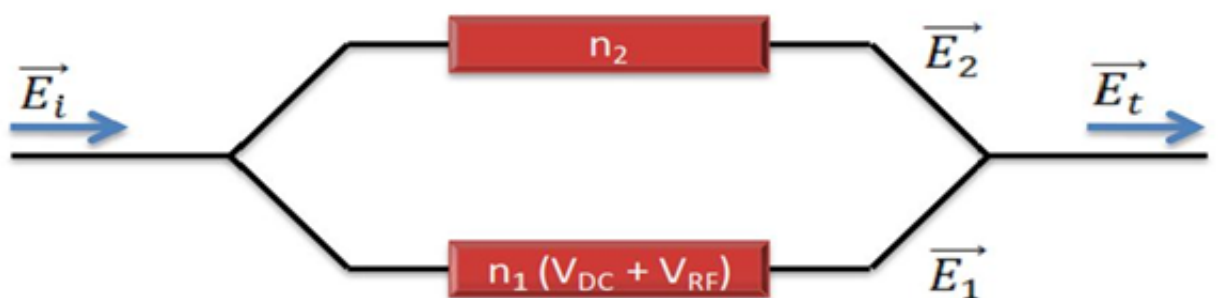


FIGURE I.8 – Le modulateur de Mach-Zehnder[15]

I.2.2.2.1.1 Non-retour à zéro (NRZ)

le codage NRZ (non retour à zéro) est une technique de codage en ligne simple et courante utilisée pour la transmission de données numériques . Autrement dit, le signal binaire garde la même valeur entre deux bits identiques [3](voir la figure I.9).

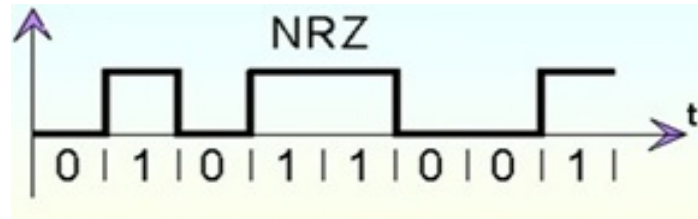


FIGURE I.9 – le codage NRZ (non retour à zéro)[3].

I.2.2.2.1.2 Retour à zéro (RZ)

Le codage RZ (retour à zéro) implique une réduction systématique et quasi instantanée du signal lumineux à zéro entre chaque bit, comme illustré par la figure I.10 ci-dessous. En d'autres termes, on transmet un bit sur une durée T de la manière suivante : le signal prend la valeur 1 pour un bit 1 et la valeur 0 pour un bit 0 pendant un laps de temps t_0 , puis le signal retourne à zéro pendant un laps de temps $T-t_0$. Il est important de noter que t_0 représente la durée pendant laquelle le signal maintient la valeur du bit transmis. Dans le cas particulier où $t_0 = 1/2T$, on utilise une méthode de codage en ligne à deux niveaux, employée dans le domaine des télécommunications afin de transmettre un flux de données numériques aux utilisateurs[3].

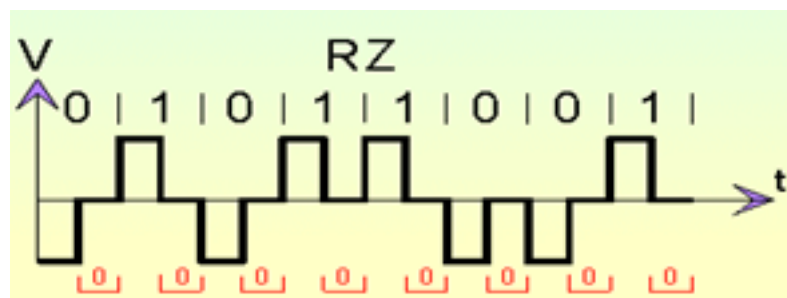


FIGURE I.10 – le codage NRZ (non retour à zéro) [3] .

I.2.2.2.2 Les avantages de la modulation externe

Parmi les nombreux avantages de la modulation externe par rapport à la modulation interne, nous avons sélectionné les plus importants [10] :

— Flexibilité accrue

- Permet de moduler un signal porteur provenant de différentes sources, offrant une grande flexibilité en termes de choix de la technologie de modulation et du type de signal d'information.

- Facilite la mise en œuvre de systèmes modulaires, où les composants de modulation et de génération de porteuse peuvent être indépendants et optimisés séparément.
- **Meilleure performance**
- Permet d'atteindre un meilleur rapport signal sur bruit (SNR) et une plus grande efficacité spectrale, en raison de la séparation des fonctions de modulation et de génération de porteuse.
 - Réduit les distorsions non linéaires, car l'amplificateur de puissance ne traite que le signal porteur non modulé.
- **Simplicité de conception**
- Simplifie la conception du transmetteur, car le circuit de modulation n'a pas besoin de gérer la puissance élevée du signal porteur.
 - Facilite la maintenance et le dépannage, car les composants de modulation et de génération de porteuse sont plus accessibles.
- **Applications**
- La modulation externe est particulièrement adaptée aux systèmes de communication haute performance, tels que les transmissions par satellite, les liaisons micro-ondes et les réseaux optiques.
 - Elle est également utilisée dans les systèmes de radiodiffusion et de télévision, où la qualité du signal est primordiale.

I.3 Fibre optique

La fibre optique joue un rôle crucial dans les infrastructures de communication modernes. Elle offre un avantage significatif par rapport à la transmission analogique en transmettant les données sous forme de particules lumineuses, appelées photons, à travers un câble en fibre optique. Ce câble est constitué d'un fil extrêmement fin en verre ou en plastique qui a la capacité de transporter la lumière. Utilisée pour la transmission de données sur terre et sous les océans, la fibre optique offre un débit d'information bien supérieur à celui des câbles coaxiaux. Elle supporte un réseau large bande permettant la transmission de divers services tels que la télévision, la téléphonie, la visioconférence, les données informatiques, et des applications médicales comme l'endoscopie et la chirurgie au laser. La fibre optique se compose d'un cœur, où la lumière émise par une diode électroluminescente ou une source LASER se propage, et d'une gaine optique dont l'indice de réfraction que le signal lumineux reste dans la fibre[16]. La communication par fibre optique utilise cette technologie comme support de transmission et la lumière comme transporteur.

I.3.1 La constitution de fibre optique

La fibre optique est le moyen de transmission de la lumière dans les systèmes de communication optique. Ce guide d'onde diélectrique de forme cylindrique est principalement composé de silice pure hautement purifiée, dopée ou non. Son indice de réfraction du cœur $n_{cœur}$ est légèrement supérieur à celui de la gaine n_{gaine} . Le diamètre extérieur d'une fibre optique conventionnelle est d'environ $125\ \mu\text{m}$ (pour les fibres conventionnelles) [4]. Conformément aux lois de Snell-Descartes, la fibre optique a la propriété de guider la lumière grâce à la réflexion totale interne qui se produit à l'interface entre les deux matériaux. La lumière subit ainsi des réflexions multiples, lui permettant de se propager sur de longues distances à l'intérieur de la fibre. Finalement, Pour une protection mécanique et pour empêcher la fuite de la lumière, la fibre optique est recouverte d'une seconde gaine appelée gaine protectrice, généralement en plastique voir la figure I.11.

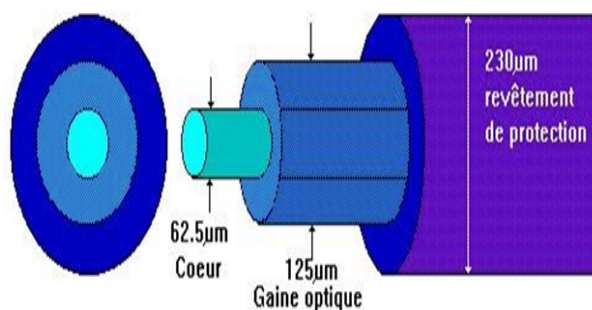


FIGURE I.11 – Structure d'une fibre optique[17].

La fibre optique est généralement fabriquée à partir de silice, un matériau semblable au verre. La silice, de formule chimique SiO_2 , est composée de silicium (Si) et d'oxygène (O). se trouve naturellement dans divers minéraux, comme le quartz. La production d'une fibre optique repose sur l'étirement d'une préforme en verre. Grâce à des techniques complexes, un tube de verre d'un mètre de long et de 10 cm de diamètre peut être étiré jusqu'à atteindre une longueur de 150 km. Le guidage de la lumière dans une fibre optique repose sur le principe de la réflexion totale interne. Lorsqu'un rayon lumineux pénètre dans la fibre à l'une de ses extrémités avec un angle d'incidence supérieur à l'angle critique, il subit des réflexions totales internes à l'interface entre le cœur et la gaine[10] comme illustré sur la figure.



FIGURE I.12 – Le guidage de la lumière dans une fibre optique[10].

I.3.2 Propagation dans la fibre

Ce phénomène permet au rayon de se propager sur de longues distances à l'intérieur de la fibre en suivant un trajet en zigzag, comme illustré sur la figure I.13. Deux conditions essentielles sont nécessaires pour que ce guidage soit possible[18] :

- **Différence d'indice de réfraction :** L'indice de réfraction du cœur n_c doit être strictement supérieur ($n_c > n_g$) à celui de la gaine n_g . Cette différence d'indice permet de confiner la lumière à l'intérieur du cœur par le biais de la réflexion totale interne.
- **Angle d'injection :** L'angle d'injection du rayon lumineux dans la fibre doit être inférieur à l'angle d'acceptance (θ_a) par rapport à l'axe de la fibre. Cet angle d'acceptance est défini par l'ouverture numérique (ON) de la fibre, qui représente la capacité de la fibre à capter et à guider les rayons lumineux selon différents angles d'incidence.

$$ON = \sin(\theta_{acc}) = \sqrt{(n_c^2 - n_g^2)} \tag{I.1}$$

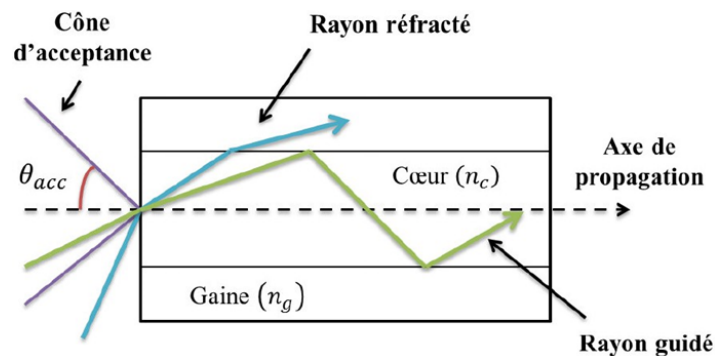


FIGURE I.13 – Principe de guidage de la lumière par réflexion totale interne [18] .

Il est important de noter que l'ouverture numérique (ON) est liée au cône d'acceptation, défini par l'angle θ_{acc} I.13. Cet angle représente la limite en dessous de laquelle l'onde optique est guidée, la propagation se faisant par réflexions totales successives à l'interface cœur-gaine. En dehors de cet angle, certains rayons se réfractent dans la gaine, ce qui peut entraîner l'atténuation voire la disparition totale du signal I.13. La fibre optique à saut d'indice se caractérise également par Δ , qui représente la différence d'indice normalisée, c'est-à-dire la variation d'indice entre le cœur et la gaine[10].

$$\Delta = \frac{n_c^2 - n_g^2}{2n_c} \approx \frac{(n_c - n_g)}{n_c} \tag{I.2}$$

Où n_c est l'indice de réfraction du cœur et n_g celui de la gaine[10].

I.3.3 Différents types de fibre optique

Un élément central dans le domaine des télécommunications est la fibre optique, qui se divise en deux types : la fibre multimode et la fibre monomode. Ces fibres se distinguent par la taille de leur cœur, avec un diamètre de 50 μm pour la fibre multimode et de 10 μm pour la fibre monomode. Elles diffèrent également par la variation de l'indice de réfraction entre le cœur et la gaine[19][20].

I.3.3.1 Fibre monomode

Les fibres optiques monomodes sont utilisées dans les systèmes de transmission à longue distance pour confiner la lumière dans un mode unique. Le diamètre du cœur de ces fibres varie de 8,3 à 10 micromètres, tandis que celui de la gaine est de 125 micromètres (voir la figure I.14). En revanche, les fibres multimodes ont un cœur plus large, dont le diamètre peut varier de 50 à 200 micromètres. L'équation de Schrödinger non linéaire (*NLSE*) décrit la propagation d'une onde dans une fibre optique [21]. Grâce à elle, il est possible de représenter les dégradations dans les systèmes optiques à longue distance, ce qui permet qu'un seul rayon lumineux se propage selon un seul mode.

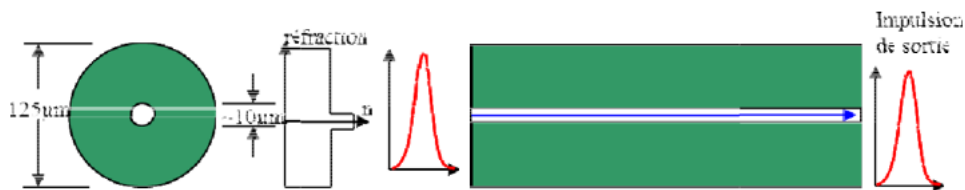


FIGURE I.14 – Structure d'une fibre monomode[22].

I.3.3.2 Fibre multimode

Un faisceau lumineux pénètre dans le cœur de la fibre optique. Ce type de fibre optique présente un cœur d'un diamètre plus grand, avec une région centrale homogène mesurant 50 ou 62,5 μm de diamètre. La lumière se propage dans le cœur de différentes manières, entrant par une extrémité et se déplaçant longitudinalement jusqu'à l'autre extrémité grâce aux réflexions totales internes dues à la différence des indices de réfraction entre le cœur et la gaine. Ces réflexions se divisent en deux catégories [23].

I.3.3.2.1 La fibre multimode à saut d'indice Les rayons de même longueur d'onde se propagent dans une fibre à saut d'indice en suivant des chemins différents, comme illustré dans la figure I.15, mais avec une vitesse constante $v = \frac{c}{n_1}$. Ainsi, les rayons arrivent à destination à des moments différents en fonction des chemins parcourus, ce qui correspond aux différents modes de propagation. En conséquence, la lumière se propage dans le cœur selon des chemins droits ou des sauts d'indice, entraînant une forte dispersion du

signal lumineux. Cette dispersion est due à la diversité des modes de propagation, ce qui provoque une distorsion de l'impulsion à l'extrémité de la fibre[15].

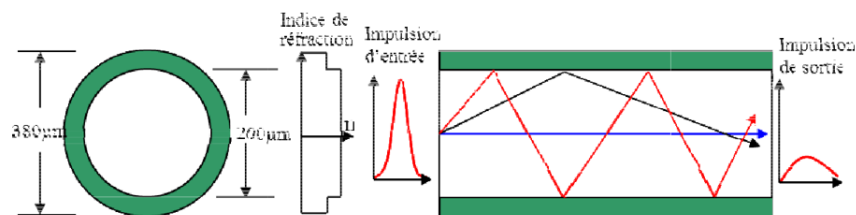


FIGURE I.15 – Structure d'une fibre multimode à saut d'indice[22].

I.3.3.2 Fibre multimode à gradient d'indice Les fibres optiques à gradient d'indice ont été conçues pour réduire la dispersion modale tout en augmentant la bande passante. Dans ce type de fibre, l'indice de réfraction varie progressivement, mais diminue progressivement du centre de la section du cœur jusqu'à la limite de la surface de séparation entre le cœur et la gaine. La trajectoire des rayons lumineux est sinusoidale, comme illustré dans la figure I.16. Cette fibre permet une capacité de transmission supérieure à celle des fibres à saut d'indice, car les rayons lumineux parcourent une distance plus courte[23].

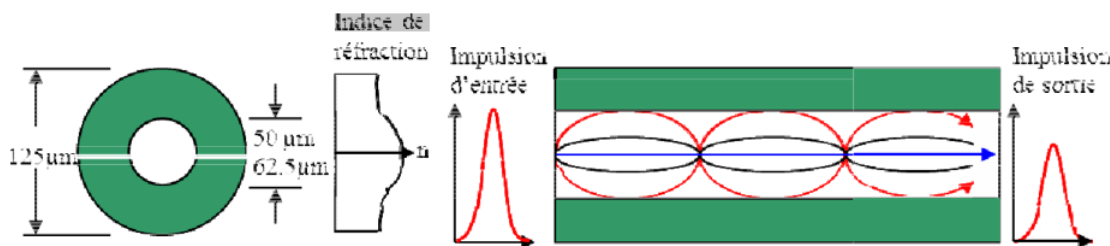


FIGURE I.16 – Structure d'une fibre multimode à gradient d'indice[22].

I.3.4 La différence entre la fibre optique monomode et la fibre multimode

La classification des fibres optiques repose sur leur structure interne ainsi que sur le nombre de rayons lumineux qu'elles peuvent transmettre simultanément. Il existe deux types principaux : les fibres monomodes (SMF) fonctionnent sur le principe de la transmission (la propagation) d'un seul rayon à l'intérieur du cœur de la fibre. Cette conception permet aux signaux d'être envoyés sur de plus longues distances avec moins de dispersion du signal . par contre , les fibres multimodes (MMF) possèdent plusieurs rayons lumineux (modes) qui peuvent voyager ensemble dans le cœur, ce qui les rend plus appropriées pour les courtes distances. Le tableau I.1 compare les caractéristiques de ces deux types.

Fibre	Monomode	Multimode
Diamètre du coeur	Très fin (typiquement 8-10µm)	Relativement plus grand
Atténuation	Faible	Plus élevée
Dispersion modale	Faible	élevée
Diamètre de gain	Plus grand (Typiquement 125µm)	Plus grand (Typiquement 50-125µm)
Mode de propagation	Un seul mode de propagation	Plusieurs modes de propagation
Prix	Très élevé	Bas prix
Distance de transmission	Longue portée	Portée plus limitée

TABLE I.1 – Caractéristiques générales des fibres monomodes et multimodes [24].

I.3.5 caractéristiques de la fibre optique

I.3.5.1 L'atténuation

L'atténuation est un phénomène physique influençant la transmission des signaux lumineux dans les fibres optiques. Elle est importante pour déterminer la distance maximale entre un émetteur et un récepteur. Ce phénomène représente la diminution de puissance du signal lumineux au fur et à mesure qu'il traverse la fibre. L'atténuation varie selon la longueur d'onde et dépend principalement du type de fibre utilisé (voir la figure I.17). Elle est définie comme le rapport entre la puissance optique injectée dans la fibre et la puissance reçue, et elle est généralement exprimée en décibels par kilomètre (dB/km)[25].

$$\alpha \left(\frac{dB}{km} \right) = 10 \log \frac{p_e}{p_s} \tag{I.3}$$

α : l'atténuation

p_e = la puissance lumineuse à l'entrée

p_s = la puissance lumineuse à la sortie

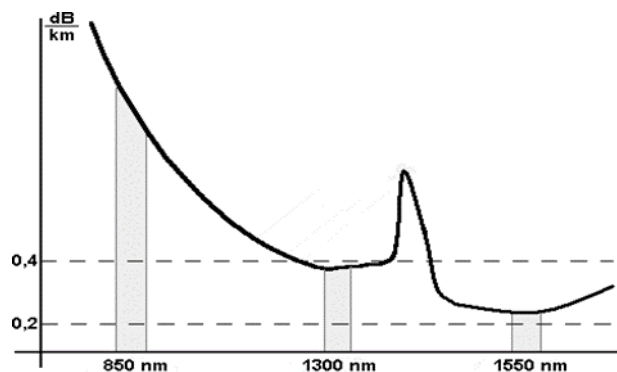


FIGURE I.17 – Courbe schématique de la perte d'atténuation dans une fibre en fonction de la longueur d'onde [15].

Il existe trois principales fenêtres de longueurs d'onde utilisées dans les fibres optiques comme illustré dans la figure I.17[26] :

- **La région des 800 nm** : Cette fenêtre a été la première à être utilisée et présente un taux d'atténuation de $2,5 \text{ dB/km}$.
- **La région des 1330 nm** : Cette fenêtre a une largeur de bande d'environ 50 nm et une atténuation de $0,7 \text{ dB/km}$. Elle est souvent utilisée pour les systèmes de télécommunication sur courtes distances.
- **La région des 1550 nm** : Cette fenêtre a une largeur de bande d'environ 100 nm et une atténuation très faible de $0,2 \text{ dB/km}$. Elle est donc particulièrement adaptée aux applications de transmission sur longues distances.

Ces trois fenêtres sont séparées par des pics d'absorption des ions hydroxyde (OH^-) présents dans les molécules d'eau utilisées lors de la fabrication des fibres optiques. Les fibres peuvent être utilisées de manière optimale dans les deux fenêtres d'atténuation minimale, soit à 1300 nm et 1550 nm[27].

I.3.5.2 Dispersion

Dans le monde des télécommunications par fibre optique, les signaux ne sont pas de simples ondes monochromatiques, mais plutôt des impulsions composées de différentes longueurs d'onde (fréquences). Ces composantes spectrales, chacune se propageant à une vitesse légèrement différente dans la fibre, se déphasent les unes par rapport aux autres. Ce phénomène, appelé dispersion, entraîne un élargissement des impulsions au fil de la transmission, ce qui limite la capacité de la fibre à transporter des données à haut débit. Pour pallier ce problème, il est nécessaire d'espacer davantage les impulsions, réduisant ainsi le débit maximal possible[28].(voire la figure I.18).

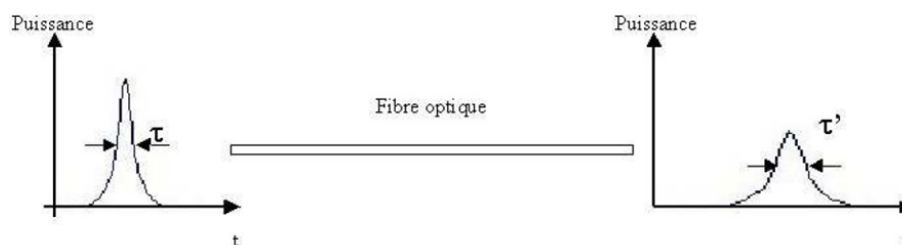


FIGURE I.18 – Phénomène de dispersion[29].

Il existe plusieurs types de dispersion, contribuant tous à l'étalement de l'impulsion au cours de sa propagation dans la fibre

I.3.5.2.1 La dispersion chromatique

La dispersion chromatique est un phénomène qui survient dans les transmissions optiques. Elle est causée par la variation de la vitesse de propagation des différentes composantes spectrales du signal lumineux. Chaque impulsion lumineuse contient en effet un ensemble de longueurs d'onde qui se déplacent à des vitesses différentes, en raison de la dépendance de l'indice de réfraction du milieu de propagation par rapport à la longueur d'onde. La dispersion chromatique résulte de deux effets distincts : la dispersion intrinsèque du matériau constituant le milieu de propagation, et la dispersion liée à la structure du guide d'onde. Cette dernière est due à l'évolution de la constante de propagation des modes en fonction de la fréquence optique de la porteuse du signal [30]. La dispersion chromatique limite la distance sur laquelle un signal peut être transmis sans nécessiter de régénération électronique. Cette distance maximale, appelée "limite de dispersion", est donnée par la relation suivante :

$$LD \approx \frac{1}{2 * B * \Delta\lambda} \quad (I.4)$$

Où B représente le débit de transmission.

D représente le coefficient de dispersion chromatique du matériau.

$\Delta\lambda$ représente la largeur spectrale de la source lumineuse.

Par conséquent, la dispersion chromatique constitue une limitation majeure pour le débit des liaisons optiques. En plus de ce phénomène, il existe également une autre forme de dispersion, appelée dispersion de polarisation (ou *PMD* pour Polarisation Mode Dispersion) qui peut perturber la propagation des signaux dans les fibres optiques .

I.3.5.2.2 La dispersion modale

La dispersion de polarisation (également connue sous le nom de dispersion des modes de polarisation ou *PMD*) est un type de dispersion modal qui se produit lorsque deux modes de polarisation orthogonaux d'un même signal lumineux se propagent à des vitesses différentes dans la fibre optique. Cela est dû à la biréfringence du matériau constituant la fibre, qui induit une anisotropie de l'indice de réfraction. Ce phénomène de *PMD* entraîne un élargissement temporel des impulsions lumineuses transmises. Cependant, dans les systèmes de transmission optique fonctionnant à des débits inférieurs à 10Gbit/s , la *PMD* peut généralement être négligée. En effet, les fibres optiques utilisées dans les télécommunications présentent une *PMD* très faible, typiquement inférieure à P_s/Km . Néanmoins, lorsque le débit augmente, la *PMD* devient un facteur limitant plus important. Elle se traduit par une gigue temporelle qui dégrade les performances du récepteur optique, d'autant plus que le débit est élevé [10]. Ainsi, la *PMD* constitue une contrainte

à prendre en compte dans la conception des systèmes de transmission haut débit sur fibre optique.

I.3.5.3 La bande passante

La bande passante d'une fibre optique est une mesure de sa capacité à transporter des informations. Elle est exprimée en gigahertz (GHz) et correspond à la quantité maximale de données qui peut être transmise en même temps sur la fibre. Au fur et à mesure que la bande passante augmente, la fibre peut transporter des données plus rapidement.

Plusieurs facteurs influencent la bande passante d'une fibre optique, dont

- La bande passante des fibres monomodes est généralement plus élevée que celle des fibres multimodes..
- Un cœur plus grand permet de transmettre plus de lumière, ce qui entraîne une augmentation de la bande passante.
- La bande passante peut être influencée par la longueur d'onde du signal lumineux, car différentes longueurs d'onde ont des propriétés de propagation différentes dans la fibre.
- La qualité de la fibre peut être affectée par des impuretés et des défauts qui peuvent diminuer la bande passante.

On distingue deux types de bande passante pour les fibres optiques

- La bande passante modale représente la bande passante maximale d'un seul mode de propagation dans la fibre optique.
- La bande passante totale correspond à l'ensemble des modes de propagation dans la fibre. En général, la bande passante totale est plus étendue que la bande passante modale, mais elle est aussi plus susceptible de se disperser.

I.3.6 les amplificateurs

Dans les systèmes de transmission par fibre optique, les signaux lumineux s'affaiblissent au cours de leur propagation dans la fibre. La distance maximale que peut parcourir un signal sur une fibre optique est limitée par deux phénomènes principaux : l'atténuation et la dispersion. L'atténuation est causée par l'absorption et la diffusion de la lumière par la fibre elle-même et par les différents composants optiques qu'elle traverse. Lorsque la distance parcourue devient trop importante, l'atténuation cumulée affaiblit considérablement le signal, le rendant indétectable. Pour remédier à cela et amplifier le signal avant qu'il ne s'affaiblisse excessivement, on utilise généralement un amplificateur de puissance optique qui permet d'injecter dans la fibre une puissance lumineuse suffisante pour maintenir la qualité du signal sur de longues distances.

Dans les systèmes de transmission optique, on distingue généralement trois types d'amplificateurs, comme illustré dans la figure I.19 [4] :

- Le post-amplificateur, également appelé amplificateur de puissance (booster amplifié) : Cet amplificateur est utilisé uniquement dans les systèmes à canal unique. Il se situe au début de la chaîne de transmission, juste après le module d'émission. Son rôle est d'amplifier le signal émis afin de permettre sa transmission sur de longues distances. Il se caractérise par des puissances de sortie très élevées, assurant ainsi un niveau de signal élevé en début de transmission.
- L'amplificateur en ligne est un élément situé directement sur la ligne de transmission. Son rôle est d'amplifier le signal après qu'il ait parcouru une certaine distance, permettant ainsi au signal de poursuivre sa propagation sur une nouvelle distance. Généralement installés tous les 20 kilomètres, il doit présenter un faible facteur de bruit et un gain important.
- Le préamplificateur est placé à l'extrémité de la chaîne de transmission, juste avant le module de réception. Son rôle est de s'assurer que le signal atteigne le récepteur avec une puissance suffisante pour être correctement détecté. Il doit amplifier le signal utile, qui a accumulé beaucoup de bruit et subi une forte atténuation. Par conséquent, son facteur de bruit doit être le plus faible possible.

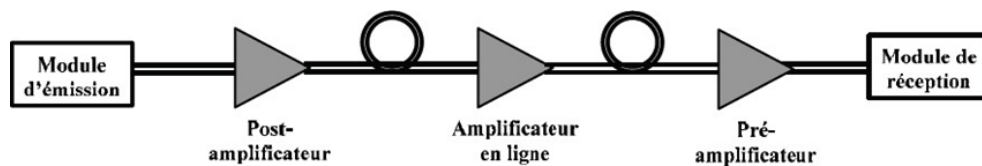


FIGURE I.19 – Types des amplificateurs selon la position dans la chaîne de transmission[10].

I.4 Le récepteur

Dans les systèmes de communication optique, le récepteur a pour rôle de convertir le signal optique en signal électrique, tout en minimisant le bruit et la distorsion. Il se compose principalement de trois parties comme illustré dans la figure ci-dessous I.20)[31] :

- La structure du "premier étage" est composée de photodétecteur, qui convertit le signal optique en un photocourant électrique. Afin de compenser la faiblesse du signal optique reçu ou la faible sensibilité du photodétecteur, un préamplificateur peut être associé à cette étape.
- Un bloc "linéaire" comprenant un amplificateur électrique à fort gain et un filtre réducteur de bruit, permettant de conditionner le signal électrique.
- Le dernier étage "récupération des données", composé d'un circuit de prise de décision

et d'un circuit de récupération de rythme. Cela garantit une qualité optimale de l'information transmise[28], en assurant la synchronisation du signal.

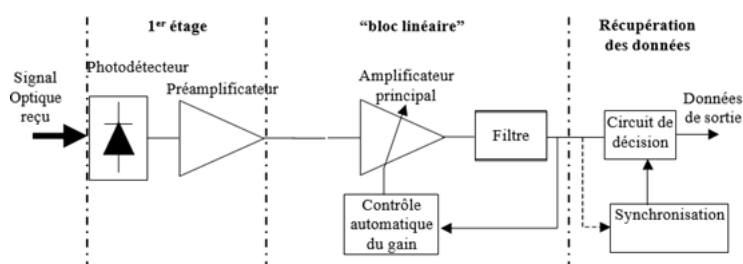


FIGURE I.20 – Schéma d'un récepteur de données à détection directe[31].

I.4.1 Photo Détecteur

Les détecteurs de lumière, également connus sous le nom de photodétecteurs, sont des dispositifs à la base de matériaux semi-conducteurs qui fonctionnent en convertissant une puissance lumineuse en un signal électrique [32]. Il est nécessaire que celui-ci soit le plus élevé possible afin d'obtenir un flux optique aussi bas que possible. Ce photodétecteur doit être très rapide lorsqu'il s'agit de transmettre des informations rapides ou très rapides. Selon ces éléments fondamentaux, il est nécessaire d'atteindre un certain nombre de performances afin de répondre aux exigences de l'application envisagée [33]. On distingue généralement deux types principaux de photo détecteurs : les photodiodes PIN et les photodiodes à avalanche (APD). Certains détecteurs optiques sont présentés dans la figure I.21.



FIGURE I.21 – Photo-détecteurs[33].

I.4.1.1 Principe de la photo-détection

Lorsque rayonnement lumineux (photons) frappe un matériau détecteur (semi-conducteur) transmis par la fibre, ils se transforment immédiatement en électrons grâce au photodétecteur. Les propriétés photosensibles des matériaux semi-conducteurs sont essentielles pour permettre la libération ou l'éjection de ces électrons. Ainsi, ces photons peuvent induire le déplacement des électrons de la bande de valence vers un niveau supérieur dans la bande de conduction.

Le principe essentiel du photo-détecteur consiste à créer des paires électron-trou sous l'action de la lumière, ce qui entraîne la production d'un courant électrique [34].

I.4.1.2 Caractéristique d'une photo-détection

Dans cette partie, nous nous intéresserons aux deux types de photodétecteurs les plus couramment utilisés : les photodiodes PIN et les photodiodes à avalanche (PDA).

I.4.1.2.1 La photodiode PIN

La photodiode PIN (Positive Intrinsic Negative) est la plus courante parmi les photodiodes classiques. Elle est basée sur le principe de jonction PN. On peut l'utiliser pour mesurer la fluorescence. Il est composé de trois zones distinctes : une zone non dopée à forte résistivité appelée zone intrinsèque (zone d'absorption), située entre deux zones dopées, respectivement N et P comme illustré dans la figure I.22.

— Principe de Fonctionnement

La photodétection consiste à réduire les phénomènes de recombinaison des paires électrons-trous générées lors de l'absorption des photons. Cela se produit dans une zone dépourvue de porteurs mobiles, assimilable à la zone de charge d'espace d'une jonction PN, également appelée zone de déplétion. Pour optimiser le rendement quantique du processus, il est essentiel que cette zone de déplétion soit suffisamment large. C'est pourquoi la photodiode PIN est particulièrement intéressante dans ce contexte. En effet, la majorité des photons sont absorbés dans la zone intrinsèque de ce type de jonction, où le champ électrique généré par la polarisation sépare efficacement les porteurs de charge. De plus, la zone traversée par la lumière (côté P ou N) doit être de faible épaisseur, et recouverte d'une couche antireflet. Cela protège le matériau semi-conducteur et améliore le rendement quantique externe du photodétecteur [35].

Deux facteurs restreignent l'utilisation de la photodiode PIN : la capacité de liaison et le temps de réponse lors de l'absorption de photons. Quand une diode PIN est correctement élaborée et légèrement polarisée, elle est capable de convertir presque intégralement le courant de photons.

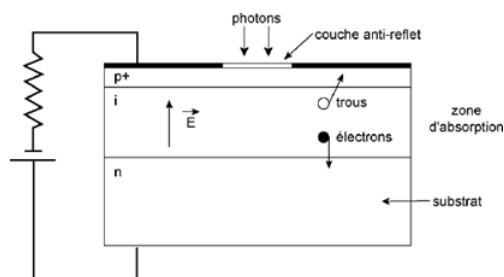


FIGURE I.22 – Structure d'une photodiode PIN [36].

I.4.1.2.2 La photodiode APD à avalanche

Le détecteur à semi-conducteur photodiode à avalanche utilise l'effet photoélectrique pour convertir la lumière en électricité, en utilisant des conditions de polarisation inverse où la jonction PN est élève. En présence d'un signal optique très faible, les APD sont fréquemment utilisées.

I.4.1.2.2.1 Principe de fonctionnement

Par ailleurs, le processus de multiplication des porteurs de charge se produit dans la jonction abrupte PN⁺. Lorsque la tension inverse appliquée est élevée, la zone de charge d'espace s'étend dans la zone π (zone large et peu dopée), entraînant une augmentation progressive de la résistivité en fonction de la tension. Un effet stabilisateur est introduit par ce principe : le champ électrique et le gain augmentent progressivement, ce dernier peut atteindre des valeurs élevées tout en étant commandé avec précision, ce qui facilite l'évitement du claquage[36](voire la figureI.23).

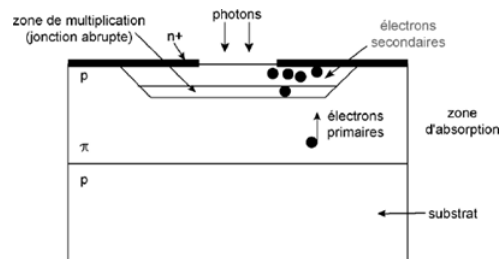


FIGURE I.23 – Structure d'une photodiode à avalanche PDA[36].

I.4.1.2.3 La différence entre la photodiode PIN et PDA

Bien que la photodiode PIN et la photodiode à avalanche (PDA) soient toutes deux des photodétecteurs, elles présentent des différences notables en termes de performances et d'utilisation. D'un côté, la photodiode PIN offre certains avantages. Elle est généralement plus stable dans son fonctionnement et nécessite une tension de polarisation inverse plus faible. De plus, elle est généralement plus simple à utiliser que la PDA. D'un autre côté, la PDA est souvent considérée comme une amélioration de la photodiode PIN. En effet, elle permet de détecter des puissances optiques incidentes plus faibles grâce à son gain, qui peut être de 10 à 1000 fois supérieur à celui de la photodiode PIN. Ainsi, le choix entre une photodiode PIN ou une PDA dépendra des exigences spécifiques de l'application, en termes de stabilité, de tension d'alimentation et de sensibilité requise. La PDA offre de meilleures performances de détection, mais nécessite une conception et un contrôle plus complexes.

I.4.2 Les préamplificateurs

Les systèmes de transmission optique sont confrontés à la problématique de la sensibilité du récepteur. En effet, le signal optique reçu doit impérativement dépasser un certain seuil de puissance pour permettre une démodulation réussie des données transmises. Sans compensations des pertes subies par le signal lors de sa propagation dans la fibre optique, la portée maximale de transmission d'un tel système serait limitée à quelques centaines de kilomètres. Au-delà de cette distance, le signal serait trop atténué pour être correctement détecté et décodé par le récepteur. Pour pallier à cette limitation, des amplificateurs optiques doivent être installés de manière régulière tout au long de la ligne de transmission. Ces amplificateurs ont pour rôle de redonner de l'énergie au signal optique, afin qu'il puisse être détecté de façon optimale par le récepteur, et ce même sur de très longues distances.

I.4.3 Circuit de filtrage

le signal émis par la photodiode est généralement accompagné de bruit. Pour réduire ce bruit, il est essentiel de filtrer le signal numérique dans une bande de fréquences $[0 - \Delta F]$ la plus étroite possible[12]. Selon le critère de Nyquist[30], un filtre passe-bas rectangulaire théorique de largeur $\Delta F = \frac{F_r}{2}$ (où F_r est la fréquence d'horloge du signal) posséderait cette propriété(voir la figure I.24). Cependant, ce filtre théorique n'est pas réalisable en pratique.

De plus, le critère de Nyquist s'applique à des impulsions de Dirac, et non aux impulsions au format NRZ utilisées dans les systèmes de communication.

En pratique, on utilise donc un filtre de Nyquist, dont la largeur de bande de bruit vaut approximativement $\Delta F = 0.8F_r$ dans les conditions habituelles. Ce filtre permet de réduire efficacement le bruit tout en préservant les caractéristiques du signal numérique transmis.

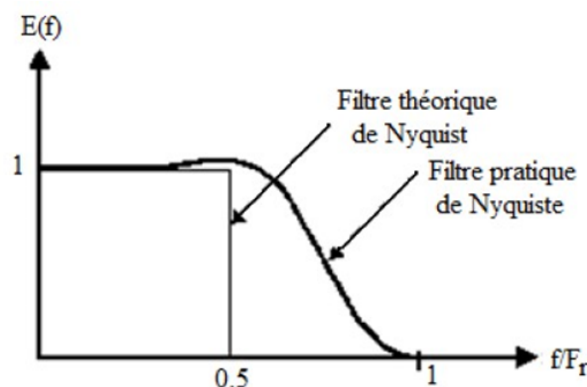


FIGURE I.24 – Réponses fréquentielles du filtre théorique et pratique de Nyquist[12]

I.4.4 Circuit de décision

Pour assurer une qualité d'information optimale, le signal capté est converti numériquement dans le bloc de décision. Ce bloc comprend principalement un détecteur à seuil et un circuit de récupération de rythme (ou de synchronisation). Leur rôle est de comparer l'amplitude du signal de données à un seuil prédéterminé, puis de déterminer la valeur binaire correspondante (0 ou 1) à chaque front d'horloge[12].

Le choix du seuil de détection est crucial, il ne doit pas être trop élevé, pour ne pas ignorer les impulsions atténuées provenant d'une fibre optique affaiblie, ni trop bas, ce qui rendrait difficile la distinction entre le signal et le bruit aléatoire[28].

I.5 Conclusion

Les techniques de transmission ont connu des évolutions constantes dans le but de transmettre les données et d'améliorer les services rendus aux utilisateurs. La fibre optique s'est imposée comme le support de transmission offrant le meilleur rapport qualité-prix pour les opérateurs de télécommunications. L'objectif de ce chapitre est l'étude des transmissions optiques des télécommunications. Nous nous avons particulièrement intéressé à la manière dont les signaux lumineux sont émis, transmis, régénérés et détectés avec une description détaillée de tous les composants et nous avons vu aussi en détails les trois blocs d'une chaîne de transmission optique, un émetteur, un récepteur et un canal de transmission fibre optique, ce dernier qui possède de nombreuses propriétés pour l'acheminement de grandes quantités d'informations sur de longues distances.

Dans la description de la partie émission, nous avons décrit en détail le principe d'un émetteur optique, en introduisant également les sources lasers principalement utilisées. . . Enfin, dans la partie de réception, nous avons montré le photorécepteur composé du module de réception et du photodétecteur. Les caractéristiques de la photodétection sont également passées en revue avec deux exemples de photodétecteurs précités.

Bibliographie

- [1] J.YASMINE,"caratérisation du contenu modal et de l'amplification dans les fibres optiques légèrement,"thèse de Doctorat, UNIVERSIT2 DE LILLE,2019.
- [2] A. Samia, "MODELISATION D'UN PHOTODETECTEUR DANS UNE CHAINE DE TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE Application Aux Composants Optohyperfréquences.," Thèse de Magistère ,En Electronique, UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE FACULTE.
- [3] K. M. Yasser, KHATER, "Technique OCDMA : Applications dans les réseaux de communications optique," 2020.
- [4] P. Lecoy," Télécoms sur fibres optiques ", ©LAVOISIER, 11 rue Lavoisier 75008 Paris, Vol.366, 2008, ISBN 3e édition 978-7462-1844-4.
- [5] Y.Deshayes, "Caractérisations électro-optiques et simulations thermomécaniques."Thèse de Doctorat en Electronique, Université de Bordeaux 1, France, 2002.
- [6] H.BRAHIMI."etude en bruit de systèmes optique hyperfréquences Modélisation,caractérisation et application à la métrologie en bruit de phase et à la génération de fréquence,"thèse de Doctorat en Microondes,Electromagnétisme et optoélectronique Université Paul Sabatier,Toulouse III,2010.
- [7] H.KHALEGHI- Influence des amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA) sur la transmission cohérente de signaux optiques à format de modulation multiporteuses (CO-OFDM)- Thèse de Doctorat- Université de Bretagne Occidentale-2012.
- [8] M. Arumugam, "Optical fiber communication -An overview," PRAMANA c Indian Acad. Sci., vol. 57, pp. 849-869, 2001.
- [9] Y. Tremblay, "Effets du bruit modal sur les performances d'un lien de communication numérique par fibres optiques," Doctorat, Ottawa, Ontario, Canada, 1981.
- [10] W. BERROUANE, "Etude de conception d ' une chaine de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur du type III-Nitrures,"thèse de Doctorat en Electronique,Université de Djillali Liabes, Sidi Bel Abbes,2018.

- [11] J. Verneuil, "Télécommunications Hautes Fréquences et Optiques Simulation des systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 G bits /s," Thèse de doctorat en Télécommunications, Université de Limoges, France, 2003.
- [12] F.MEDJDOUB , Optimisation par la simulation système d'une chaîne de transmission numérique par fibre optique haut débit, Diplôme de Magister en télécommunication, Université Abou-BekrBelkaid, Tlemcen, 2010.
- [13] D. Seynabou, "Transmissions radio haut débit multiservices sur fibres optiques - Application à l'optimisation de la capacité utilisateurs en emprises de transport," p. 168, 2012.
- [14] J. M. Hutchinson et al. Optoelectronic wavelength conversion for high-speed optical networks, Intel technology journal 8(2004) 161-171.
- [15] S. Mohamed and R. Sofiane, "Canal de transmission optique : étude des éléments de la chaîne de transmission et de leurs bruits respectifs," 2014.
- [16] M.Khalil - étude d'un système bas coût de transmission optique par multiplexage temporel- Thèse de Doctorat- Université Grenoble- 2009.
- [17] I.El Mansouri, "sources impulsionsnelles picosecondes tout optique à très haut débit : application aux télécommunication optique," thèse de Doctorat en Télécommunication, Université de Bourgogne, France, 2013.
- [18] S. Benameur and S. Benameur, "La mise en œuvre , dans une chaîne de transmission optique , à haut débit , de filtres optiques à longueur d ' onde centrale réglable To cite this version : HAL Id : tel-01272120 Thèse de doctorat optique , à haut débit , de filtres optiques à longueur d ," 2016.
- [19] M.FICHET , Introduction aux fibres optiques, Association pour la Diffusion de la Connaissance Scientifique, 1996.
- [20] C.BOISROBERT, Z. TOFFANO, Cours de DESS et DEA d'Optique et Optoélectronique, Université de Nantes, 2001.
- [21] T.R. Taha, M.J Ablowitz, Analytical and numerical aspects of certain nonlinear evolution equations. II. Numerical, nonlinear Schrödinger equation. Journal of Computational Physics. 55(2), 203-230. 1984. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(84\)90003-2](https://doi.org/10.1016/0021-9991(84)90003-2).
- [22] D. Seynabou, "Transmissions radio haut débit multiservices sur fibres optiques - Application à l'optimisation de la capacité utilisateurs en emprises de transport," pp. 168-169, 2012.
- [23] G.ASSIA, 'Optimisation du courlage optoque par modification des bouts des fibres optques' Thèse de Doctorat, Université FARHAT ABBAS -Stif1 INSTITUT, 2013.
- [24] B.Boulila , S.Daouche .Etude Des Diffèrent Multiplexage Dans Les Liaisons Par Fibre Optique .Mémoire DE Master Université Saad Dahlab De Belida.2012.

- [25] M. LEFRANÇOIS, "Étude De Technologies Avancées Pour Transmission Optique Multiplexés En Longueur D'Onde Au Débit de 40 Gbit/ S, "Thèse De Doctorat, En Electronique, Université Paris-Sud,2007
- [26] M.Ghoumazi , " optimisation des performances d'une fibre optique dopé e à l'erbium ", Mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine, 2009.
- [27] M. Gay, "Etude théorique et expérimentale de l'impact de la régénération 2R dans un système de transmission optique haut débit," Thèse de Doctorat, En physique,l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, 2006.
- [28] S. Dellier « Contributions à la conception des circuits micro-ondes» Thèse de doctorat Université de LIMOGES 2005.
- [29] R.SAIDI , "ETUDE D'UNE STRUCTURE DE LIAISON PAR FIBRE OPTIQUE :CARACTERISATION DE LA PROPAGATION ET BILAN ENERGÉTIQUE " ,thèse de Magister En Electronique, Université de biskra,2010.
- [30] Q. Gianandrea, Contribution à l'étude de liaisons optiques analogiques pour la distribution de signaux de référence en gammes RF et micro-ondes. Micro et nanotechnologie/Microélectronique. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2004.
- [31] D. MESTDAGH , Fundamentals of Multiaccess Optical Fiber Networks, Artech House Publishers, 1995, pp. 99-120.
- [32] G. Leilla , « Application et Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à très haut débit ” Thèse de Doctorat en Electronique , Université Badji Mokhtar,Annaba,2017.
- [33] J. VERNEUIL « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s», thèse de doctorat Université de Limoges 2003.
- [34] V. Girondin, " Etude et modélisation d'un modulateur à électro-absorption pour applications de transmission radio sur fibre de signaux ULB aux fréquences centimétriques - Simulation système et caractérisation d'une liaison radio sur fibre à modulation externe," Thèse de Doctorat En Electronique, Université Pierre et Marie Curie, Paris,2016.
- [35] Y. ZOUINE , Contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants opto-électroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA , Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2005.
- [36] Sugianto Trisno ,« Design and Analysis of Advanced Free Space Optical Communication Systems», Thèse de doctorat, Université de Maryland. Washington, D.C. USA. 2006.
- [37] Irène et Michel, Les Télécommunications par fibres optiques, Collection Technique et Scientifique des Télécommunications, Paris : Dunod et CNET-ENST, 1996.

[38] Zeno, Toffano, " Optoélectronique, Composant photoniques et fibres optiques ",
©Ellipses édition marketing S.A, 32 rue Bargue 75740 Paris cedex 15, Vol.316,
2001, ISBN 2 -7298-0703-9.

Chapitre II

Encodage de l'amplitude spectrale d'un système OCDMA

II.1 Introduction

En raison de l'évolution rapide des nouvelles technologies de l'information, on observe une augmentation significative du trafic de données transporté par les réseaux de communication. Les opérateurs de télécommunications ont été incités à concevoir des systèmes de télécommunications à haut débit et à une capacité de multiplexage élevée. Ces nouveaux réseaux doivent être capables de fournir une variété de services, tout en assurant un débit élevé et fluide, ainsi qu'une qualité de service optimale[1].

Parmi les différentes techniques développées pour les systèmes OCDMA, le codage spectral d'amplitude (SAC) est particulièrement intéressant en raison de sa capacité à diminuer les effets d'interférences d'accès multiple (IAM), de sa simplicité et de son coût de mise en œuvre abordable[2]. La mise en place de la fibre optique dans les systèmes de communication a représenté une avancée significative afin de satisfaire la demande croissante en termes de débit d'information des abonnés. Les réseaux passifs optiques (PON) répondent parfaitement à cette exigence en proposant une bande passante adéquate.

Au cours de ce chapitre, nous abordons d'abord les différentes techniques d'accès multiples utilisées dans les systèmes de télécommunications. Ensuite, nous nous concentrons sur les techniques d'accès multiples spécifiques aux communications optiques. Enfin, nous examinons la technique OCDMA (principe de fonctionnement, catégorisation des systèmes OCDMA et architecture de l'OCDMA).

II.2 les techniques d'accès multiple

En réponse à l'augmentation constante du trafic d'information sur les réseaux de communication et dans le cadre des efforts de recherche, diverses méthodes sont mises en

place pour assurer aux clients des services à haut débit tout en optimisant l'utilisation des ressources fréquentielles[3][4]. Pour relever ce défi, la capacité des réseaux en nombre d'utilisateurs est considérablement augmentée. Ainsi, plusieurs techniques d'accès multiple ont été développées[5]. Ces techniques de multiplexage consistent à assembler plusieurs informations et à les transmettre à travers un seul support de transmission, ce qui permet de partager efficacement ces informations entre différents utilisateurs (le réseau téléphonique en est un exemple). La mise en œuvre de ces méthodes doit être accomplie sans générer d'interférences nuisibles aux performances des systèmes[6].

Il existe principalement trois catégories de techniques d'accès au canal de transmission[7] :

- Accès multiple par répartition dans le temps (AMRT ou TDMA)
- Accès multiple par répartition de fréquences (AMRF ou FDMA)
- Accès multiple par répartition de codes (AMRC ou CDMA)

II.2.1 Accès multiple par répartition dans le temps

Le multiplexage temporel (TDMA) est la première méthode mise en œuvre pour permettre à plusieurs abonnés de partager la même bande de fréquence. Cette technique consiste à transmettre des données dans différents intervalles de temps appelés créneaux temporels ou "time slots", chacun ayant une durée spécifique T_s . Chaque créneau temporel représente une période pendant laquelle un utilisateur peut envoyer ses données (voir la Figure II.1). Le récepteur effectue ensuite le démultiplexage afin de récupérer les données[3][8].

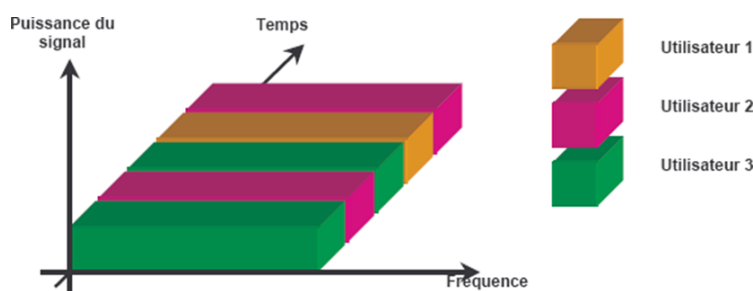


FIGURE II.1 – Technique d'accès multiple TDMA[6].

II.2.1.1 Les différentes caractéristiques d'un système TDMA sont

Les différentes caractéristiques d'un système TDMA sont les suivantes [9] :

- **Multiplexage** : Tous les systèmes TDMA utilisent au moins deux circuits par porteuse pour multiplexer les circuits. Par exemple, le système GSM multiplexe 8 circuits par porteuse.

- **Largeur de bande :** Les systèmes TDMA nécessitent des largeurs de bande de quelques dizaines à quelques centaines de kHz. Cette largeur de bande est déterminée par la technique de modulation choisie. Par exemple, dans le réseau GSM, elle est de 200 kHz avec un débit vocal de transmission de 10 kB/s
- **Débits binaires et durées de symboles :** Les débits de canal les plus élevés se situent entre 300 et 400 kilo-symboles, bien plus importants que dans un système FDMA. Par exemple, pour un débit de 300 kilo-symboles, la durée du symbole est de $3,26 \mu s$, ce qui correspond à peu près à la durée de dispersion des retards observés en milieu urbain. L'interférence inter-symbole a donc un impact significatif dans un système TDMA.
- **Coûts des équipements au sol :** Les systèmes TDMA nécessitent moins de canaux radio que les systèmes FDMA, ce qui réduit le nombre d'équipements nécessaires au niveau des stations de base, entraînant ainsi des coûts moins élevés.

II.2.2 Accès multiple par répartition de fréquences

Dans les systèmes de communication radiofréquence, l'Accès Multiple par Répartition de Fréquences (AMRF), également connu sous le nom de Frequency Division Multiple Access (FDMA), est une technique de multiplexage couramment utilisée[10]. Elle consiste à diviser la bande de fréquences disponible en plusieurs canaux distincts, attribuant une bande de fréquence unique à chaque utilisateur (voir Figure II.2). Les signaux de chaque utilisateur sont ensuite superposés et transmis via un canal commun. À la réception, un filtre sélectif extrait le signal de l'utilisateur souhaité en fonction de sa bande de fréquence attribuée [6].

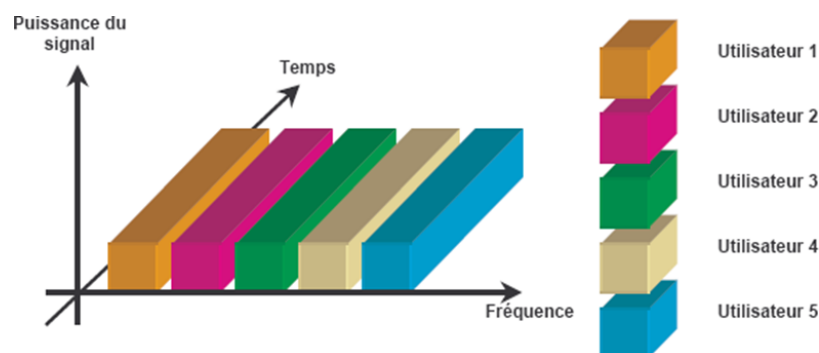


FIGURE II.2 – Technique d'accès multiple FDMA[6]

Les principales caractéristiques de la méthode d'accès multiples FDMA sont les suivantes[9] :

- Un seul circuit par porteuse : chaque canal FDMA est spécifié pour une communication unique.

- Les canaux FDMA ont une largeur de bande assez restreinte, généralement d'au moins 30 KHz, car ils ne transportent qu'un circuit par porteuse.
- Lorsqu'on utilise une modulation numérique à enveloppe constante, les débits binaires atteignent environ 1bits/s dans un canal de 25kHz . De plus, le débit de transmission est de 25kb/s et la durée d'un symbole est d'environ $40\mu\text{s}$. Les retards de propagation dus aux trajets multiples sont rarement supérieurs à $5\mu\text{s}$, ce qui limite grandement l'interférence entre les symboles.
- L'un des inconvénients de la technique FDMA est le coût élevé des équipements fixes nécessaires. En effet, cette méthode nécessite l'installation de plus d'équipements au niveau de la station de base, contrairement à la TDMA. Cela s'explique par l'utilisation d'un canal dédié à chaque porteuse dans le cas de la FDMA.

II.2.3 Accès multiple par répartition de codes

La technique d'accès multiple par répartition de codes (AMRC), également connue sous le nom de Code Division Multiple Access (CDMA), est une méthode de multiplexage plus récente que le TDMA et le FDMA. Dans cette approche, les utilisateurs partagent le même espace fréquentiel et transmettent sur les mêmes intervalles de temps, comme illustré dans la figure II.3.

Pour éviter les interférences entre les signaux des différents utilisateurs, chaque émetteur se voit attribuer un code unique, appelé aussi signature ou séquence de code. Cela permet à chaque utilisateur de transmettre ses informations sans perturber celles des autres. Ce phénomène d'interférences d'accès multiple (IAM) ne peut être réduit que lorsque les codes utilisés sont orthogonaux entre eux.

Dans le système *CDMA*, chaque utilisateur utilise un code distinct pour moduler son signal. Le code utilisé pour le système *CDMA* joue un rôle crucial dans les performances de ce système. Si la séparation entre le signal de l'utilisateur souhaité et les signaux des autres utilisateurs est bonne, on obtient une performance optimale[11].

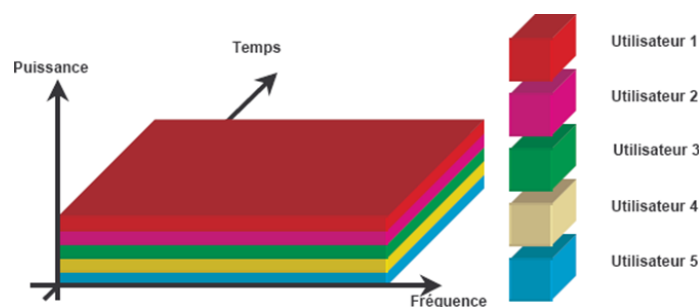


FIGURE II.3 – Technique d'accès multiple *CDMA*[7].

II.3 Techniques d'accès multiples en communications optiques

La fibre optique offre une capacité de transmission exceptionnelle, avec une largeur de bande pouvant atteindre l'ordre du térahertz. Cette capacité permet à de nombreux utilisateurs de communiquer simultanément à des débits très élevés. Pour exploiter pleinement cette potentialité, trois principales techniques de multiplexage ont été développées pour les réseaux optiques[12] :

- Accès de type *AMRT* en optique (ou *OTDMA* : Optical Time Division Multiplexing Access).
- Accès Multiple par Répartition en Longueur d'ondes (*AMRL* ou *WDMA* : Wavelength Division Multiple Access) .
- Accès de type *AMRC* en optique (ou *OCDMA* : Optical Code Division Multiplexing Access). Ces trois techniques de multiplexage, adaptées aux caractéristiques de la fibre optique, permettent d'exploiter de manière optimale la grande largeur de bande disponible afin d'offrir des capacités de transmission élevées et un partage efficace de la ressource entre de multiples utilisateurs.

II.3.1 Accès multiple par répartition en temps en optique

La méthode *OTDMA* (Optical Time Division Multiplexing Access) repose sur une répartition temporelle d'accès (voir précédemment) . Cependant, cette fois-ci, les données des différents utilisateurs seront multiplexées de manière optique sur la même porteuse [13].

Il existe deux approches possibles pour réaliser ce type de multiplexage : soit « tout optique », on parle alors d'*OTDM*, soit « électrique-optique », on parle alors d'*ETDM* (*ETDM* : Electrical Time Division Multiplexing) [5][14].

II.3.1.1 La technique *OTDM*

Les trains d'impulsions optiques générés à l'émission (laser) sont multiplexés en temps par la technique *OTDM*, qui utilise un codage optique de type *RZ* (Return to zéro) ou *NRZ* (Non Return to zéro) à un débit binaire $D = \frac{1}{T_b} \ll \frac{1}{T_c}$ [8] de manière purement optique .Comme illustré dans la figure II.4, une chaîne de transmission utilisant le multiplexage *OTDM* (tout-optique) est constituée d'un émetteur, d'un récepteur[6] .

Toutefois, afin de permettre le multiplexage optique sans recouvrement optique, il est essentiel de choisir le codage *RZ* car il génère des impulsions ayant une durée inférieure

à $\frac{T_b}{N}$ (étant le nombre d'utilisateurs)[6]. De cette façon, on ajoute une marge de sécurité pour prévenir toute récupération entre les données.

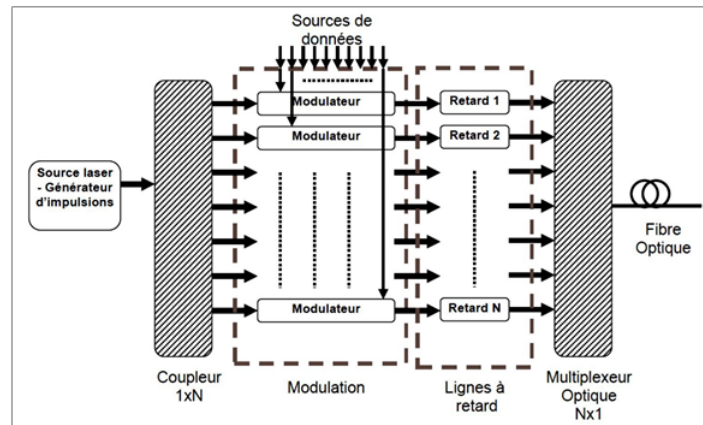


FIGURE II.4 – Emetteur OTDM à N utilisateurs [5].

Le processus de réception consiste à séparer temporellement les impulsions optiques en utilisant un signal de synchronisation au rythme des données émises, Comme le montre la figure II.5[8].

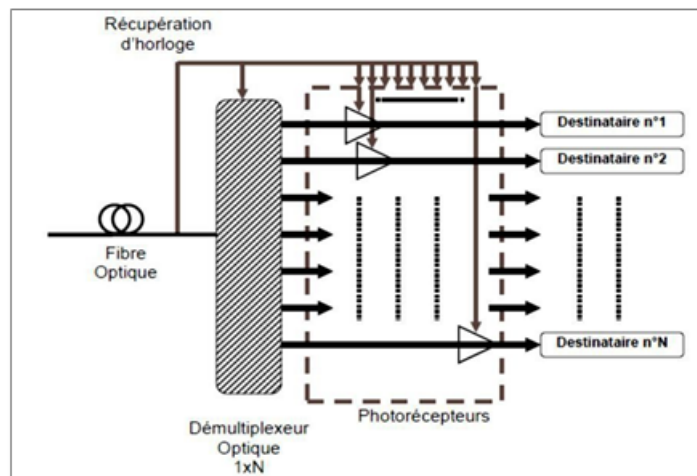


FIGURE II.5 – Récepteur OTDM à N utilisateurs [5].

II.3.1.2 La technique ETDM

Le multiplexage des données électriques à transmettre est effectué dans cette méthode ETDM en utilisant des dispositifs électroniques. La technique ETDM, à la différence de l'accès OTDM, implique de multiplexer les données provenant de chaque utilisateur avant de les moduler, comme illustré dans la figure II.6 [8]. Il est complexe de produire des impulsions très courtes, de transmettre correctement les données et de récupérer le signal de synchronisation dans cette méthode.

À la réception, ETDM présente la structure identique à celle de l'OTDM, comme le montre la figure II.5, sauf que l'ordre des opérations de démultiplexage et de conversion optique/électrique est inversé.

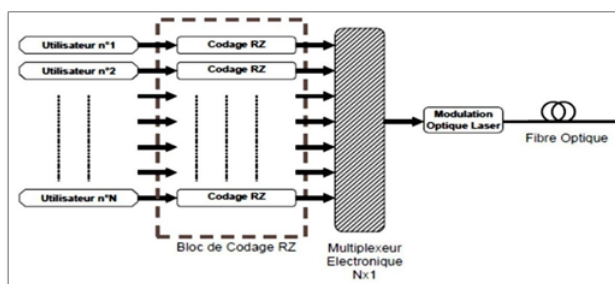


FIGURE II.6 – Emetteur OTDM à N utilisateurs [5] .

II.3.2 Accès Multiple par Répartition en Longueur d'Onde WDM

Le wavelength division multiplexing (WDM), également connu sous le nom de multiplexage en longueur d'onde, est une technologie révolutionnaire qui utilise le multiplexage en fréquence dans les systèmes de communications optiques. De la même manière qu'en FDMA, il s'agit de transmettre les signaux optiques à différentes longueurs d'onde sur la même fibre. On peut réaliser cela en les combinant à l'entrée avec un multiplexeur (MUX) et en séparant les différentes ondes à la sortie avec un démultiplexeur (DEMUX). On regroupe donc ces signaux optiques en un seul signal composite (voir figure II.7). De cette manière, les N abonnés peuvent envoyer leurs données en même temps, chacun sur une bande de fréquence spécifique[15].

À la réception, le signal optique est démultiplexé, puis dirigé vers un filtre optique qui extrait le signal à la longueur d'onde spécifique du destinataire[16][3].

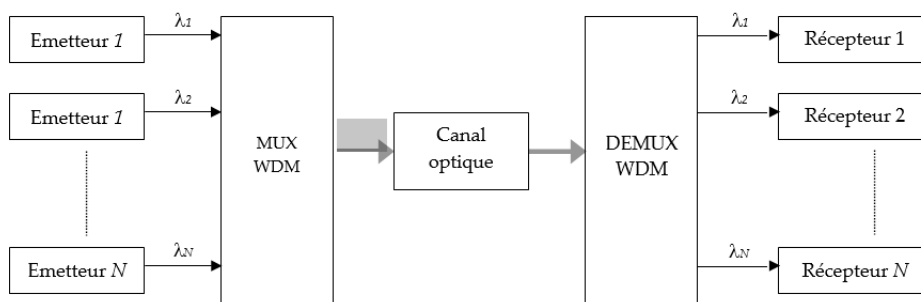


FIGURE II.7 – Schéma d'un multiplexage en longueur d'onde(WDM)[23].

Deux paramètres sont à prendre en considération lors de la conception d'un tel système : l'espacement spectral minimal entre deux longueurs d'onde successives $\Delta\lambda$ peut être mesuré en nanomètres ou en gigahertz. Comme illustré dans la figure II.8, pour éviter

tout recouvrement spectral entre les canaux adjacents et l'atténuation en fonction de la longueur d'onde sélectionnée (en raison du support de transmission).

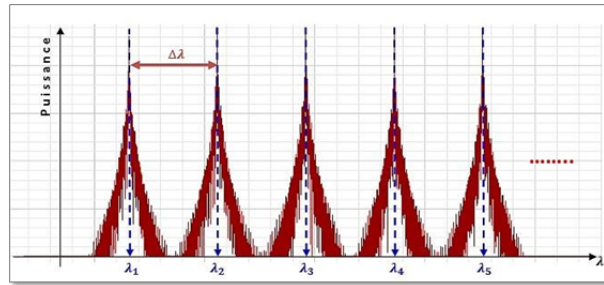


FIGURE II.8 – Spectre WDM avec $\Delta\lambda$ l'espace entre les canaux[5].

En fonction de l'espacement spectral ($\Delta\lambda$), deux méthodes de multiplexage WDM sont prises en compte : Si les longueurs d'onde sont espacées de 20 nm , on parle de Coarse WDM (CWDM, Multiplexing de division de longueur d'onde Coarse)[17]; tandis que si l'espacement est plus faible (donc plus de longueurs d'onde en propagation simultanément), on parle de WDM, voire de Dense WDM (DWDM, plus de 32 longueurs d'onde) et même d'Ultra Dense WDM (UDWDM). Les longueurs d'onde des systèmes DWDM commerciaux sont d'environ $0,8 \text{ nm}$ (100 GHz), $0,4 \text{ nm}$ (50 GHz) ou même $0,1 \text{ nm}$ ($12,5 \text{ GHz}$). Il est ainsi possible de combiner 160 longueurs d'onde optiques et plus[18].

Par ailleurs, et étant donné que le signal transmis sera transmis par la fibre optique, il est essentiel de sélectionner avec soin la bande de fréquence utilisée pour le système WDM afin de garantir un minimum d'atténuation (voir la figure II.9). Deux fenêtres présentent des pertes faibles, l'une à environ $1,3 \mu\text{m}$ et l'autre, avec des pertes encore plus faibles, à environ $1,55 \mu\text{m}$ [19].

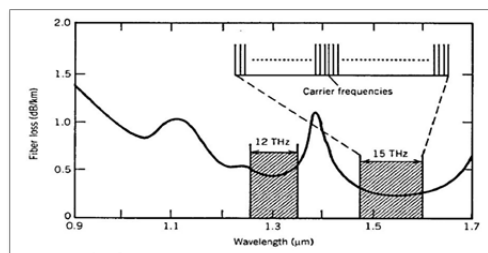


FIGURE II.9 – Fenêtres de transmission à faibles pertes [20]

II.3.3 Accès multiple par répartition de code en optique

L'OCDMA est un concept qui a été introduit au milieu des années 80[21]. La bande passante des systèmes de communication par fibre optique est très élevée (environ THz). L'OCDMA est une méthode d'accès à plusieurs utilisateurs qui permet de partager des

données en même temps à travers le support de transmission, qui est une fibre optique (voir la figure II.10).

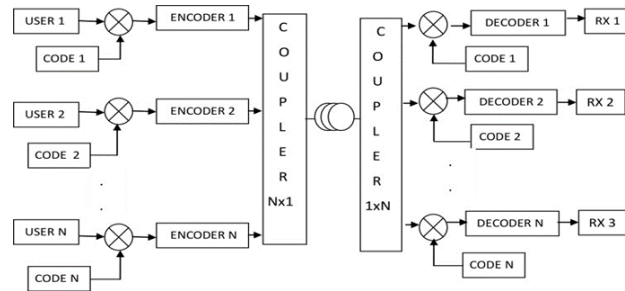


FIGURE II.10 – Schéma synoptique d'une transmission CDMA optique[22].

Cette technique prend en compte une séquence de signature ou un code pour identifier le destinataire[22]. Contrairement aux méthodes d'accès multiple en temps réparti (OTDMA) et en longueur d'onde réparti (WDM), la CDMA optique base sur les mêmes principes fondamentaux que le CDMA. En réduisant les coûts et en effectuant le codage et le décodage dans le domaine optique à l'aide de composants tout-optique, cette technique permet de se passer des convertisseurs électrique/optique et optique/électrique, qui constituaient jusqu'alors un obstacle technologique majeur. Ces avancées ont été rendues possibles grâce aux progrès dans le domaine des composants optiques passifs [23][24].

II.4 Etude de la technique OCDMA

L'OCDMA est une technologie prometteuse pour les futurs réseaux de télécommunication à haut débit, en particulier pour les applications qui nécessitent une grande flexibilité et une sécurité élevée, comme l'accès à Internet par fibre optique, les réseaux d'entreprise et les réseaux de communication militaires. Grâce à l'OCDMA, il est possible de partager une fibre optique entre plusieurs utilisateurs, ce qui permet une transmission de données simultanée, efficace et sécurisée. Dans cette optique [21], pour cela, nous évaluons les performances du système optique à accès multiple par répartition de codes (OCDMA) en concentrant notre étude sur sa présentation et ses caractéristiques.

II.4.1 Principe de la technique OCDMA

Le principe de l'accès multiple par répartition du code optique (OCDMA) s'appuie sur les mêmes concepts de base que le CDMA en radiofréquence. Cependant, son implémentation pour les réseaux optiques présente des différences importantes, dues principalement aux caractéristiques du canal de transmission optique, notamment la dispersion, l'atténuation et les effets non linéaires[3].

Dans un système OCDMA, chaque utilisateur se voit attribuer un code optique unique,

appelé signature optique. Ce code est composé d'une suite de L éléments binaires, appelés chips, dont la durée T_c est très inférieure à celle des bits de données T_b , comme illustre la figure II.11 [8]. Cela a pour effet d'étaler le signal de chaque utilisateur dans le domaine temporel.

La longueur totale du code W est définie par le nombre de chips, tandis que le poids du code W est déterminé par le nombre de chips ayant une amplitude "1". Chaque utilisateur transmet ses données en les modulant avec son propre code optique, permettant ainsi un partage du canal de transmission entre les différents utilisateurs.

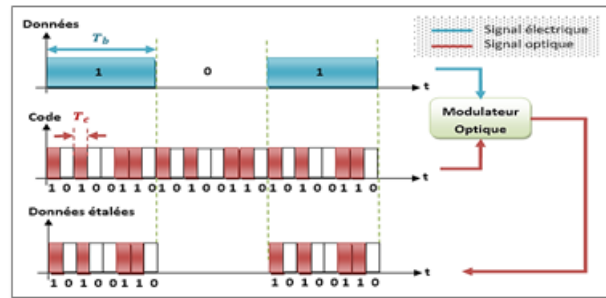


FIGURE II.11 – Codage de données en OCDMA [8].

Au niveau de l'émetteur, pour chaque utilisateur, un codeur génère le flux de données codé correspondant à l'aide de la signature optique attribuée (voir la figure II.12). Les flux de données codées sont ensuite combinés en un signal composite qui est transmis sur le support de transmission partagé. Du côté du récepteur, pour chaque utilisateur, un décodeur tente de régénérer les bits de données de l'utilisateur cible parmi les autres bits provenant des différents utilisateurs[25]. Ces autres bits reçus sont perçus comme une source d'interférences multi-utilisateurs (*MAI* - Multiple Access Interference). Le signal optique décodé est finalement converti en un signal électrique à l'aide d'une photodiode.

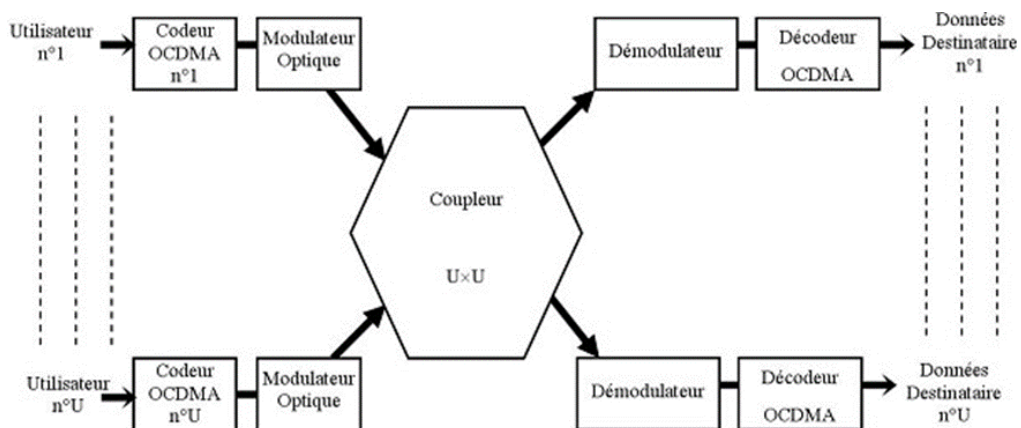


FIGURE II.12 – Schéma synoptique d'un réseau OCDMA [26].

II.4.2 Classification des systèmes OCDMA

La manipulation des signaux peut se faire soit de manière cohérente ou bien d'une manière incohérente.

II.4.2.1 L'OCDMA cohérent

Dans l'approche OCDMA cohérent, les informations à transmettre utilisent à la fois l'amplitude et la phase du signal lumineux. Cela permet d'avoir un signal qui peut être positif ou négatif, offrant ainsi la possibilité d'utiliser des codes bipolaires (composés de -1 et de 1) pour l'étalement du spectre. Cette bipolarité des codes est un atout important, car elle permet aux différents codes d'être strictement orthogonaux lors d'une transmission synchrone des données[21]. Cette propriété d'orthogonalité est essentielle pour réduire les interférences entre les utilisateurs. Pour construire ces séquences de codes orthogonaux, on fait appel à des familles de codes bien connues, telles que les codes de Gold, les codes de Walsh, etc. Cependant, l'utilisation de ce type de codage nécessite l'emploi de composants plus complexes, rendant ainsi le système OCDMA cohérent plus coûteux à mettre en œuvre[27].

II.4.2.2 L'OCDMA incohérent

Dans l'approche OCDMA incohérent, le codage est basé sur la présence ou l'absence de signal lumineux pour représenter respectivement les bits "1" et "0". Ce système utilise donc un codage unipolaire, où le signal ne peut prendre que des valeurs positives[26]. La mise en œuvre du système OCDMA incohérent est plus simple que celle de l'OCDMA cohérent. En effet, il n'est pas nécessaire de gérer l'amplitude et la phase du signal lumineux, ce qui réduit la complexité des composants requis. Cependant, un inconvénient majeur de l'OCDMA incohérent est que les séquences de codes utilisées ne peuvent pas être strictement orthogonales. Par conséquent, les données émises par les différents utilisateurs du système interfèrent les unes avec les autres, ce qui dégrade les performances. Ce problème, connu sous le nom d'Interférence d'Accès Multiple (*IAM*), est l'une des principales limitations des performances des systèmes OCDMA incohérents. Bien que ce type d'interférence puisse être en partie contrôlé, elle reste un défi important à surmonter. Malgré cette limitation, l'OCDMA incohérent présente l'avantage d'être beaucoup plus simple et donc moins coûteux à mettre en œuvre que l'OCDMA cohérent. C'est un compromis à prendre en compte lors du choix de l'architecture OCDMA la plus adaptée aux besoins spécifiques d'une application[26].

II.5 Architecture d'OCDMA

Le système OCDMA suit le même principe que les systèmes radiofréquences, à l'exception du médium de propagation. La figure ci-dessous II.13 [28] montre la représentation schématique d'un dispositif CDMA optique dans un réseau en étoile où la transmission de données est active par une source optique modulée avec des bits d'information. Un encodeur optique reçoit le signal de données et convertit chaque bit de donnée en une séquence optique. Cet encodeur effectue un ensemble spécifique de transformations, définissant ainsi un code particulier pour chaque transmetteur. La transmission du signal encodé est ensuite multiplexée et couplée avec toutes les autres séquences provenant des autres abonnés du système dans un coupleur en étoile, puis transmise via une fibre optique. Du côté du récepteur, les manipulations des paramètres du signal sont effectuées à l'aide d'un décodeur optique composé des composants qui décodent les signaux couplés en fonction des codes de l'émetteur. Le code du destinataire est ensuite comparé à tous les autres codes reçus via le coupleur en étoile et une détection à seuil détermine si un bit « 1 » ou « 0 » est reconnu [29].

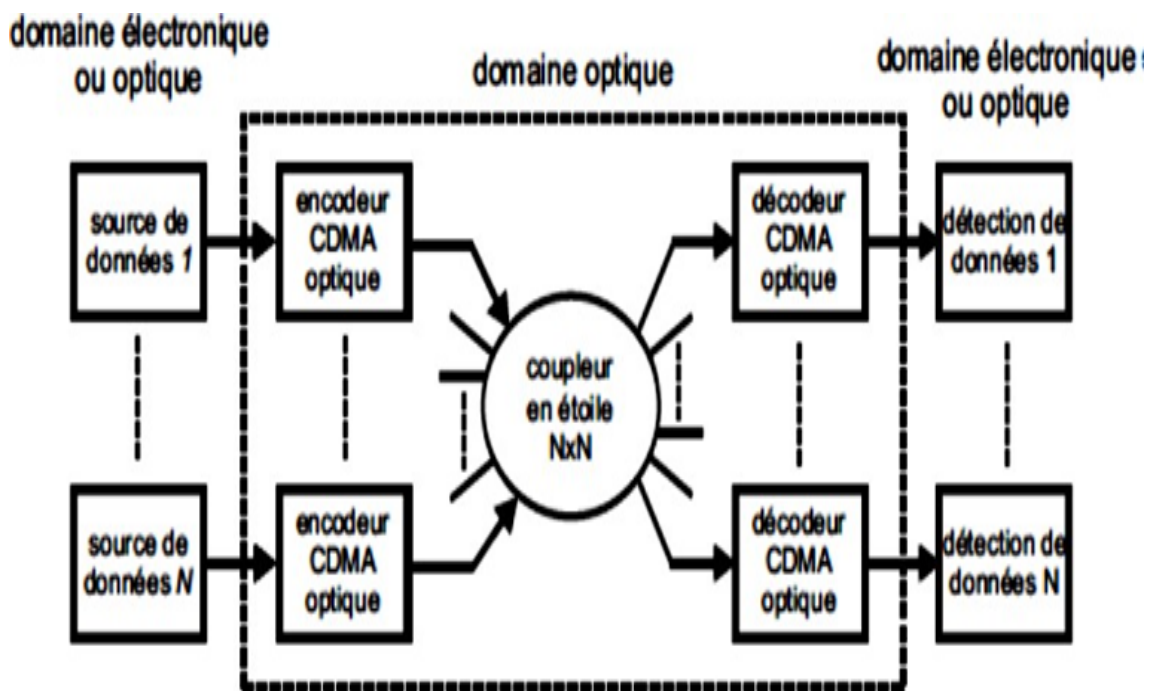


FIGURE II.13 – Schémas d'un système OCDMA [28].

II.5.1 OCDMA temporel [30][31]

Deux catégories d'encodage sont présentes dans le domaine temporel, comme illustré dans la figure II.14 [32] :

- La technique de codage à séquence directe (DS-OCDMA : Direct Sequence OCDMA) est connue sous ce nom car elle consiste à multiplier directement les données avec le code

(chaque bit de donnée est directement modulé en amplitude par le code optique) (voir figure II.14 a).

- L'encodage en phase temporelle (TPE-OCDMA : Encodage en phase temporelle OCDMA) implique de moduler la phase du champ optique dans le domaine temporel (voir figure II.14 b).

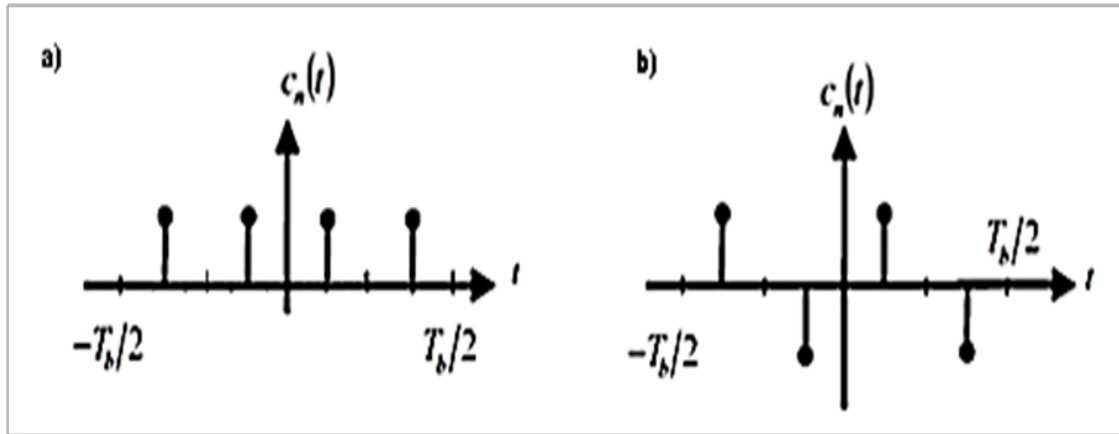


FIGURE II.14 – Types d'OCDMA temporel : a) DS-OCDMA , b) TPE-OCDMA [32]

Dans cette partie, nous allons examiner l'utilisation de l'encodage à séquence directe en DS-OCDMA. Dans cette forme d'encodage, les données à transmettre sont exprimées par des impulsions optiques courtes, connues sous le nom de « chips », dont la position temporelle est déterminée par un code séquence unique attribué à chaque utilisateur. Le nombre d'impulsions dans un code séquence directe correspond à son poids (W) et définit sa capacité à discriminer les interférences provenant d'autres utilisateurs. La durée d'un bit de données (T_b) est divisée en un nombre L d'intervalles de temps égaux, appelés chips, de durée T_c . La relation entre ces paramètres est donnée par $T_b = L * T_c$. code comme montré sur la figureII.15[33].

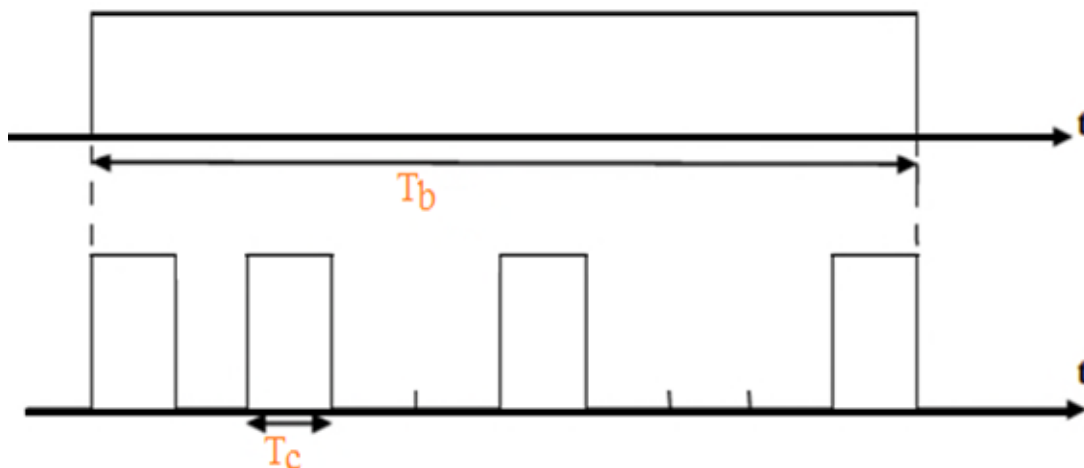


FIGURE II.15 – Principe de l'étalement temporel[33].

Le bit de données sera remplacé par la séquence de code lorsque le bit est égal à 1. Si elle est nulle, elle sera remplacée par une séquence nulle de la même longueur que le code. Le nombre de chips par bit de données correspond à la longueur de la séquence du code. La valeur unitaire des chips dans la séquence de code indique le poids du code. Un exemple de codage DS-OCDMA est illustré dans la figure II.16.

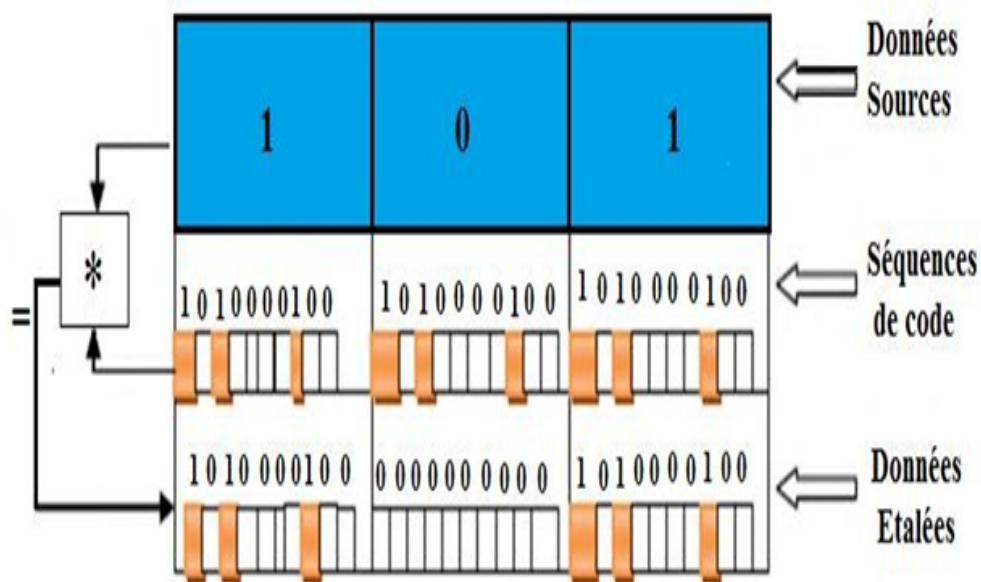


FIGURE II.16 – Un exemple de codage DS-OCDMA[33].

Le signal reçu est multiplexé avec la séquence du code du destinataire lors de sa réception, puis le signal est détalé. Les autres signaux qui ne respectent pas la séquence de signature appropriée sont considérés par le récepteur comme du bruit.

II.5.2 OCDMA Spectral

Deux catégories d'encodage sont présentes dans le domaine spectral, comme illustré dans la figure II.17[32].

- Le codage spectral en amplitude (SAC-OCDMA : codage spectral en amplitude OCDMA) est également connu sous le nom d'encodage spectral en fréquence. On utilise cette méthode pour que chaque utilisateur reçoive une partie du spectre optique en tant que code (voir la figureII.17 a) [26] . Dans ce type d'encodage est unipolaire, la majorité des propositions SAC-OCDMA utilisent des sources incohérentes qui ont l'avantage d'avoir une large bande[33].

- L'encodage spectral en phase (SPE-OCDMA : Spectral Phase Encoding OCDMA) implique de moduler la phase dans le domaine spectral des données (voire la figureII.17b)[26]. Ce type d'encodage utilise un code bipolaire unidimensionnel, où certaines composantes

spectrales des bits d'informations ne sont pas très transmises suivant les sauts de phase du code à implémenter [34].

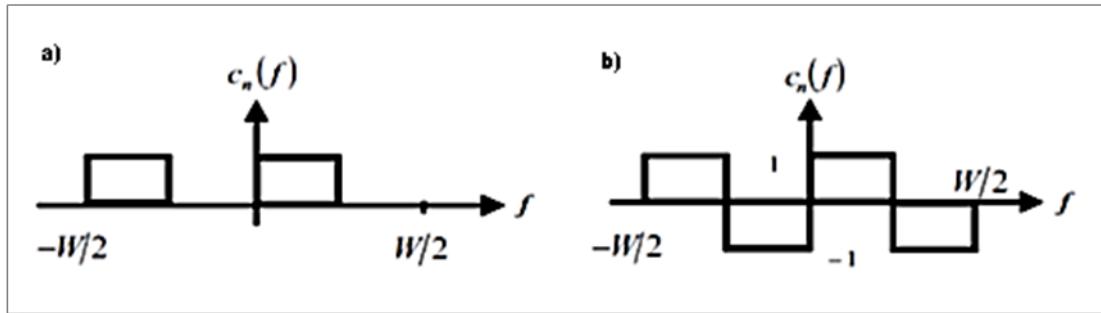


FIGURE II.17 – Types d'OCDMA spectral : a) SAC-OCDMA , b) SPE-OCDMA [32]

Dans ce qui suit, nous allons nous focaliser sur la première méthode d'encodage (SAC- OCDMA) puisque c'est sur cette méthode qui est considérée pour notre étude. Dans cette technique d'encodage chaque utilisateur émet un signal optique qui contient simultanément plusieurs longueurs d'ondes choisies parmi un ensemble de "L" longueurs d'ondes disponibles produites à partir d'une source optique [35]. Le nombre de longueurs d'ondes attribuées à un utilisateur est noté "w" et détermine son code SAC-OCDMA. Le codage des informations est réalisé en modulant l'amplitude du signal optique sur les différentes longueurs d'ondes attribuées à l'utilisateur comme illustré dans la figure II.18.

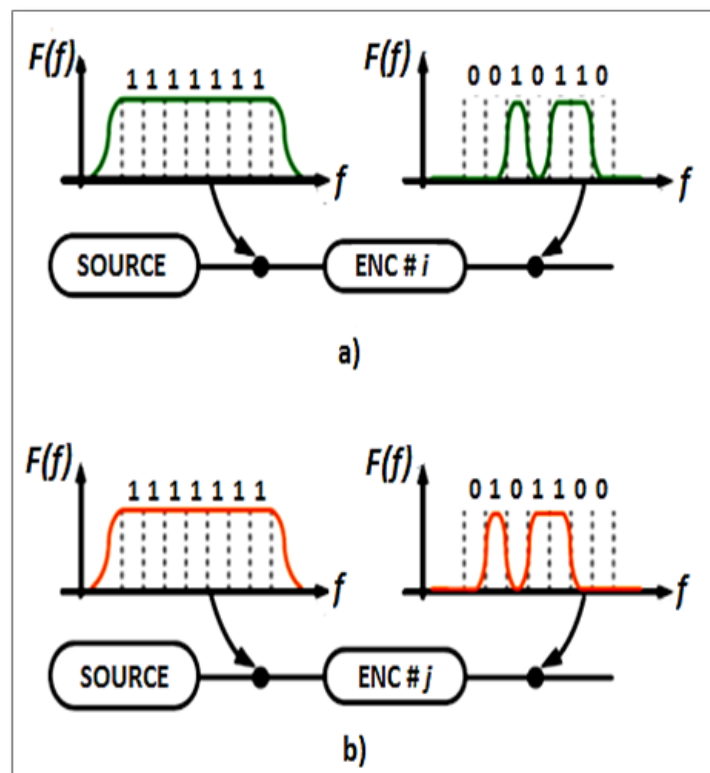


FIGURE II.18 – Principe de l'encodage spectral SAC-OCDMA : a) pour usager désiré avec le code i , b) pour un interférent avec le code j [36].

La plupart des propositions SAC-OCDMA utilisent des sources large bande incohérentes, avec plusieurs technologies envisagées pour effectuer l'encodage (voir la figure II.19), notamment celle utilisant [3][8] :

- a) Le masque d'amplitude permet de générer des codes optiques orthogonaux en divisant et en combinant la lumière dans différentes longueurs d'onde[37] .
- b) L'AWG (Arrayed Waveguide Grating) est utilisé pour réaliser le codage à l'aide de séquences de codes optiques uniques attribuées à chaque utilisateur[37].
- c) Les réseaux de Bragg sont des filtres optiques qui permettent de coder et de décoder les signaux en sélectionnant certaines longueurs d'onde[37].
- d) Les démultiplexeurs et multiplexeurs optiques séparent et combinent les différents canaux de longueurs d'onde, permettant la transmission de multiples signaux sur une même fibre optique[37] [38](voir la figure II.19) .

D'autres méthodes d'encodage prévoient l'utilisation de composants optiques de type Mach-Zehnder MZ (MZ : Mach-Zehnder) et Fabry-Perot[36].

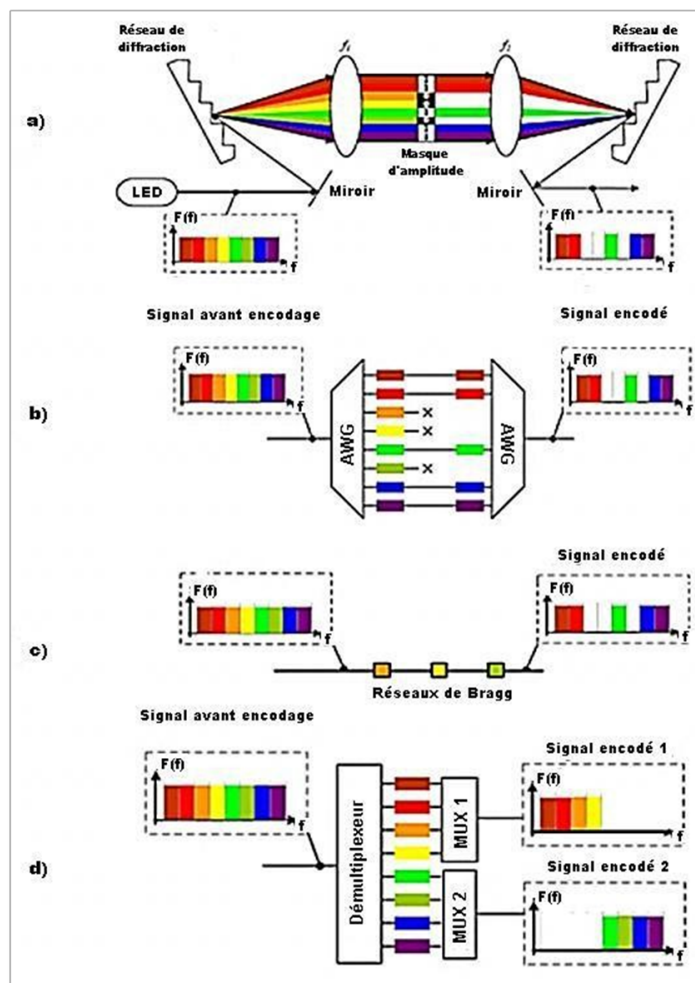


FIGURE II.19 – Technologie d'encodage OCDMA spectral : a) Masque d'amplitude, b) AWG, c) Réseaux de Bragg, d) Démultiplexeurs et multiplexeurs optiques [36].

II.5.2.1 Inconvénients du système SAC-OCDMA

Si le système SAC-OCDMA présente des avantages indéniables en termes d'efficacité du partage du canal optique et de réduction des collisions, il est important de considérer également ses limites et ses inconvénients potentiels :

- Limitation du débit : Le débit par utilisateur est limité dans les systèmes SAC-OCDMA en raison des contraintes de puissance optique et de la gestion des interférences entre utilisateurs.
- Complexité du système : La conception et la mise en œuvre des systèmes SAC-OCDMA sont plus complexes que d'autres techniques de multiplexage, notamment en ce qui concerne la génération et la gestion des codes optiques.
- Sensibilité aux bruits et aux perturbations : Les systèmes SAC-OCDMA sont plus sensibles aux bruits optiques (Bruit thermique ,Bruit de grenaille et le Bruit PIIN), aux fluctuations de puissance et aux autres perturbations du signal, ce qui peut dégrader les performances.
- Coût élevé : Les composants spécialisés requis, comme les AWG (Arrayed Waveguide Grating) et les réseaux de Bragg, peuvent entraîner des coûts plus importants que d'autres technologies de multiplexage.
- Synchronisation et alignement des codes : Le bon fonctionnement du système nécessite une synchronisation précise et un alignement des codes optiques entre les différents utilisateurs, ajoutant une complexité supplémentaire.
- Passage à l'échelle limité : Le nombre maximum d'utilisateurs pouvant être pris en charge par un système SAC-OCDMA est généralement plus faible que d'autres techniques de multiplexage.

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une brève description des réseaux de télécommunications optiques, ainsi que les différentes techniques d'accès multiple telles que TDMA, FDMA, WDM et CDMA. Nous avons ensuite abordé les différents types d'accès multiple applicables aux communications optiques : OTDM, ETDM et WDM. Afin d'approfondir notre étude, nous allons maintenant présenter la technique de multiplexage optique OCDMA. Nous avons également étudié les différents types de CDMA optique, notamment le CDMA temporel, le CDMA spectral et le SAC-OCDMA (OCDMA par

encodage spectral d'amplitude). Cette dernière technique est envisagée pour les réseaux d'accès optiques afin d'exploiter au mieux la bande passante offerte par la fibre optique.

Ce chapitre a pour objectif de fournir toutes les informations nécessaires à la compréhension du chapitre suivant.

Bibliographie

- [1] A. Tanenbaum, "Réseaux", Dunod, juillet 1997, 3ème édition.
- [2] M.E.Merhic, "Coherent optical CDMA network", Journ. of Light. Tech, vol 11, n°56, pp 854-864, 1993.
- [3] I. FSAIFES, «Encodage et décodage temporels" tout-optique" à réseaux de Bragg pour l'accès multiple,» Thèse de doctorat. Télécom ParisTech, 2007.
- [4] C. GOURSAUD-BRUGEAUD, «Réception multiutilisateurs par annulation parallèle d'interférences dans les systèmes CDMA optiques,» Thèse de doctorat. Université de Limoges, 2006.
- [5] R. BOUDAUD, «Contribution à l'étude des performances et limitations d'une liaison CDMA optique haut débit,» Thèse de doctorat. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 2010.
- [6] N. M. SAAD, «Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique,» Thèse de doctorat, Limoges, 2005.
- [7] B. FASSI, «Contribution à l'étude des codes ZCZ (Zero-Correlation-Zone) : Application au système CDMA,» Thèse de doctorat. Université Djillali Liabès, Sidi Bel Abbès, 2014.
- [8] A. GARADI, «Contribution à l'étude des codes optiques ZCC : application au système SAC-OCDMA,» Thèse de doctorat. Université Djillali Liabès, Sidi Bel Abbès, 2015.
- [9] A. Aissaoui, "Synchronisation adaptative du code PN dans les systèmes de communication DSSS", Thèse de doctorat Constantine, 2008.
- [10] J.Viterbi, "CDMA, Principles of spread spectrum communication" Addison Lorgman Inc ,Massachussetts,1997.
- [11] A. GARADI, «Etude et Analyse des performances des codes optique ZCC : Application au système CDMA optique,» Mémoire de Magister. Université Djillali Liabès, Sidi Bel Abbès, 2010.
- [12] Y.ZOUINE, «Contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA,» Thèse de doctorat. Université de Limoges, 2005.

- [13] L.P. BOULIANNE, «Système de communication optique à accès multiple par répartition de code à saut rapide de fréquence,» Thèse de doctorat. Université Laval, 2001.
- [14] K. Ivan P., L. Tingye and W. Alan E., Optical Fiber Telecommunications V A : Components and Subsystems, USA : Elsevier Inc, 2008.
- [15] F.BRUYERE,« Le multiplexage en longueur d'onde dans les réseaux métropolitains », Revue des Télécommunications d'Alcatel, 1er trimestre 2002, pp. 27-32.
- [16] Balaji, Venkatachalam Rajarajan, Mahalingam Murugan, and Savarimuthu Robinson, « Optimization of DWDM demultiplexer using regression analysis », Journal of Nanomaterials vol. 14, no. 12 2016, (2016).
- [17] M. NEBELING and H. J. THIELE, Coarse wavelength division multiplexing : technologies and applications, CRC Press, 2007.
- [18] G.P.AGRAWAL, Lightwave technology : telecommunication systems, John Wiley . Sons,2005.
- [19] M. BASS and E. W. VAN STRYLAND, Fiber Optics Handbook : fiber, devices, and systems for optical communications, Optical Society of America, 2002.
- [20] L. TANCEVSKI and I. ANDONOVIC, "Hybrid wavelength hopping/time spreading schemes for use in massive optical networks with increased security," Journal of Lightwave Technology, vol. 14, no. 12, pp. 2636-2647, 1996.
- [21] M.MORELLE, thèse de doctorat «codage en 2 dimensions pour les systèmes de communications optique CDMA(OCDMA) application aux transmissions multimédia », université de Limoges, 2008.
- [22] M. M. K. Hooshang Ghafouri-Shiraz, CDMA Networks Principles, Analysis And Applications, 2012.
- [23] A. S. e. E.H.Sargent, "Lighting the local area :optical code division multiple access and quality of service provisioning " IEEE Network, pp. p.42-46, 2000.
- [24] J. M. e. D. H. K.Iversen, "A basic theory of fiber optic CDMA " IEEE 4 th Inter.Symp.Spread Spectrum Techniques and Applications Proceeding, vol. 1, pp. p.431-437, 1996.
- [25] S. ARNON, « Advanced optical wireless communication systems », Phd thesis, Cambridge university press, 2012.
- [26] S.DRIZ, « Contribution à l'étude du système hybride SCM SAC-OCDMA », thèse de doctorat, Université Djilali Liabès de Sidi- Bel-Abbes, 2018.
- [27] CHIRIFI, A. Analyse Et Evaluation Des Performance De la Modulation Multi Porteuses Dans La Transmission D'information. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Moustaghanem : Université ABDELHAMID IBN BADIS DE MOUSTA-GHANEM. 2017. 137.

- [28] M. Lourdiane, "CDMA à séquence directe appliqué aux systèmes de communications optiques," Télécom ParisTech, 2005.
- [29] C. Benzerdjeb, S. Selka "encodage de l'amplitude spectral pour OCDMA" mémoire de master en Photoniques Réseaux Optiques de Télécommunications, université abou bakr belkaid – TLEMEN, le 26 Juin 2013
- [30] S. Kim, T. Eom, B. H. Lee and C. Park, « Optical temporal encoding/decoding of short pulses using cascaded long-period fiber gratings », Opt. Express 11, pp 3034-3040, nov 2003
- [31] J.A. Salehi et al, "Code division multiple access : Technique in optical fiber network – Part II : Performance analyses", IEEE Trans. on Com., vol. 37, n°8, pp 834-842, 1989.
- [32] S. CORDETTE, « Continuum de fréquences optiques pour application OCDMA », Thèse de doctorat, Télécom ParisTech, 2010
- [33] NAUFAL.S. Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Limoges : Université de Limoges. 2005.
- [34] ABDENOUR, H. Et BEN AOUMEUR.M. Etude et simulation du système SAC-OCDMA utilisant la technique SPD. Mémoire de Master. Saida : Université Dr. TAHAR MOULAY –SAIDA. 2018. 70.
- [35] G. Ashwin and A. Tony, «DWDM Network Designs and Engineering Solutions», USA : Cisco Press, 2003.
- [36] J. PENON, « Réduction du bruit d'intensité dans les systèmes SAC-OCDMA incohérents utilisant des réseaux de Bragg », Thèse de doctorat. Université Laval, 2009.
- [37] M. KAVEHRAD and D. ZACCARIN, "Optical code-division-multiplexed systems based on spectral encoding of noncoherent sources," Journal of lightwave technology, vol. 13, no. 3, pp. 534-545, 1995.
- [38] T. H. ABD, S. A. ALJUNID, H. A. FADHIL and al., "Development of a new code family based on SAC-OCDMA system with large cardinality for OCDMA network," Optical Fiber Technology, vol. 17, no. 4, pp. 273-280, 2011.

Chapitre III

Amélioration des Performances d'un système OCDMA 1D basé sur le code MFCC

III.1 Introduction

Les performances des systèmes optiques à accès multiple par répartition en code (CDMA) sont négativement impactées par l'interférence d'accès multiple (IAM)[1]. Lorsque les codes des différents utilisateurs ne sont pas orthogonaux, cela entraîne un chevauchement et une interférence entre les signaux, ce qui provoque l'IAM. Cette interférence peut dégrader considérablement la qualité de la réception pour chaque utilisateur, limitant la capacité et la performance globale du système. Ainsi, le développement de techniques efficaces de lutte contre l'IAM est essentiel pour améliorer les performances et la capacité de ces systèmes.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les performances du système SAC-OCDMA 1D en utilisant le code MFCC (Modified Flexible Cross Correlation). Afin d'évaluer les performances de ce système, nous nous intéresserons à trois critères principaux : le diagramme de l'œil, le taux d'erreur binaire (BER) et le facteur de qualité (facteur Q).

Pour mener cette étude, nous utiliserons le simulateur OptiSystem, un outil particulièrement adapté aux transmissions optiques. Il permet aux scientifiques et aux ingénieurs de modéliser, simuler, analyser et concevoir différents modules de traitement du signal, depuis les composants les plus élémentaires jusqu'aux systèmes de communication complets.

La simulation de notre chaîne de transmission à l'aide d'OptiSystem nous permettra d'obtenir des résultats détaillés sur les performances du système SAC-OCDMA 1D utilisant le code MFCC. Cette analyse approfondie nous aidera à mieux comprendre le fonctionnement et les caractéristiques de cette technologie de multiplexage optique[3].

III.2 Critères et méthodes d'évaluer les performances des codes

Afin d'évaluer le bon fonctionnement d'un système, il existe divers critères pour définir la qualité d'une transmission optique. Les trois critères essentiels pour évaluer la qualité d'un signal transmis sont [4] :

- Le taux d'erreurs binaires (BER),
- Le facteur de qualité (Q),
- Le diagramme de l'œil.

III.2.1 Taux d'erreur binaire

Le taux d'erreur sur les bits (Bit Error Rate ou BER en anglais) est un paramètre couramment utilisé pour évaluer les performances des systèmes de communication numérique, tels que les réseaux de fibres optiques ou les réseaux de communication sans fil. En effet, la qualité d'une transmission numérique binaire est relativement simple à évaluer : il suffit de comparer la séquence de symboles envoyés avec la séquence de symboles reçus, et de dénombrer les erreurs, c'est-à-dire le nombre de fois où un "0" est détecté à la place d'un "1" émis, ou vice versa. On définit alors le taux d'erreurs binaires (BER) comme le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre total de bits transmis[5] :

$$TEB = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad (\text{III.1})$$

Les opérateurs de télécommunications exigent généralement un BER inférieur ou égal à 10^{-9} , soit une erreur pour un milliard de bits transmis. Ce niveau de performance élevé est nécessaire pour assurer une qualité de service satisfaisante aux utilisateurs[6].

III.2.2 Diagramme de l'œil

Le diagramme de l'œil (Eye Diagram en anglais) est une méthode très utilisée pour évaluer la qualité d'un signal numérique transmis à travers un canal de communication. Il s'agit d'un outil graphique permettant de visualiser les variations de la forme du signal dans le temps (voir la figure III.1). Selon le principe général du diagramme de l'œil, plus l'aire centrale est petite, plus le signal est de mauvaise qualité. Autrement dit, plus le diagramme de l'œil est "fermé", plus le facteur de qualité est faible, rendant ainsi la détection du signal sans erreur plus difficile. Le diagramme de l'œil constitue donc un excellent moyen visuel d'évaluer la qualité du signal, dans les limites de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope. Il permet de détecter facilement les distorsions, les gignés temporelles (jitter) et les autres défauts du signal numérique transmis. Cette représentation graphique du signal est particulièrement utile pour optimiser les paramètres

de transmission et de réception afin d'obtenir une qualité de signal satisfaisante pour les systèmes de communication numérique[7].

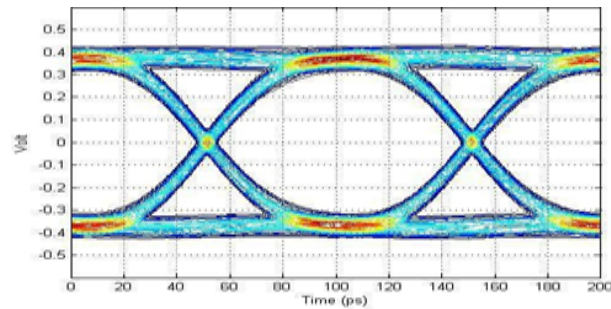


FIGURE III.1 – Diagramme de l'œil d'un signal au format NRZ[8].

Le diagramme de l'œil permet de visualiser diverses caractéristiques importantes d'un signal numérique, comme l'amplitude, la forme d'onde et la synchronisation de l'horloge. Cet outil graphique est très utile pour les ingénieurs, car il leur permet de détecter rapidement les problèmes de qualité du signal, tels que les distorsions et les interférences. En effet, le diagramme de l'œil offre une représentation compacte et synthétique du signal, mettant en évidence ses principaux paramètres de qualité. Plus l'ouverture de l'œil est grande, plus le signal est de bonne qualité et facilement détectable par le récepteur[8]. À l'inverse, un diagramme de l'œil fermé ou déformé indique la présence de perturbations dans le signal, comme du bruit, des interférences ou des problèmes de synchronisation. Les ingénieurs peuvent alors ajuster les paramètres de transmission et de réception afin d'optimiser la qualité du signal.

Cet outil d'analyse est donc essentiel pour concevoir, déployer et maintenir des systèmes de communication numérique fiables et performants.

III.2.3 Le facteur de qualité Q

Le facteur de qualité correspond au rapport signal sur bruit électrique à l'entrée du circuit de décision du récepteur. Le signal mesuré à l'entrée du canal de l'oscilloscope contient à la fois le signal utile et le bruit généré par l'ensemble des composants de la chaîne de transmission. Sur le diagramme de l'œil, qui représente ce signal mesuré, le signal utile est indiqué par les niveaux moyens (μ_1 et μ_0). Le bruit est représenté par les fluctuations des puissances optiques autour de ces niveaux moyens et se quantifie en combinant les écarts-types. Ainsi, le facteur Q est défini à partir du diagramme de l'œil par :

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (\text{III.2})$$

Où μ_1 : Niveau moyen du signal, aux instants de décision, sur la transmission des 1.

μ_0 : Niveau moyen du signal, aux instants de décision, sur la transmission des 0.

σ_1 : écart-type du bruit sur le signal, aux instants de décision, pour la transmission des 1.
 σ_0 : écart-type du bruit sur le signal, aux instants de décision, pour la transmission des 0.

Le facteur de qualité est donc relié au taux d'erreur binaire (TEB) dans l'hypothèse où la distribution de puissance des symboles est gaussienne, par la relation suivante :

$$TEB = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (\text{III.3})$$

Où erfc est la fonction erreur complémentaire définie par :

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{+\infty} \exp(-y^2) dy \quad (\text{III.4})$$

Cette approche est souvent préférée lorsque le taux d'erreur binaire est trop faible pour être mesuré directement. En effet, plus le taux d'erreur binaire est faible, plus le temps nécessaire pour obtenir une mesure précise augmente. Par conséquent, le taux d'erreur binaire n'est pas toujours mesurable directement en pratique. Le facteur de qualité est donc couramment utilisé pour évaluer la qualité d'une liaison, avec un facteur de qualité de 6 correspondant approximativement à un taux d'erreur binaire de 10^{-9} [8][9].

III.3 conception de code [2]

Le concept de corrélation croisée flexible modifiée (MFCC) est élaboré en utilisant trois paramètres : N , w , et λ_c . Ces paramètres correspondent respectivement à la longueur du code, au poids du code (c'est-à-dire le nombre de « 1 » dans chaque mot de code), et à la propriété de corrélation croisée du code MFCC proposé. Le nouveau code MFCC optique se présente sous la forme d'une matrice de dimensions $K \times N$, où K lignes représentent le nombre d'utilisateurs et N colonnes représentent la longueur minimale du code. Cette matrice est constituée de deux sous-matrices, A et B , et se définit ainsi :

$$MFCC = [A \parallel B]_{K \times N} \quad (\text{III.5})$$

Lors de la construction du code proposé, certaines propriétés ont été observées :

- la première sous-matrice A est conçue de manière à ce que la corrélation croisée (λ_c) entre deux codes consécutifs soit nulle ($\lambda_c = 0$). En revanche, la sous-matrice B est conçue avec une corrélation croisée λ_c égale à 1.
- La longueur de la matrice A doit être égale à K , où K représente le nombre d'utilisateurs, tandis que la longueur de la matrice B doit être égale à $K+1$. Ainsi, la longueur totale du code MFCC est donnée par la formule suivante :

$$N = 2(K - 1) + w \quad (\text{III.6})$$

— La propriété d'autocorrélation et de corrélation croisée du MFCC peut s'exprimer de la manière suivante :

$$\sum_{i=1}^N C_k(i) C_l(i) = \begin{cases} w; & k = l \\ 1; & k \neq l \end{cases} \quad (\text{III.7})$$

où $C_k(i)$ représente la i -ème composante du code MFCC pour le k -ième utilisateur. En appliquant les propriétés susmentionnées, le code MFCC pour trois utilisateurs peut être exprimé ainsi :

$$MFCC = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (\text{III.8})$$

Dans ce cas, avec $K=3$ et $N=7$ pour $w=3$, le mot de code pour chaque utilisateur selon l'équation III.8 devient :

$$MFCC = \begin{cases} User1 : \lambda_1, \lambda_3, \lambda_5 \\ User2 : \lambda_2, \lambda_5, \lambda_6 \\ User3 : \lambda_3, \lambda_6, \lambda_7 \end{cases} \quad (\text{III.9})$$

III.4 Analyse des performances numériques[2]

Pour évaluer les performances du code MFCC proposé, il est nécessaire de calculer le rapport signal-bruit (SNR) ainsi que le taux d'erreur binaire (BER) en utilisant les équations suivantes :

$$SNR = \frac{I}{\sigma^2} \quad (\text{III.10})$$

Où nous représentons le courant incident, exprimé comme suit :

$$I = \Re \int_0^{\infty} G(v) dv \quad (\text{III.11})$$

et la variance du bruit, notée σ^2 , qui est la somme des puissances de 'Shot', PIIN (phase bruit d'intensité induite) et de bruit thermique σ :

$$\sigma^2 = \frac{I}{shot} + \frac{I}{PIIN} + \frac{I}{thermal} \quad (\text{III.12})$$

Selon l'équation III.11, la photodiode PIN est représentée par le terme \Re . De plus, on calcule la densité spectrale de la puissance en se basant sur la référence [10] par :

$$G(v) = \sum_{k=1}^k d_k \left(\sum_{i=1}^N C_k(i) C_l(i) - \sum_{i=1}^N C_k(i) \left(C_k(i) C_l(i) \right) \right) \left\{ u \frac{\Delta v}{N} \right\} \quad (\text{III.13})$$

où,

$$\sum_{i=1}^N C_k(i) C_l(i) = \begin{cases} W; k = l \\ 1; k \neq l \end{cases} \quad (\text{III.14})$$

$$\sum_{i=1}^N C_k(i) \left(C_k(i) C_l(i) \right) = \begin{cases} 1; k = l \\ 1; k \neq l \end{cases} \quad (\text{III.15})$$

$$\sum_{i=1}^N C_k(i) C_l(i) - \sum_{i=1}^N C_k(i) \left(C_k(i) C_l(i) \right) = \begin{cases} w - 1; k = l \\ 0; k \neq l \end{cases} \quad (\text{III.16})$$

A partir des équations III.11 et III.13, le courant incident devient :

$$I = \Re \frac{P_{sr}}{\Delta v} (W - 1) \quad (\text{III.17})$$

et les puissances de bruit sont données comme suit :

$$\frac{I}{shot}^2 = 2eBI = 2eB\Re \int_0^{\infty} G(v) dv \quad (\text{III.18})$$

$$\frac{I}{shot}^2 = 2eB\Re \frac{P_{sr}}{\Delta v} (W + 3) \quad (\text{III.19})$$

$$\frac{I}{PIIN}^2 = B I_c^2 \tau = B \int_0^{\infty} G^2(v) dv \quad (\text{III.20})$$

$$\frac{I}{PIIN}^2 = \frac{B\Re^2 P_{sr}^2 KW}{N^2 \Delta v} (W + 3) \quad (\text{III.21})$$

et

$$\frac{I}{thermal}^2 = \frac{4K_b T_n B_r}{R_L} \quad (\text{III.22})$$

En se basant sur les équations précédentes, on peut écrire le SNR de la manière suivante :

$$SNR = \frac{\left(\frac{\Re P_{sr}(W-1)}{N} \right)^2}{\left[\begin{array}{l} \frac{2eB_r \Re P_{sr}}{N} (W + 3) \\ + \frac{B\Re^2 P_{sr}^2 KW}{N^2 \Delta v} (W + 3) \\ + \frac{4K_b T_n B_r}{R_L} \end{array} \right]} \quad (\text{III.23})$$

Tous les paramètres de l'équation III.23 sont décrits dans le tableau III.1 :

Parametre	Description
e	La charge d'électron
B	Bande passante
K	La constante de Boltzmann
Tn	La température absolue
RL	Résistance de charge

TABLE III.1 – Description des paramètres.

Le taux d'erreur binaire est déterminé à l'aide du rapport signal sur bruit SNR, en utilisant l'équation suivante :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{SNR}{8}} \right) \quad (\text{III.24})$$

III.5 Configuration de la simulation

Le schéma présente une chaîne de transmission optique dans OptiSystem. Le système commence par la génération d'un signal binaire de données via un générateur de bits pseudo-aléatoires. Ce signal est converti en impulsions électriques par le NRZ Pulse Generator, Ces impulsions sont ensuite envoyées au Mach Zehnder Modulator, qui utilise ces impulsions pour moduler l'intensité de la lumière provenant d'une source LED. Le signal optique modulé est divisé en plusieurs voies par un démultiplexeur DEMUX.

Les signaux optiques sont ensuite divisés en plusieurs branches à l'aide de diviseurs de puissance (Power Splitters). Chaque voie passe par un filtre de Bragg uniforme (Uniform Fiber Bragg Grating) pour sélectionner des longueurs d'onde spécifiques, puis est détectée par des photodiodes PIN, qui convertissent les signaux optiques en signaux électriques. Ces signaux électriques passent par des filtres passe-bas pour réduire le bruit et améliorer la qualité du signal, et peuvent être traités par des soustracteurs électriques (Electrical Subtractors) pour éliminer les interférences indésirables.

Enfin, les signaux électriques sont analysés à l'aide d'un analyseur de diagramme de l'œil et d'un oscilloscope pour évaluer l'intégrité des données transmises et le taux d'erreur binaire, permettant ainsi de vérifier la performance globale du système de communication optique. Cette configuration assure une transmission efficace et fiable des données numériques sous forme de signaux optiques sur des distances longues via une fibre optique.

III.5.1 partie d'émission

Le fonctionnement du bloc d'émission commence par un générateur de polarisation, appelé « Bias Generator », qui génère un signal électrique et fournit la polarisation nécessaire au bon fonctionnement du modulateur. Un oscilloscope est connecté à la sortie du générateur pour observer la forme du signal électrique généré. Ce signal électrique est ensuite converti en signal lumineux par une LED. Ce signal est divisé en plusieurs voies par un démultiplexeur (DEMUX) puis recombinaison en une seule voie par un multiplexeur (MUX) afin de transmettre plusieurs longueurs d'onde sur une seule fibre optique. Ensuite le signal optique continu est modulé par modulateur Mach-Zehnder en fonction des impulsions électriques (les données binaires qui génère par "Pseudo-Random Bit Sequence (PRBS)" converti en impulsions électriques par le générateur d'impulsions NRZ " NRZ Pulse Generator (Non-Return-to-Zero)). Le signal modulé est ensuite atténué et adaptée aux caractéristiques de la fibre optique pour une transmission optimale .

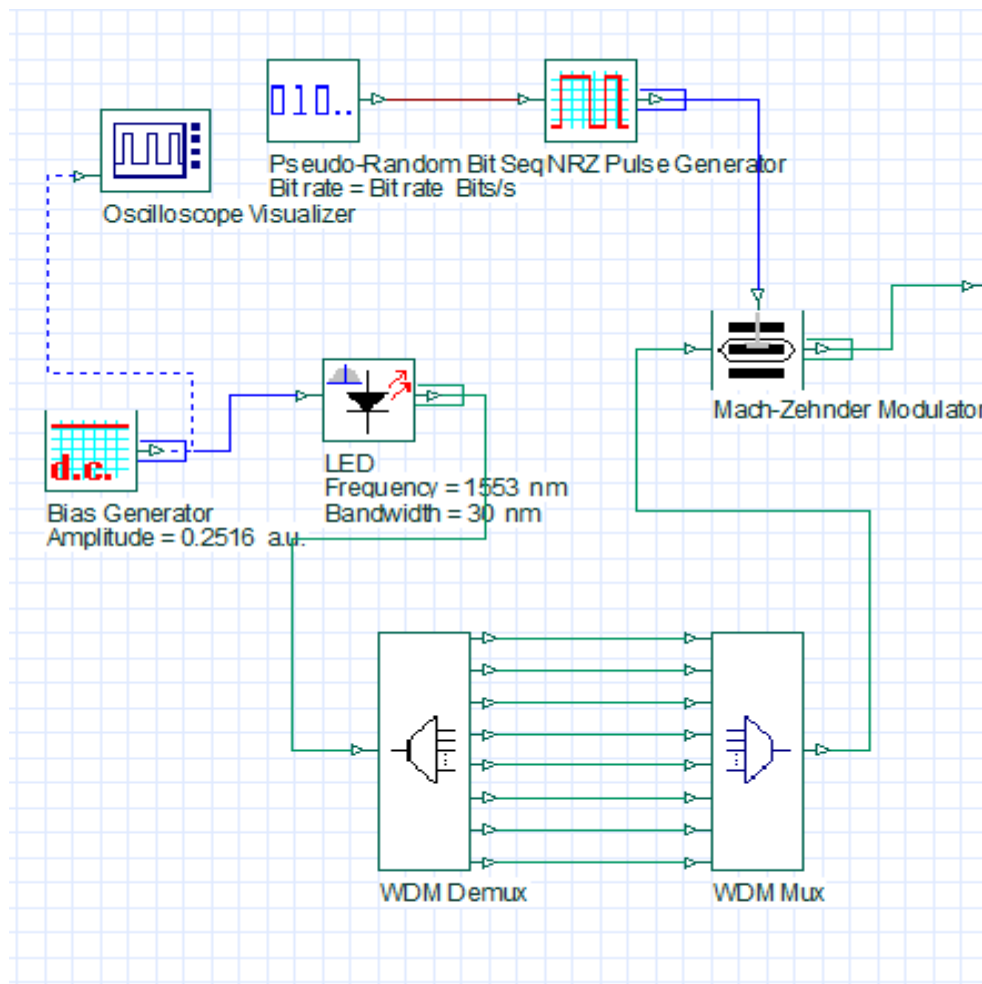


FIGURE III.3 – schéma bloc d'émission

III.5.2 partie de réception

Au niveau du récepteur, le signal optique multiplexé arrive à un Power Splitter, qui le divise en deux chemins. Chaque chemin du signal optique passe par un Uniform Fiber Bragg Grating, qui sélectionne une longueur d'onde spécifique du signal multiplexé. Le signal optique est ensuite converti en signal électrique par une Photodiode (PIN). Ce signal électrique passe par un Electrical Subtractor pour réduire le bruit et les interférences. Par la suite, le signal électrique est filtré par un Low Pass Bessel Filter pour éliminer les hautes fréquences indésirables et réduire le bruit. Le signal est ensuite amplifié, reformé et rééchantillonné par un 3R Regenerator pour améliorer sa qualité. Finalement, le signal électrique est analysé par un Eye Diagram Analyzer pour évaluer sa qualité et détecter les erreurs de transmission.

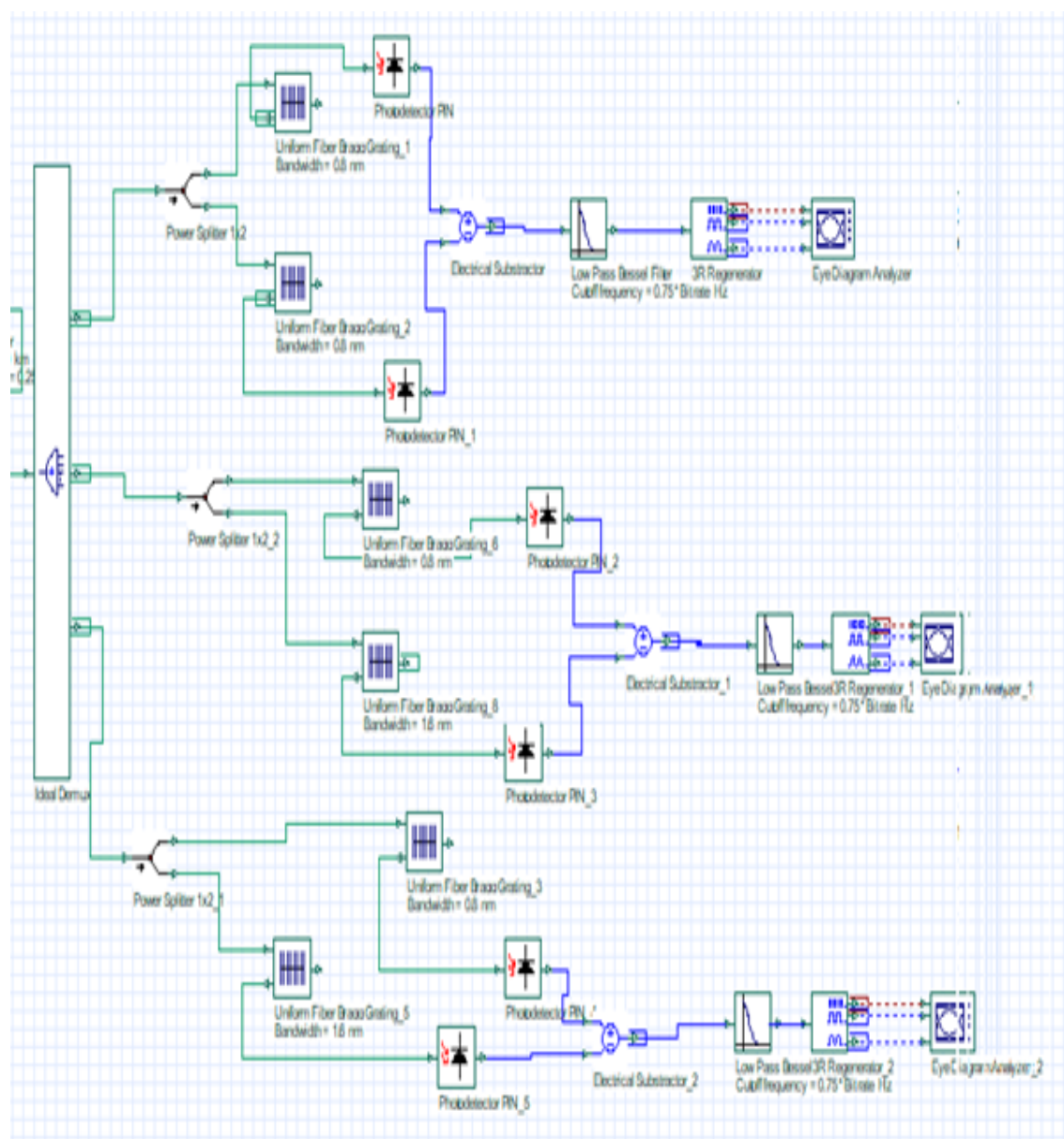


FIGURE III.4 – schéma bloc de réception

III.6 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les performances du système est analysé en utilisant les paramètres énumérés dans le tableau.III.2 et les résultats numériques sont présentés dans la figure III.5 . Pour évaluer les performances de notre code par rapport à d'autres solutions existantes, nous avons représenté graphiquement le taux d'erreur binaire (BER) en fonction du nombre d'utilisateurs et ce pour notre code ainsi que pour deux autres codes de référence : le code "MDW" et le code "RD" avec un poids $W = 3$. Comme le montre la figure III.5, notre code affiche des performances nettement améliorées par rapport aux codes MDW et RD, avec un taux d'erreur binaire très faible, inférieur à 10^{-9} .

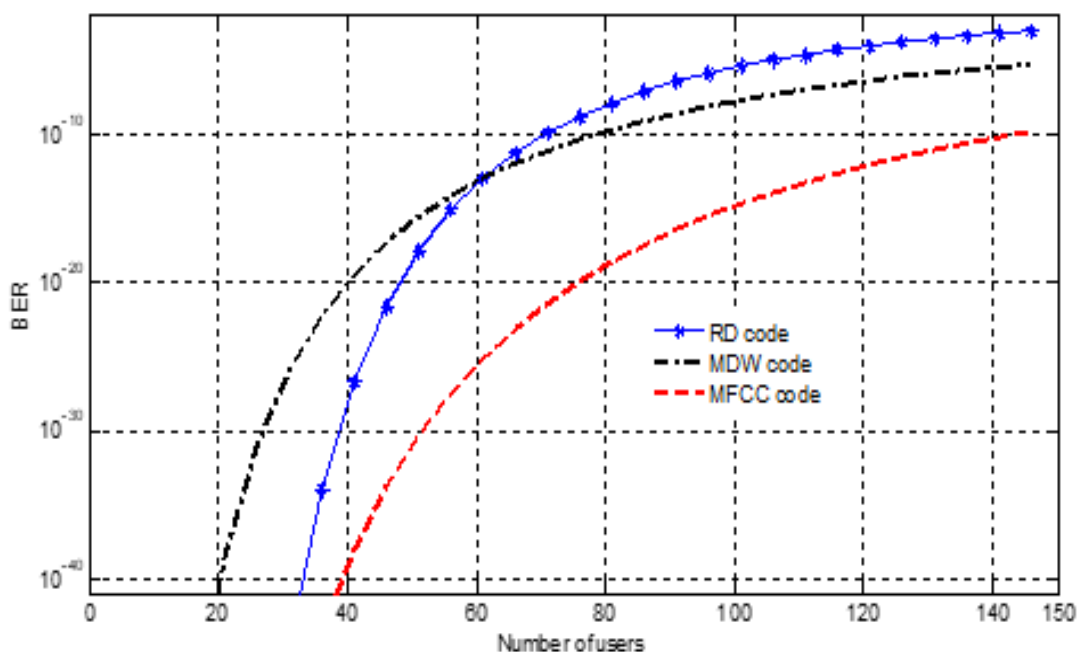


FIGURE III.5 – BER en fonction du nombre d'utilisateurs pour les codes MFCC, MDW et RD

PD Efficacité quantique	$\eta = 0.75$
Spectral width of broadband light source	$\Delta\lambda = 30\text{nm}$ ($\Delta\lambda = 3.75\text{ THz}$)
La longueur d'onde d'opération	$\lambda_0 = 1550\text{nm}$
La bande passante	$B = 155\text{ MHz}$
Débit de transmission de données	$R_b = 622\text{ Mbps}$
Température du bruit de récepteur	$T_n = 300\text{K}$
La résistance de charge	$R_L = 1030$
Constante de Boltzman	$K_b = 1.38 \times 10^{-23}\text{ W/K}\backslash\text{Hz}$
La charge d'électron	$e = 1.60217646 \times 10^{-19}\text{ coulombs}$
Célérité de la lumière	$C = 3 \times 10^8\text{ m/s}$

TABLE III.2 – Paramètres utilisés dans les calculs numériques

III.6.1 L'impact de la distance sur la qualité du signal dans les fibres optiques

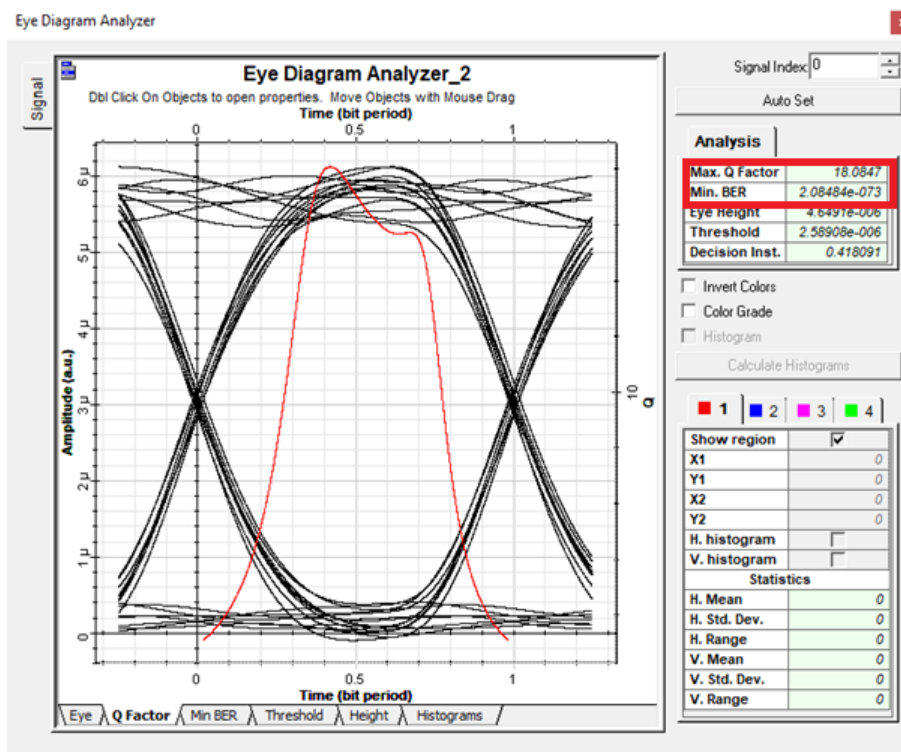


FIGURE III.6 – Diagrammes de l'œil 10 km

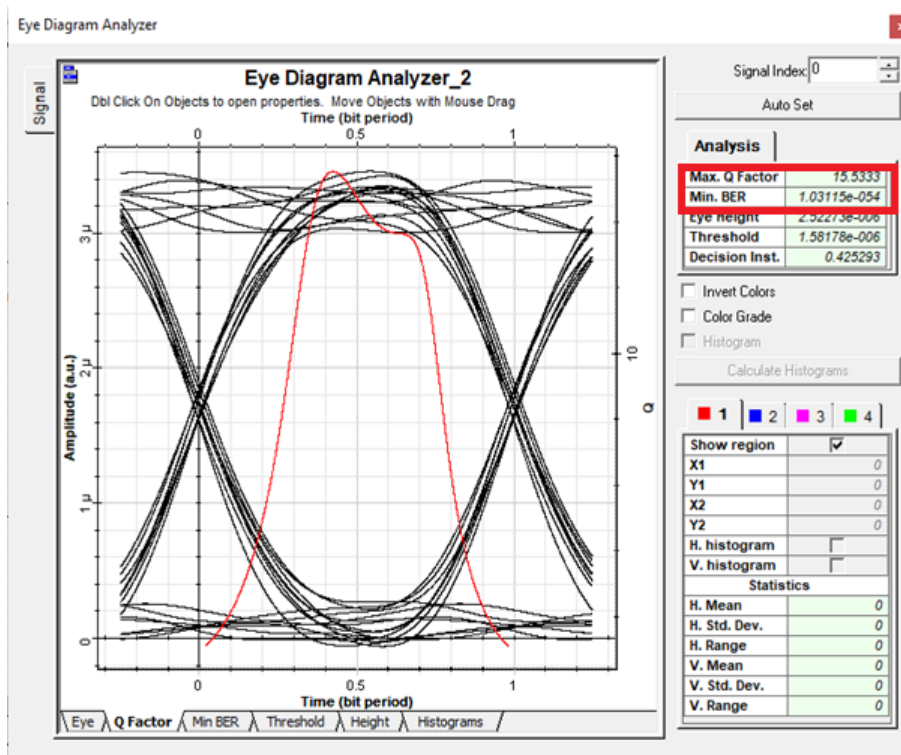


FIGURE III.7 – Diagrammes de l'œil 20 km

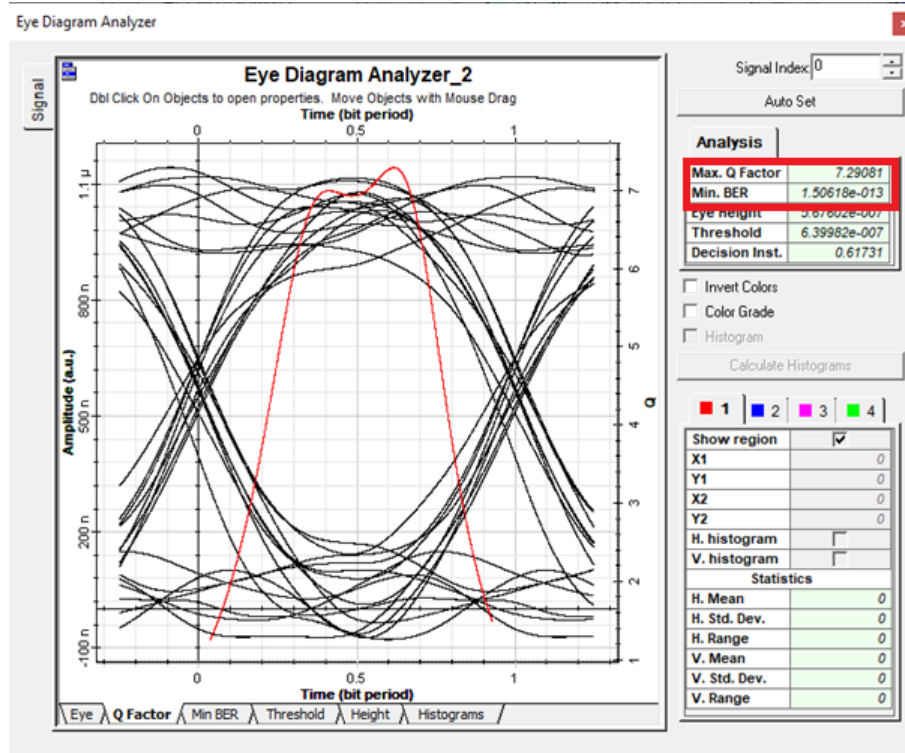


FIGURE III.8 – Diagrammes de l'œil 40 km

les figures III.6, III.7 et III.8 illustrent clairement que lorsque la distance optique augmente, le facteur de qualité diminue et le taux d'erreur binaire augmente, ce qui traduit une détérioration des performances du système de communication. Par exemple, à une distance de 10 km, le facteur de qualité est de $Q = 18.08$ avec un taux d'erreur binaire de $BER = 2.08 \times 10^{-73}$. Lorsque la distance est augmentée à 20 km, le facteur de qualité diminue à $Q = 15.53$ avec un taux d'erreur binaire de $BER = 1.03 \times 10^{-54}$. Enfin, à une distance de 40 km, le facteur de qualité est de 7.29 avec un taux d'erreur binaire de $BER = 1.50 \times 10^{-13}$. Ces résultats confirment que plus la distance de transmission est grande, plus les performances du système se détériorent.

Autrement dit, il y a une relation inverse entre la distance de transmission et les performances du système de communication optique. Une augmentation de la distance tend à dégrader la qualité de la transmission. Cela s'explique par différents phénomènes tels que les pertes de puissance optique, la dispersion chromatique, les effets non linéaires, etc. qui s'accumulent sur longues distances.

III.6.2 la variation du taux d'erreur binaire (BER) en fonction de la longueur de fibre optique

La figure III.9 montre la variation du taux d'erreur binaire (BER) en fonction de la longueur de la fibre, allant de 10 à 50 km, en utilisant le code MFCC avec un poids $W=3$. On observe que le BER augmente de manière exponentielle avec la longueur de la

fibres. Le BER peut atteindre un niveau acceptable (10^{-9}) jusqu'à une longueur de fibre d'environ 30 km. Au-delà, on observe une dégradation rapide de la qualité du signal, c'est-à-dire que le BER commence à augmenter plus rapidement jusqu'à $9,96 \times 10^{-3}$ à 50 km. En conclusion, une valeur de BER inférieure à (10^{-9}) est généralement considérée comme indiquant une très bonne qualité de transmission, avec peu de perte d'information.

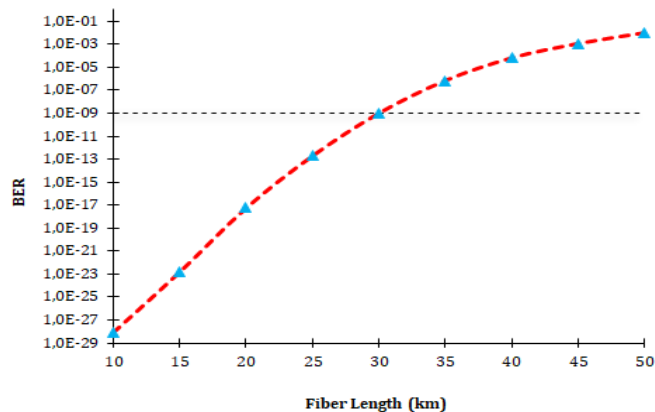


FIGURE III.9 – Variation de BER en fonction de la longueur de fibre pour le code MFCC

III.6.3 Impact de la distance avec différents débits

On observe sur la figure III.10 que les performances du système BER1 utilisant le code MFCC ($W=3$) avec un débit binaire de 155 Mbps sont nettement meilleures que celles du système BER2 avec un débit de 622 Mbps. Pour le système BER1 à 155 Mbps, le BER peut atteindre un niveau acceptable (10^{-9}) jusqu'à une longueur de fibre d'environ 30 km. En revanche, le système BER2 à 622 Mbps ne peut pas maintenir un BER de 10^{-9} (atteint des valeurs supérieures à 10^{-2}). Cela indique que le système BER1 utilisant le code MFCC ($W=3$) à 155 Mbps est capable de mieux supprimer les effets nuisibles comme le PIIN (Optical Phase-Induced Intensity Noise) et le MAI (Multiple Access Interférence) que le système BER2 à plus haut débit de 622 Mbps. En conclusion, le code MFCC ($W=3$) à 155 Mbps semble offrir de meilleures performances et une plus grande portée de transmission que le système à 622 Mbps.

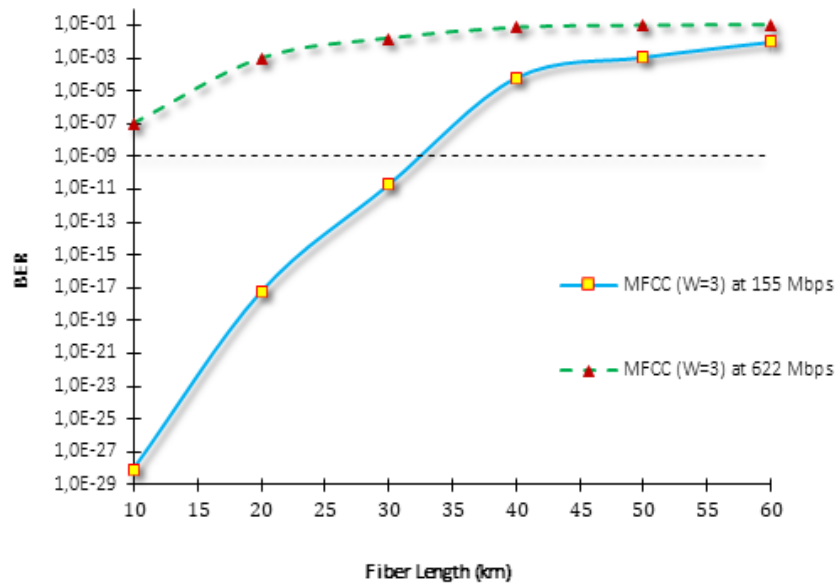


FIGURE III.10 – Variation de BER en fonction de la longueur de fibre pour le code MFCC avec différents débits binaire de données

III.7 Conclusion

Une nouvelle famille de codes appelés "Codes de Corrélacion Croisée Flexible" (MFCC) a été étudiée et proposée pour les systèmes de transmission optique OCDMA. L'analyse de performance a été réalisée en calculant le rapport signal sur bruit (SNR) et le taux d'erreur binaire (BER), en prenant en compte les effets du bruit PIIN et sources de bruit thermique. Afin d'évaluer les performances du code MFCC proposé, les résultats numériques obtenus ont été comparés à ceux de deux autres codes existants : les codes MDW et RD. Cette comparaison a montré que le code MFCC offre de meilleures performances en termes de BER par rapport aux codes MDW et RD. De plus, la simplicité de conception et la flexibilité du contrôle de la corrélation croisée font du code MFCC un candidat particulièrement bien adapté pour être utilisé dans les futures applications basées sur la technologie OCDMA. Ces caractéristiques le rendent plus facile à mettre en œuvre et à optimiser pour répondre aux exigences spécifiques des futurs systèmes OCDMA.

Bibliographie

- [1] M. S. Anuar, S. A. Aljunid, N. M. Saad, and S. M. Hamzah, "New design of spectral amplitude coding in OCDMA with zero cross-correlation," *Opt. Commun.*, vol. 282, no. 14, pp. 2659–2664, Jul. 2009.
- [2] N.Djeffal, S.A.Alunid, C.B.M.Rashidi, A.O.Aldhaibani, and I. Messaoudene "A New MFCC Code for Spectral Amplitude Coding OCDMA System," *ARNP Journal Eng. Appl. Sci.*, pp. 1–6, 2015.
- [3] B. Adil, "Sécurisation de l' information via un canal optique."Thèse de doctorat enElectronique, Université Mohamed Seddik Ben Yahia,Jijel, 2018
- [4] Ihssan Sh. H, Feras N. Hasoon, Sahbudin Shaari, "Optical CDMA system parameters limitations for AND subtraction detection scheme under enhanced double weight (EDW) code based on simulation experiment". *Optica Applicata*, vol. XL, pp.669-676, 2010.
- [5] M.Fadila,optimisation par la simulation système d'une chaine de transmission numérique par la fibre optique débit"UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID - TLEMCEM,DEPARTEMENT DU GENIE ELCTRIQUE ET ELECTRONIQUE,2010.
- [6] G. Charlet , " Etude des formats de modulation et des méthodes de détection pour les transmissions multiplexées en longueurs d ' ondes sur fibre optique au débit de 40Gbit / s et 100Gbit / s " , Thèse de Doctorat , l'Institut d'Optique Graduate School , 2011 .
- [7] S. Benameur , " La mise en œuvre , dans une chaîne de transmission optique , à haut débit , de filtres optiques à longueur d'onde central réglable " , Thèse de Doctorat , UNIVERSITÉ DE LIMOGES / I'UNIVERSITE DE SIDI BEL - ABBES , 2016 .
- [8] J.L. VERNEUIL , " Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits / s , " Thèse de Doctorat , UNIVERSITE DE LIMOGES , 2003 .
- [9] N. Boudrioua , " Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique par voie optique : vers une compensation électronique des effets de la PMD " , Thèse de Doctorat , 2007 .

- [10] Abd, T.H., Aljunid, S.A., Hilal, A,Fadhil., Ahmad, R,B. and Rashid, M,A. (2012).
New Approach For Evaluation of The Performance of Spectral Amplitude Coding-
Optical Code Division Multiple Access System on High-Speed Data Rate. IET

Conclusion Générale

L'évolution des techniques d'étalement du spectre est propulsée par la demande croissante de transmission de données, un exemple étant le CDMA optique. Cette innovation ouvre la voie à un partage plus efficace des ressources dans les réseaux optiques grâce à la diffusion des données sur une bande de fréquences plus large.

Ce mémoire s'est concentré sur l'amélioration des performances d'un système OCDMA incohérent unidimensionnel (1D) basé sur le code MFCC (Modified Flexible Cross Correlation). Les données, une fois transmises, ont un étalement de fréquence qui garantit leur robustesse dans diverses conditions météorologiques. Les séquences de code employées sont de type unipolaire quasi-orthogonal, ce qui garantit des produits d'inter-corrélation non nuls. L'IAM est l'un des principaux défis des systèmes optiques CDMA.

L'analyse approfondie de la chaîne de transmission optique, présentée dans le premier chapitre, a permis de comprendre les composantes clés et leur fonctionnement dans chaque bloc de la chaîne de transmission optique.

Le deuxième chapitre examine ensuite les diverses méthodes d'accès multiples employées dans les systèmes de communication en général et dans les systèmes optiques en particulier. L'étude a conduit à l'adoption et nous avons présenté l'évolution des performances du système SAC-OCDMA ; cette dernière technique est envisagée pour les réseaux d'accès optiques afin d'exploiter au mieux la bande passante offerte par la fibre optique.

Enfin, nous avons utilisé le simulateur OptiSystem pour simuler notre chaîne de transmission. L'analyse du système est effectuée en utilisant trois critères pour évaluer les performances de ce système : le diagramme de l'œil, le taux d'erreur binaire (BER) et le facteur de qualité Q. Pour évaluer les performances du code MFCC proposé, les résultats numériques obtenus ont été comparés à ceux de deux autres codes existants : les codes MDW et RD. Cette comparaison a révélé que le code MFCC présente de meilleures performances en termes de BER par rapport aux codes MDW et RD.

LISTE DES ABREVIATIONS

APD	Avalanche Photodiode.
BER	BER Bit Error Rate (taux d'erreurs binaires).
CDMA	Code Division Multiple Acces.
DEL	Diode électroluminescente.
DL	Diode laser.
DEL	Diode électroluminescente.
DS-OCDMA	Direct Sequence Optical Code Division Multiple Access.
DFB	Distributed-feedback.
FDMA	Frequency Division Multiple Access.
FP	Fabry-Perrot.
LED	Light Emitting Diode.
LAN	Local Area Network.
MAI	Multiple Access Interference.
MZ	Mach-Zehnder.
MMF	Multi-Mode Fiber.
MDW	Mcode Double-Weight modifié.
NRZ	Non Return to Zero.
OCDMA	Oiping and Instrumentation Diagram.
OTDMA	Optical Time Division Multiple Access.
PIIN	Phase Induced Intensity Noise.
PON	Passive Optical Network.
PMD	Polarization Mode Dispersion
PRBS	Pseudo-Random Bit Sequence .
RZ	Return to Zero.
SAC-OCDMA	Spectral Amplitude Coding Optical Code Division Multiple Access
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SMF	Single Mode Fiber
SPE-OCDMA	Spectral Phase Encoding OCDMA.
TDMA	Time Division Multiple Access.
TPE-OCDMA	Temporel Phase Encoding Optical Code Division Multiple Access..
VCSEL	Vertical cavity Surface Emitting Laser.
WDM	Wavelength Division Multiplexing.
1-D	One Dimensional.