

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des sciences et de la Technologie  
Département d'Electronique et Télécommunications



**Mémoire de fin d'étude  
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : **Sciences et Technologie**  
Filière : **Télécommunications**  
Spécialité : **Réseaux et Télécommunications**

---

**Etude et analyse des performances d'un réseau d'accès optique  
sécurisé FTTH**

---

Présenté par :

-----  
**MERZOUGUI Chaima**  
-----

Sous la direction de :

**Pr. KASSA BAGHDOUCHE L.**

Junin 2024

# Remerciement

Je tiens particulièrement à remercier le tout Miséricordieux, le tout puissant, qui sans sa bénédiction ce mémoire n'aurait jamais été réalisé.

Je remercie : Mon encadreur **Pr. KASSA BAGHDOUCHE Lazhar**, pour son aide consistante, ses conseils, et pour ses remarques objectives.

Je tiens aussi à remercier messieurs les membres du jury d'avoir accepté d'examiner et évaluer mon modeste travail.

J'en profite pour exprimer ma gratitude à tous les enseignants qui ont contribué par leur collaboration, disponibilité et sympathie, durant ma formation.

J'exprime également ma gratitude à mes familles et amis qui m'ont encouragé.

J'exprime ma gratitude à tous pour le soutien qu'ils m'ont apporté.

# Dédicace

A mes très chers parents, Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez arrêté de me donner depuis ma naissance jusqu'à ce jour.

Maman qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite.

A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger. Que dieu les gardes et les protèges.

J'espère que je suis la bonne fille que vous êtes rêvés de l'avoir.

À tous mes amis, tous ceux qui j'ai passé des meilleurs moments et gardé de très bon souvenirs **Hana, Donia, Rania, jihan, zaineb, Mayssa, Hadil.**

A mes adorables sœurs **Radwa, Ayat, Nesrine.**

A mes frères **Oussama, Yahia.**

**A** tous ceux qui me sont chères.  
tous ceux qui m'aiment.  
tous ceux que j'aime.

Je dédie ce modeste travail.

***Merzougui Chaima***

# Table des Matières

<b>Remercîment</b>	.....	i
<b>Dédicace</b>	.....	ii
<b>Table des matières</b>	.....	iii
<b>Liste des figures</b>	.....	iii
<b>Liste des tableaux</b>	.....	vii
<b>Introduction générale</b>	.....	1

## Chapitre 1 : Généralités sur les réseaux d'accès optiques

1.1	Introduction .....	3
1.2	Classifications des réseaux de télécommunications .....	3
1.2.1	Le réseau étendu ou longue distance WAN .....	4
1.2.2	Le réseau métropolitain MAN .....	5
1.2.3	Le réseau local LAN.....	6
1.3	Architecture des réseaux optiques d'accès.....	7
1.3.1	Réseau optique actif (AON).....	7
1.3.2	Réseau optique passif (PON) .....	8
1.4	Principe de fonctionnement d'un réseau optique passif PON .....	9
1.4.1.	La voie descendante .....	10
1.4.2.	La voie montante .....	11
1.5	Différentes architectures du réseau optique passif PON.....	12
1.5.1	Architecture du réseau PON unidirectionnelle .....	13
1.5.2	Architecture du réseau PON bidirectionnelle .....	13
1.6	Les éléments d'un réseau optique passif PON .....	14
1.6.1.	OLT .....	14
1.6.2.	ONT .....	15
1.6.3.	Coupleur optique .....	15
1.7	Les standards de l'architecture passive PON .....	16
1.7.1	APON .....	16
1.7.2	BPON.....	17

1.7.3	EPON.....	18
1.7.4	GPON .....	18
1.8	Architectures des réseaux optiques FTTX .....	20
1.8.1	FTTH .....	20
1.8.2	FTTB .....	22
1.8.3	FTTC/ FTT Cab .....	22
1.9	La sécurité et la fiabilité d'un réseau passif .....	22
1.10	Conclusion.....	23

## **Chapitre 2 : L'accès multiple par répartition de code en optique OCDMA**

2.1.	Introduction .....	24
2.2.	Les techniques de multiplexage optiques.....	24
2.2.1.	Accès multiple par répartition dans la fréquence (FDMA) .....	25
2.2.2.	Accès multiples par répartition en longueur d'onde (WDM) .....	25
2.2.3.	Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) .....	26
2.2.4.	Accès multiple par répartition de codes optiques(OCDMA).....	26
2.3.	Classification des techniques OCDMA .....	28
2.3.1.	OCDMA par encodage temporel DS-OCDMA .....	29
2.3.2.	OCDMA par encodage temporel SPE-OCDMA .....	30
2.3.3.	OCDMA par encodage spectrale SAC-OCDMA.....	30
2.4.	Encodage optique par réseaux de Bragg .....	31
2.5.	Méthodes de détection optique .....	33
2.6.1.	Méthode de détection spectrale directe .....	33
2.6.2.	Détection balancée par la méthode complémentaire .....	33
2.6.	Les paramètres des codes optiques .....	34
2.7.1.	La longueur du code (L) .....	34
2.7.2.	Le poids du code (W) .....	35
2.7.3.	La corrélation croisée ( $\lambda$ ).....	35
2.7.4.	La cardinalité (C).....	36
2.7.	Les algorithmes de génération des codes optiques .....	36
2.8.1.	Algorithme de génération du code EDW.....	36
2.8.2.	Algorithme de génération du code MD .....	40
2.8.	Conclusion.....	45

**Chapitre 3 : Résultats et Interprétations**

3.1. Introduction .....	46
3.2. Principe de fonctionnement du réseau d'accès optique FTTH.....	46
3.3. Modèle du réseau d'accès optique FTTH sous OptiSystem .....	47
3.3.1. Partie OLT .....	48
3.3.2. Coupleur optique .....	49
3.3.3. La fibre optique .....	49
3.3.4. Partie de réception .....	50
3.4. Paramètres de la simulation.....	50
3.5. Performances du réseau optique sécurisé FTTH .....	51
3.5.1. Influence de la puissance optique d'émission.....	51
3.5.2. Influence de la longueur de la fibre optique .....	53
3.5.3. Influence de l'atténuation de la fibre optique .....	55
3.5.4. Influence de la dispersion chromatique de la fibre optique .....	56
3.6. Conclusion.....	58
<b>Conclusion Générale</b> .....	<b>59</b>
<b>Références Bibliographiques</b> .....	<b>61</b>

## Liste des figures

Figure 1.1: Différentes parties d'un réseau optique .....	4
Figure 1.2: Architecture d'un réseau étendu WAN. ....	5
Figure 1.3: Architecture d'un réseau métropolitain MAN. ....	6
Figure 1.4: Architecture d'un réseau local LAN. ....	7
Figure 1.5: Architecture d'un réseau optique actif (AON). ....	8
Figure 1. 6: Architecture d'un réseau optique passif (PON). ....	8
Figure 1.7: Topologies d'architectures point-à-Multipoint. ....	9
Figure 1.8: Principe de fonctionnement d'un réseau PON.....	10
Figure 1.9 : Trafic descendante dans un réseau PON. ....	11
Figure 1.10 : Trafic montant dans un réseau PON. ....	12
Figure 1.11 : Les fenêtres d'utilisation. ....	12
Figure 1.12 : Architecture PON unidirectionnelle. ....	13
Figure 1.13 : Architecture PON bidirectionnelle. ....	14
Figure 1.14: Structure de l'OLT et ONU. ....	15
Figure 1.15: Structure d'un coupleur optique.....	16
Figure 1.16: Architecture APON [9]. ....	17
Figure 1.17: Architecture BPON. ....	17
Figure 19 : Architecture GPON.....	19
Figure 1.20: Architecture des différentes technologies FTTX. ....	20
Figure 1.21: Structure d'un réseau FTTH [14]. ....	21
Figure 1.22 : Architecture point à point. ....	21
Figure 1.23 : architecture point –multipoint.....	21
Figure 1.24: Structure d'un réseau FTTB [14].....	22
Figure 1.25 : Structure d'un réseau FTTC [14].....	22
Figure 2.1 : Accès multiples par répartition de fréquences FDMA.....	25
Figure 2.2: Accès multiples par répartition en longueur d'onde WDM. ....	26
Figure 2.3 : Accès multiples par répartition dans le temps TDMA. ....	26
Figure 2.4 : Accès multiples par répartition en code CDMA.....	27
Figure 2.5 : Accès multiples par répartition de code optique OCDMA. ....	28

Figure 2.6 : Présentation schématique du DS-CDMA.....	29
Figure 2.7 : Présentation schématique du SPE-OCDMA. ....	30
Figure 2.8: Structure d'un système SAC-OCDMA. ....	31
Figure 2.9 : Schéma d'un réseau de Bragg et leurs spectres. ....	32
Figure 2.10 : Représentation schématique du SAC-OCDMA, chaque couleur représente une case fréquentielle différente.....	32
Figure 2.11 : Méthode de détection spectrale directe. ....	33
Figure 2.12 : Récepteur pour un signal SAC-OCDMA ayant le code $i$ . ....	34
Figure 2.13 : L'organigramme de l'algorithme EDW [28].....	38
Figure 2.14 : L'organigramme de l'algorithme MD. ....	43
Figure 3.1 : Architecture générale d'un réseau d'accès optique sécurisé FTTH.....	47
Figure 3.2 : Modèle du réseau d'accès optique sécurisé FTTH sous OptiSystem. ....	48
Figure 3.3 : Modèle de l'émetteur sous OptiSystem.....	49
Figure 3.4 : Modèle de coupleur optique sous OptiSystem. ....	49
Figure 3.5: Modèle de la fibre optique sous OptiSystem. ....	50
Figure 3.6: Modèle du récepteur sous OptiSystem. ....	50
Figure 3.7: Diagramme de l'œil du réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs de la puissance optique de transmission.....	52
Figure 3.8 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la puissance optique de transmission pour un réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD.....	53
Figure 3.9: Diagramme de l'œil du réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs de longueur de la fibre optique de transmission. ....	54
Figure 3.10: Evolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de transmission pour un réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD.....	54
Figure 3.11: Diagramme de l'œil du réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs de l'atténuation de la fibre optique de transmission. ....	55
Figure 3.12: Evolution du facteur de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique pour un réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD. ....	56
Figure 3.13: Diagramme de l'œil du réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs de la dispersion chromatique de la fibre optique. ....	57



Figure 3.14: Evolution du facteur de qualité en fonction de dispersion chromatique de la fibre optique pour un réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD.....58

## Liste des tableaux

Tableau 1.1 : comparaison des standard PON [11]. .....	19
Tableau 2.1 : Exemple des familles des codes pour sept utilisateurs. ....	35
Tableau 3.1 : Paramètres de simulation pour le réseau d'accès optique FTTH. ....	51

# Introduction Générale

**H**istoriquement le fil téléphonique est le premier support de télécommunication qui a permis de développer la télégraphie et du téléphone. Il est toujours le média principal pour le raccordement aux réseaux téléphoniques et informatiques (téléphone, fax, internet...), sous forme de paire(s) torsadée(s). Cependant, le besoin croissant en capacité des réseaux de télécommunications dans le monde a fait que ces supports traditionnels soient saturés, en termes de débit et de bande passante. Récemment, à l'arrivée de la fibre optique, le monde des télécommunications a connu un grand essor en compensant les performances et l'offre en bande passante et débits que le cuivre n'est plus en mesure de répondre face à la demande du très haut débit des nouveaux services multimédias.

Le réseau d'accès optique FTTH représente une technologie particulièrement bénéfique pour les entreprises. Grâce à ses vitesses de connexion élevées, sa fiabilité et sa stabilité, elle assure un accès internet à haut débit essentiel au bon déroulement des activités en ligne. La plupart des réseaux d'accès optiques déployés aujourd'hui sont basés sur les technologies GPON. Ce sont des réseaux optiques passifs à base d'une architecture point à multipoints fonctionnant au débit de 1,25 ou 2,5 Gb/s. Pour la future demande de bande passante pour laquelle un débit de l'ordre des Gbits/s par utilisateur serait nécessaire, le réseau d'accès optique à base du multiplexage en longueur d'onde WDM semble suffisant à cause du débit trop élevé pour un grand nombre d'utilisateurs. Ainsi, l'utilisation de la technologie de multiplexage par répartition de code en optique OCDMA dans le réseau d'accès optique est une solution très prometteuse pour pouvoir monter à un débit très élevé et sécuriser le réseau. La forte sécurité du réseau optique est expliquée grâce au fait que la communication avec chaque utilisateur est dédiée à un code optique unique. Pour cette raison, le réseau d'accès optique sécurisé apparaît actuellement comme un des candidats les plus potentiels pour la future génération des réseaux. L'objectif de notre projet de fin d'étude est d'étudier et analyser les performances d'un réseau d'accès optique sécurisé. Dans ce cadre, nous sommes intéressés sur les réseaux d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD.

Le manuscrit est structuré en trois chapitres :

Le *premier chapitre* décrit de manière générale l'architecture des réseaux optiques d'accès et le principe de fonctionnement d'un réseau optique passif PON. Nous citons les caractéristiques des éléments qui interviennent dans ce type de réseaux optiques. Nous verrons aussi les standards de l'architecture passive PON et l'architectures des réseaux optiques FTTX.

Le *deuxième chapitre* est consacré à l'étude des différentes techniques de multiplexage optique. En particulier, l'accès multiple par répartition des codes optiques OCDMA, ainsi que ces différentes techniques. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous présentons les algorithmes des générations des codes optiques EDW et MD et leurs paramètres.

Le *troisième chapitre* fait l'objet de l'étude et l'analyse des performances du réseau d'accès optique sécurisé FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD. Nous étudions l'influence de la puissance optique d'émission, la longueur de la fibre optique ainsi que ses paramètres physiques (l'atténuation et la dispersion chromatique) sur les performances du réseau conçue.

Enfin, nous finalisons notre mémoire avec une conclusion générale et perspective.

# Chapitre 1 : Généralités sur les réseaux d'accès optiques

## 1.1 Introduction

Ces dernières années, la forte demande en débit, induite par des besoins croissants tels que la diffusion de vidéos et d'images en haute qualité, ainsi que la visioconférence exige une bande passante considérable. Dans ce contexte, les réseaux optiques, notamment les réseaux optiques passifs PON, sont plus déployés aussi bien chez les utilisateurs résidentiels que commerciaux pour répondre à ces exigences. Ces réseaux optiques PON sont caractérisés par leur aspect "*Passif*", utilisant des séparateurs non alimentés pour diriger les données depuis un point central vers plusieurs destinations, et s'avère essentiel dans le dernier tronçon de la connexion réseau entre un fournisseur de services Internet et un utilisateur.

Ce chapitre expose une introduction aux réseaux optiques, en mettant particulièrement l'accent sur les réseaux d'accès optiques et leur mode de fonctionnement. Il aborde l'utilisation de la fibre optique bidirectionnelle pour les deux liaisons du réseau. De plus, il explore les divers standards de réseau optique PON tels que l'APON, le BPON, l'EPON, et le GPON, qui suscitent notre intérêt.

## 1.2 Classifications des réseaux de télécommunications

Il existe plusieurs classes des réseaux qui peuvent être classés et différenciés en fonction de leur taille, zones de couverture, les technologies utilisées et les tâches à accomplir. Ces principales classes sont :

- *Le réseau étendu ou longue distance réseaux WAN.*
- *Le réseau métropolitain MAN.*
- *Le réseau local LAN.*

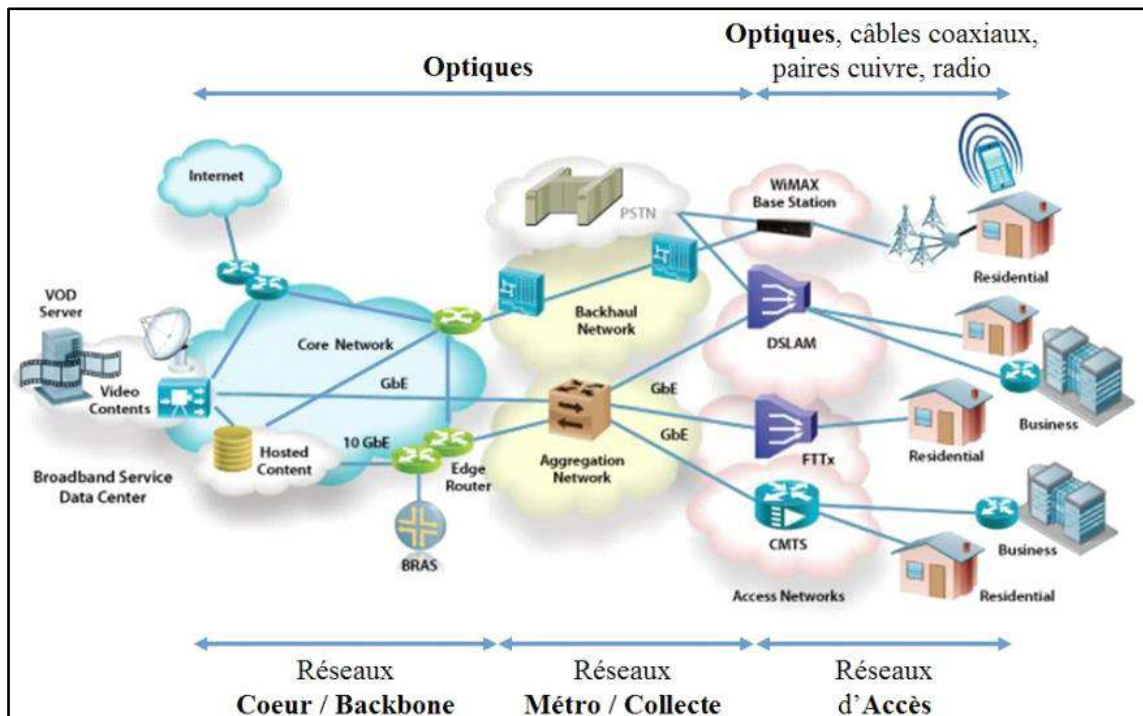


Figure 1.1: Différentes parties d'un réseau optique.

### 1.2.1 Le réseau étendu ou longue distance WAN

Ces réseaux, connus également sous le nom de réseaux WAN (Wide Area Network), ont une portée plus grande, et sont généralement présentés dans une topologie en maille ou en anneau avec des débits de transmission de données supérieurs à 100 Gbit/s. Les distances d'interconnexion vont de 100 km à plus de 1000 km, couvrant généralement une région, un pays ou plusieurs pays (relier les MANs et les LANs). Elles sont composées de toutes les artères de transmission les plus importantes du monde.

Ces réseaux utilisent des liaisons à fibres optiques ultra-élevées avec des débits de transmission de 2,5 à 10 Gbit/s par canal (soit une capacité totale de 640 Gbit/s). Aussi, ces réseaux utilisent des techniques de multiplexage WDM, SONEY et SDH.

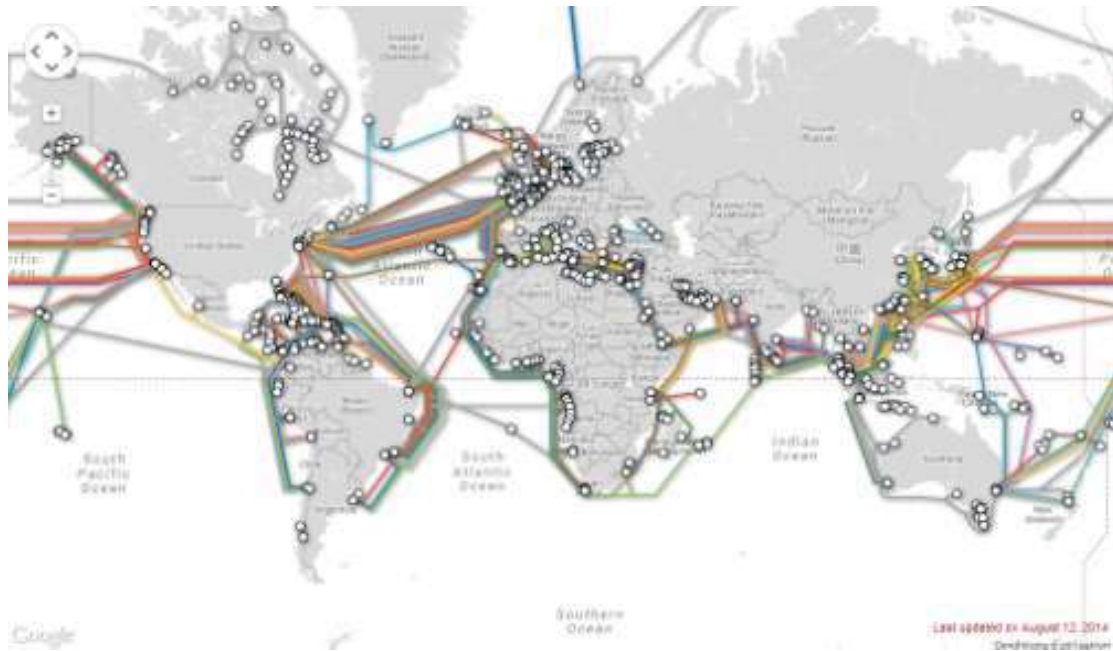


Figure 1.2: Architecture d'un réseau étendu WAN.

### 1.2.2 Le réseau métropolitain MAN

Les réseaux métropolitains, appelés aussi réseaux MAN (Métropolitan Area Network) ont une zone métropolitaine qui comprend plusieurs réseaux locaux LAN situés à proximité (jusqu'à quelques dizaines de kilomètres) et reliés à des débits d'environ 100 Mbps (figure 1.3). Pour cela, ce réseau permet à deux nœuds distants de communiquer comme s'ils appartenaient à un même réseau local. Ainsi que, ces réseaux peuvent être publics ou privés, et ils ont une topologie soit en anneau, maille ou étoile.

Le réseau MAN est composé de commutateurs ou de routeurs reliés par des connexions haut débit (généralement en fibre optique), et séparés par des distances varient de 10 km à 100 km.

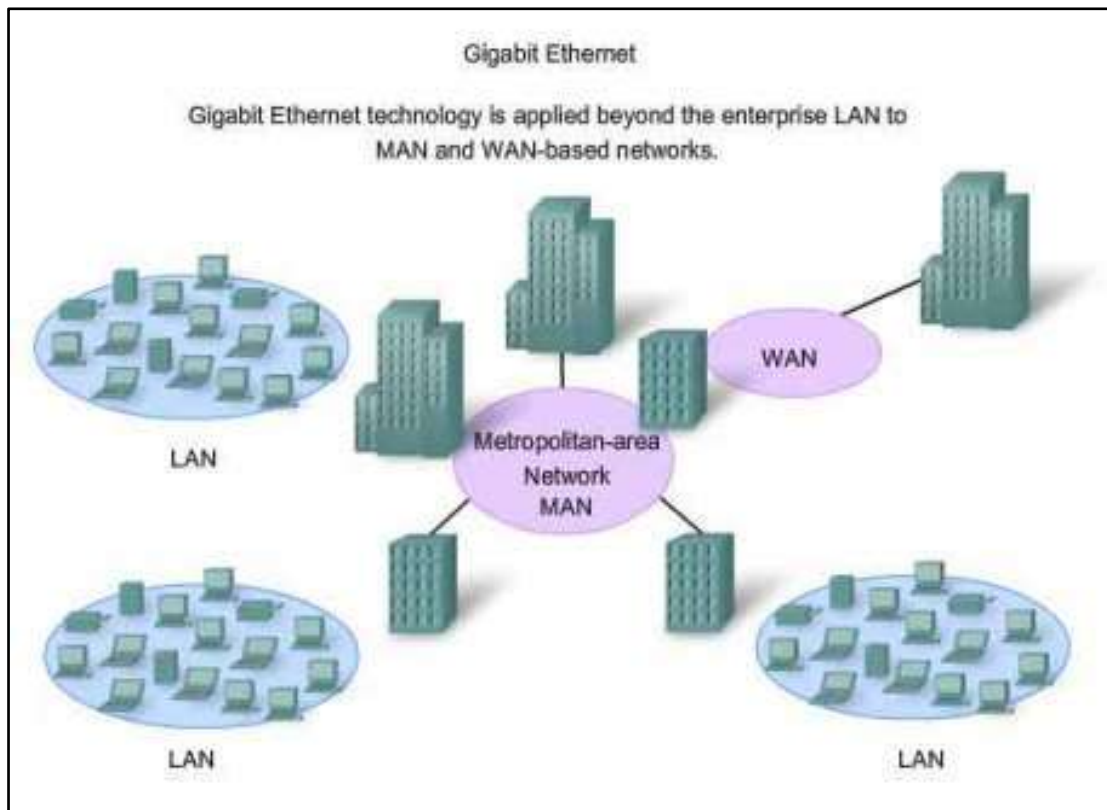


Figure 1.3: Architecture d'un réseau métropolitain MAN.

### 1.2.3 Le réseau local LAN

Les réseaux locaux, connus également sous le nom des réseaux LAN (Local Area Network), sont des moyens de communication internes à un établissement ou à une entreprise, et sont donc entièrement privés et maîtrisés (Il peut s'agir d'un simple bâtiment, d'un complexe de bâtiments ou d'un campus comme zone servie).

Ces réseaux utilisant des débits de transmissions allant de 100 ou 1000 Mbits/s jusqu'au Gigabits/s et ont généralement une topologie en maille ou en anneau. La zone géographique de ces réseaux est restreinte avec des distances variant entre 10 m à 1 km.

Ainsi que, ces réseaux, incluent des passerelles ou des ponts qui permettent de relier le réseau à d'autres réseaux, tels qu'Internet. Les réseaux LAN sont des réseaux privés et utilisent des protocoles suivant Token ring, Ethernet, FDDI, ...



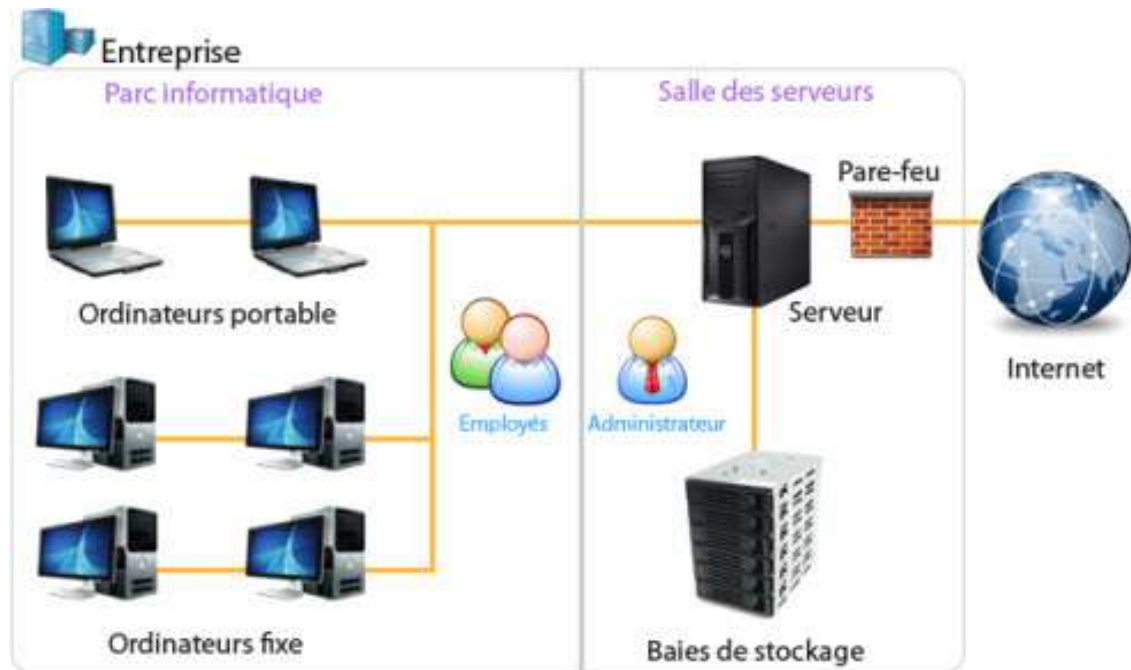


Figure 1.4: Architecture d'un réseau local LAN.

### 1.3 Architecture des réseaux optiques d'accès

Un réseau optique peut avoir une architecture active ou passive. Le choix de l'architecture pour le déploiement, qu'elle soit active ou passive, dépend du type de services à fournir, du coût de l'infrastructure, de l'infrastructure actuelle et des plans futurs de migration vers les nouvelles technologies[2].

#### 1.3.1 Réseau optique actif (AON)

L'architecture d'un réseau optique actif (AON) ou point à point (PTP) contient. Chaque utilisateur peut disposer d'une ligne fibre optique spécifique. Un réseau optique actif signifie que les dispositifs de commutation tels que les routeurs sont des dispositifs optiques actifs pendant la transmission du signal.

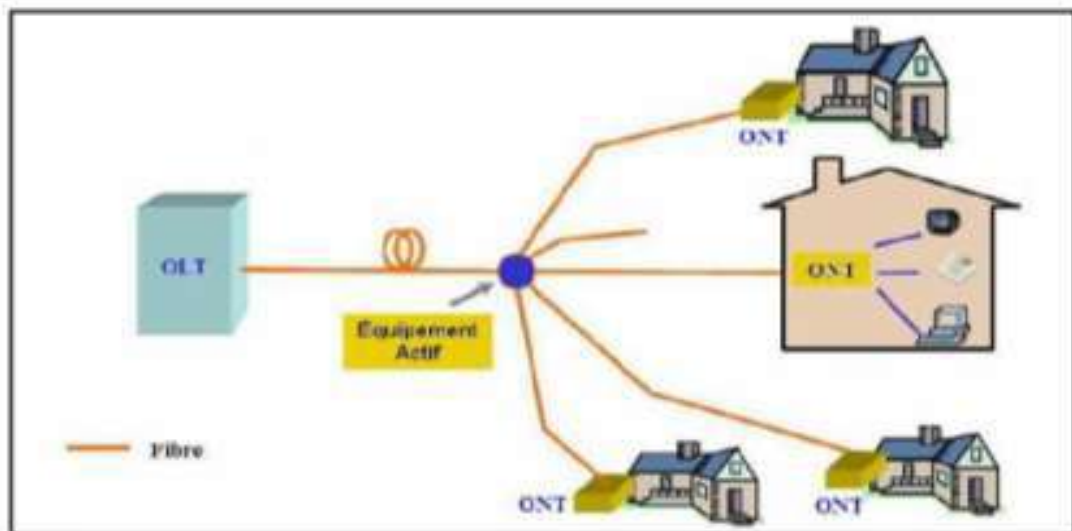


Figure 1.5: Architecture d'un réseau optique actif (AON).

### 1.3.2 Réseau optique passif (PON)

Un réseau optique passif (PON) ou un réseau point à multipoints (P2MP) est un réseau à fibre optique. Le concept d'utilisation d'un réseau optique passif (PON) ne comprend que des éléments passifs (le terme passif fait référence à des séparateurs qui ne contiennent aucun élément électronique [3]).

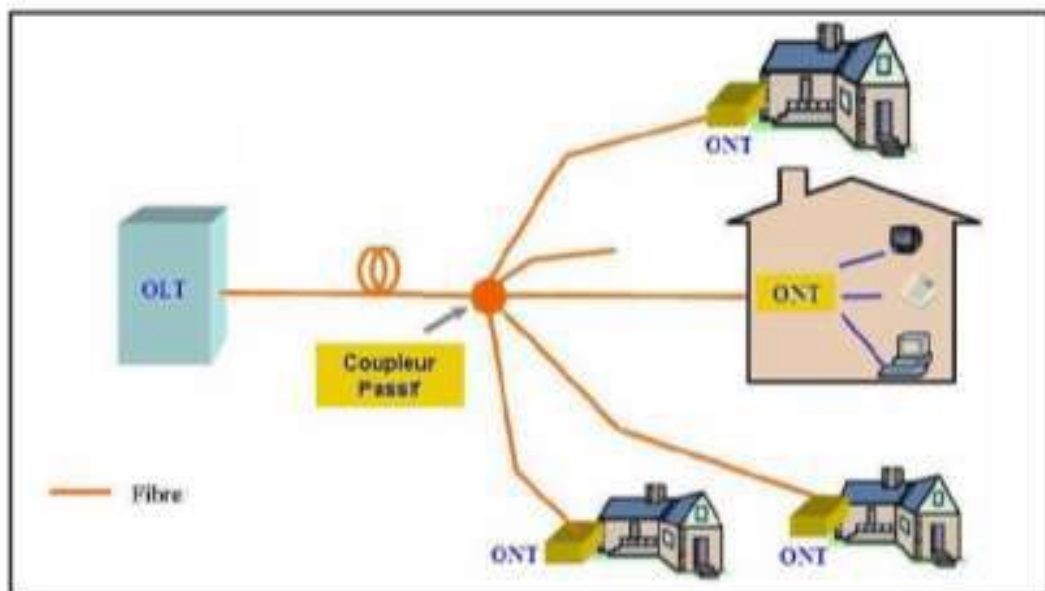


Figure 1. 6: Architecture d'un réseau optique passif (PON).

Les architectures PON peuvent être organisées:

- Dans une topologie en étoile, plusieurs ONT sont desservis par un coupleur connecté à chaque port PON de l'OLT.
- Dans une topologie en arbre, les coupleurs sont en cascade, permettant à un coupleur de desservir plusieurs sous-branches.
- Dans une topologie en bus, les coupleurs sont connectés en série pour former une ligne de communication sérialisée.

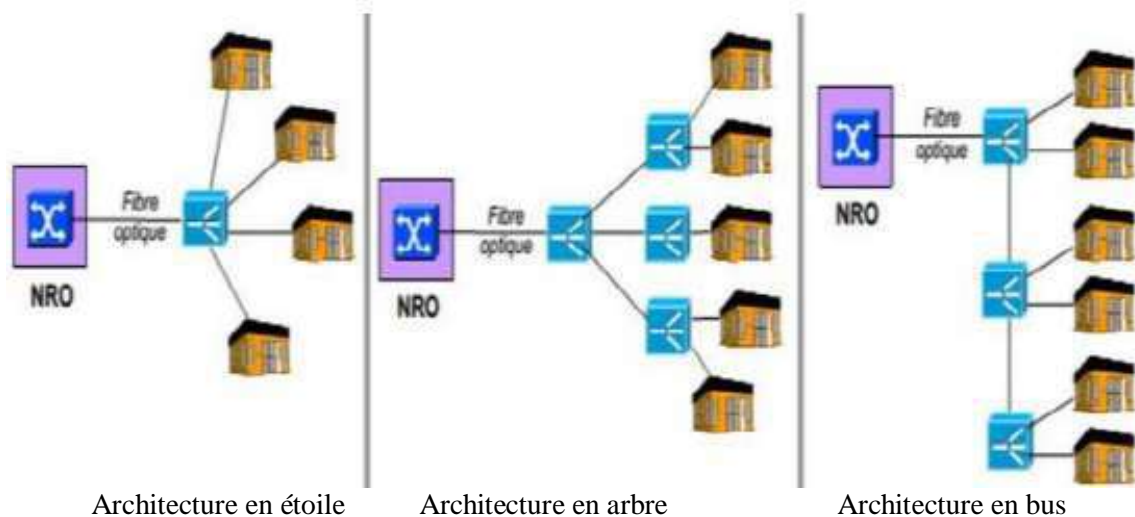


Figure 1.7: Topologies d'architectures point-à-Multipoint.

#### 1.4 Principe de fonctionnement d'un réseau optique passif PON

Dans un réseau PON la transmission se fait sur une seule fibre optique en utilisant le multiplexage de longueur d'onde WDM, il est à noter que les PONs actuels sont mono longueur d'onde (c'est-à-dire qu'ils n'utilisent qu'une seule longueur d'onde pour le sens montant ou pour le sens descendant). Il s'agit de PON-TDM [4].

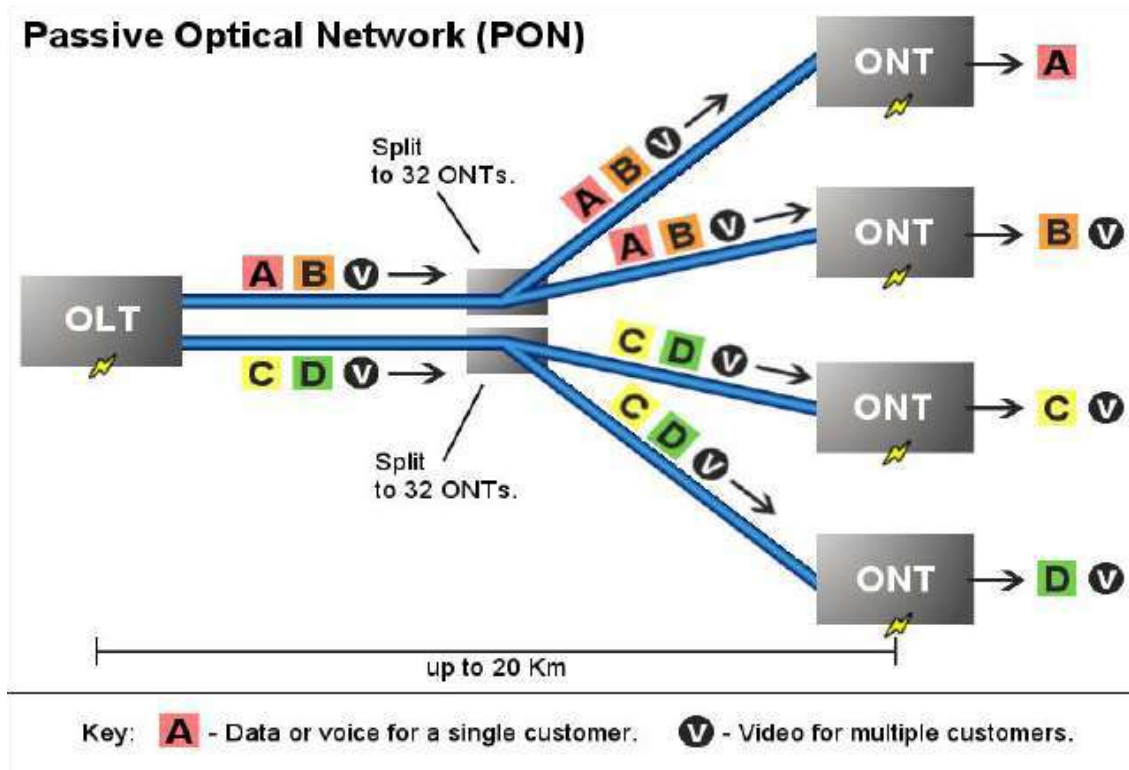


Figure 1.8: Principe de fonctionnement d'un réseau PON.

#### 1.4.1. La voie descendante

Comme indiqué dans la figure 1.9, on utilise une longueur d'onde porteuse de 1490 ou 1550 nm dû au fait qu'elle permet un plus grand débit et un budget en puissance plus efficace. Les données envoyées par l'OLT sont étiquetées en fonction de leur destinataire. Tous les ONT reçoivent toutes les données mais seul l'ONT concerné les retransmet dans le réseau interne de l'abonné. Le débit instantané du PON est partagé entre tous les abonnés qui reçoivent des données [5].

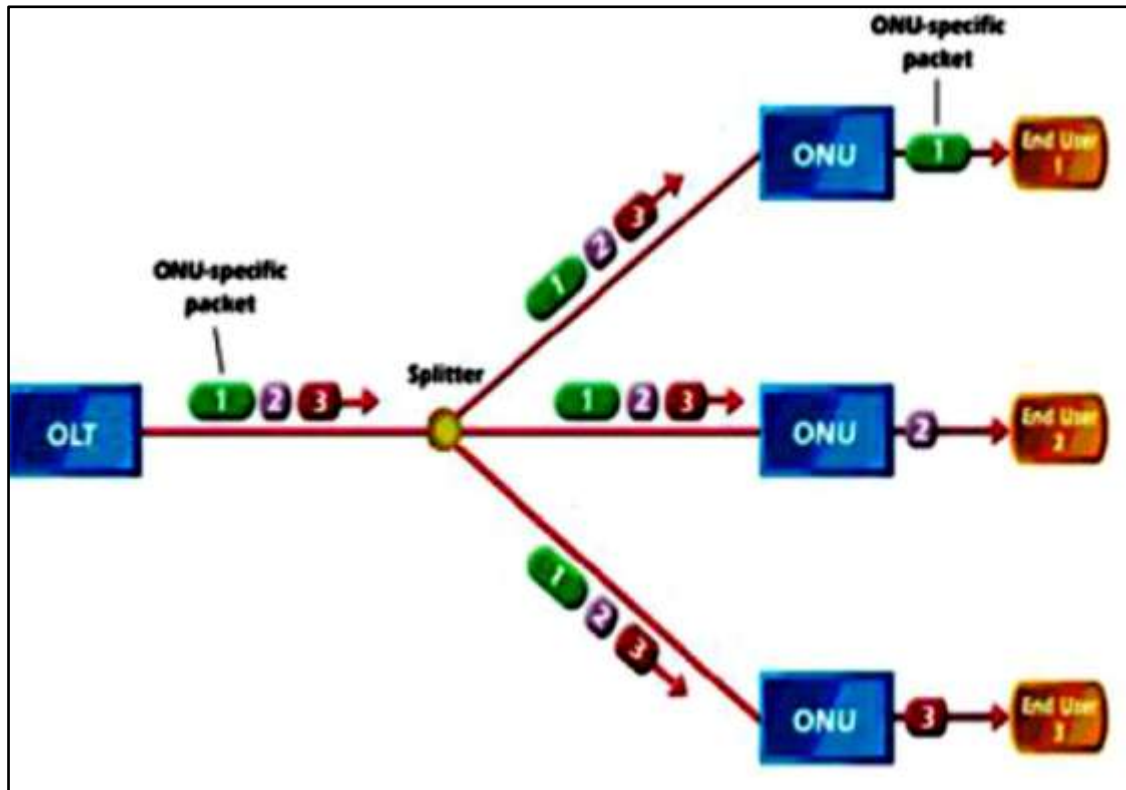


Figure 1.9 : Trafic descendante dans un réseau PON.

#### 1.4.2. La voie montante

Pour la voie montante (figure 1.10), on utilise une longueur d'onde à  $1,31\mu\text{m}$  avec des débits moins importants et des équipements moins coûteux (laser Pérot Fabry). Les utilisateurs sont multiplexés temporellement au niveau du diviseur.

Le coupleur étant passif, et les ONT émettant tous dans la même longueur d'onde, si les signaux émis par deux ONT parvenaient simultanément au coupleur, ils ressortiraient sous la forme d'un mélange illisible par l'OLT. On utilise donc un partage du "temps de parole" [5].

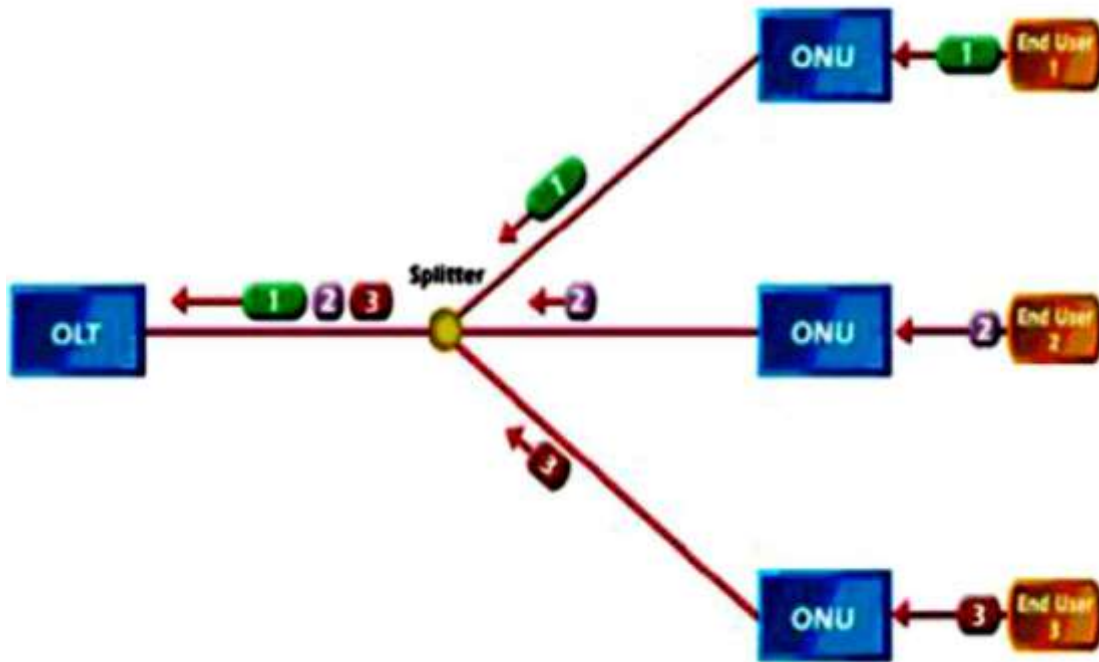


Figure 1.10 : Trafic montant dans un réseau PON.

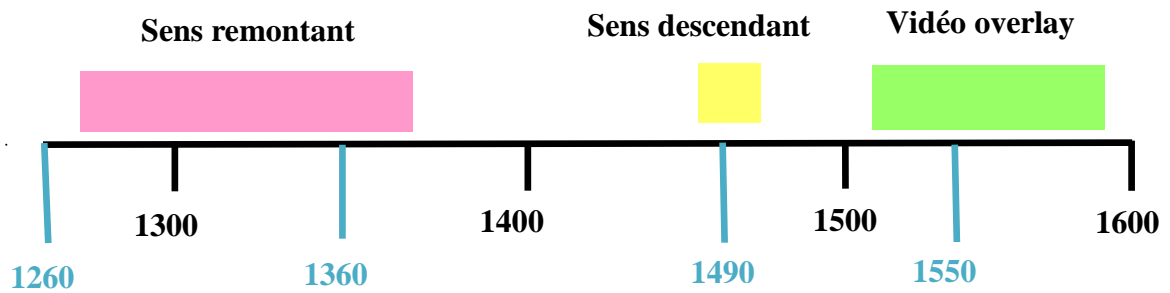


Figure 1.11 : Les fenêtres d'utilisation.

### 1.5 Différentes architectures du réseau optique passif PON

L'architecture du réseau PON peut être soit unidirectionnelle ou Bidirectionnelle

### 1.5.1 Architecture du réseau PON unidirectionnelle

Ce réseau est composé d'un émetteur OLT, coupleurs optiques passif, un récepteur ONT et ONU. Chaque ONU reçoit seulement les données qui lui sont destinées autrement, chaque client a un intervalle de temps bien précis pour émettre afin de ne pas interférer avec un autre client. La figure (1.12) illustre une liaison unidirectionnelle ou une fibre optique est dédiée dans le sens montant et une autre dans le sens descendant[6].

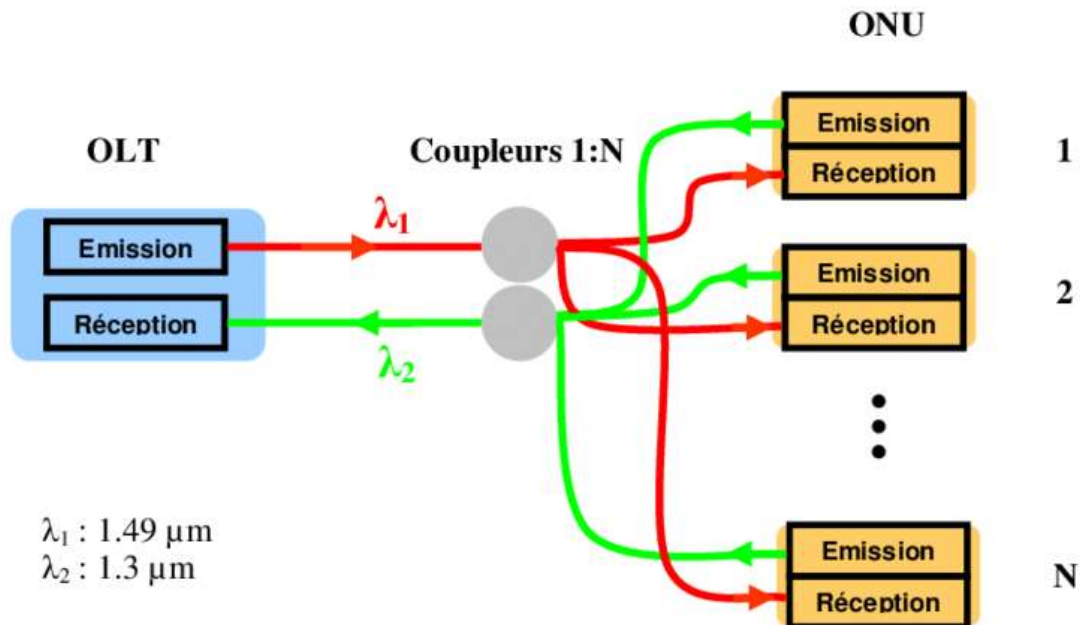


Figure 1.12 : Architecture PON unidirectionnelle.

### 1.5.2 Architecture du réseau PON bidirectionnelle

Cette architecture est utilisée afin de simplifier le réseau, économiser la fibre et limiter les points de raccordement. Elle nécessite donc un multiplexeur en longueur d'onde généralement intégré aux modules d'émission et de réception[6].



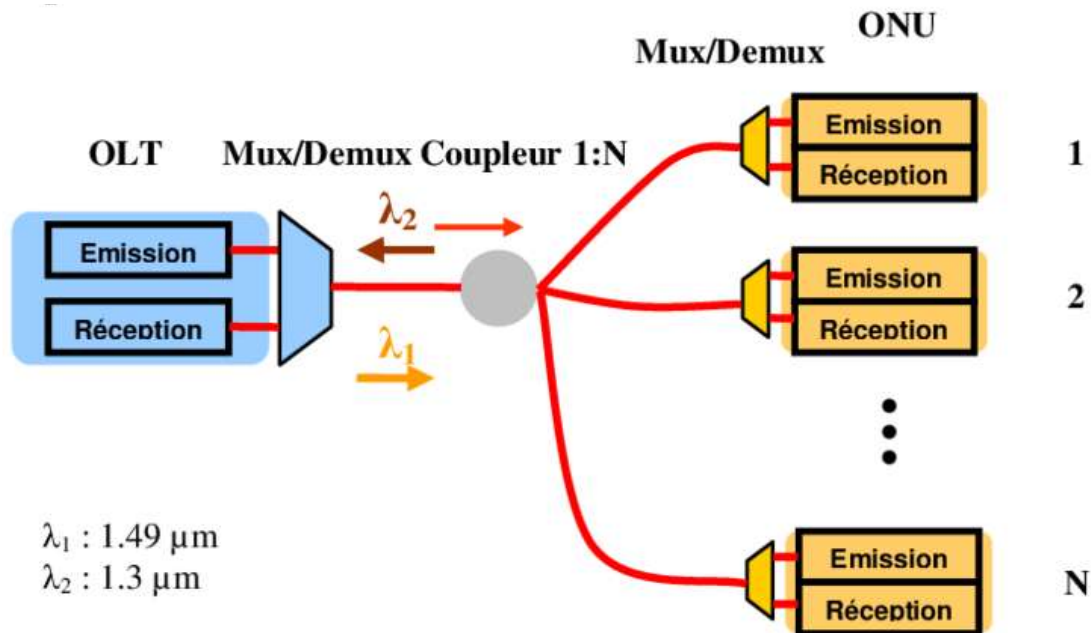


Figure 1.13 : Architecture PON bidirectionnelle.

## 1.6 Les éléments d'un réseau optique passif PON

L'architecture d'un réseau optique passif PON est basée sur trois éléments essentiels : OLT (Optical Line Terminal), ONU (Optical Network Unit), et l'élément passif qui est le coupleur (Splitter).

### 1.6.1. OLT

L'OLT est l'équipement maître d'accès optique pour des utilisateurs connectés au FTTx. Un lieu de collecte permet de partager des services comme : l'internet, la téléphonie et la vidéo. Cet équipement est actif, installé au central, envoie et reçoit des signaux lumineux porteurs des données. Le transmetteur optique est composé d'un module dont l'émetteur est généralement une diode LASER. Un récepteur qui permet d'adapter le seuil de décision de la photodiode en fonction des paquets de données reçues. L'OLT doit être conformes à la norme ITU[7].



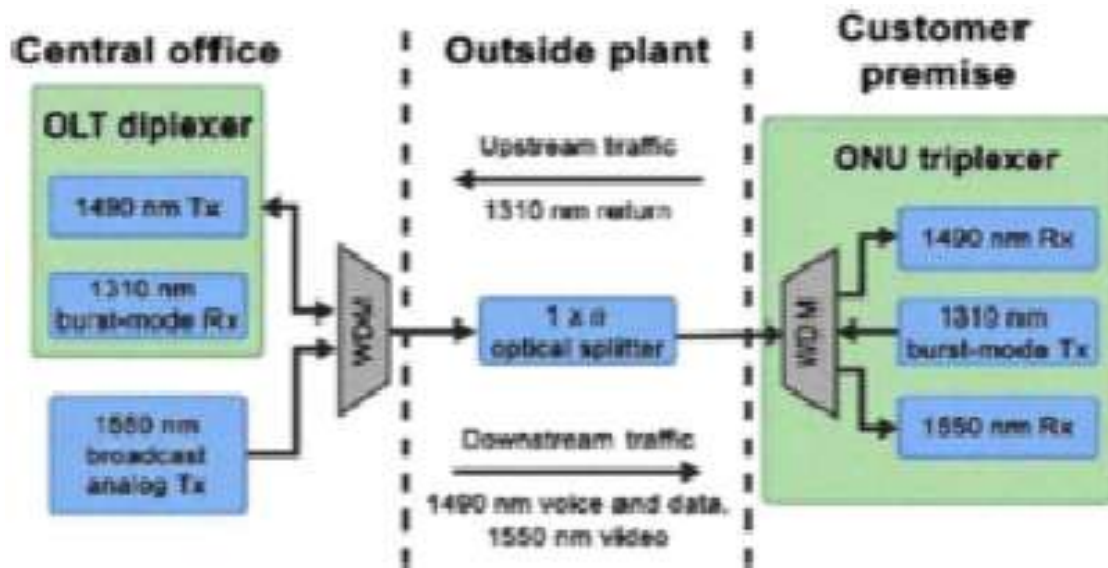


Figure 1.14: Structure de l'OLT et ONU.

### 1.6.2. ONT

L'ONT est considéré comme un modem optique auquel l'utilisateur vient connecter sa passerelle d'accès au haut débit. C'est un élément terminal du réseau optique. L'ONU est un élément générique terminal du réseau d'accès optique FTTx. Elle est composée d'un émetteur optique à base d'une diode LASER et un photorécepteur.

L'ONT est l'interlocuteur direct de L'OLT, les ONT émises sur une même longueur d'onde pour les raisons de coût et de gestion des équipements[7].

### 1.6.3. Coupleur optique

Le coupleur optique est le composant qui garantit la fonction de diviseur ou de concentrateur de la puissance optique. C'est un équipement passif qui ne demande pas d'alimentation électrique, son principe de fonctionnement est basé sur la propagation de la lumière à l'intérieur de la fibre optique [8].

Ils sont chargés de partager le signal optique pour la voie descendante (de l'OLT aux ONUs) et de recomposer le signal à partir de plusieurs signaux remontants dans l'autre sens (des ONUs aux OLT).

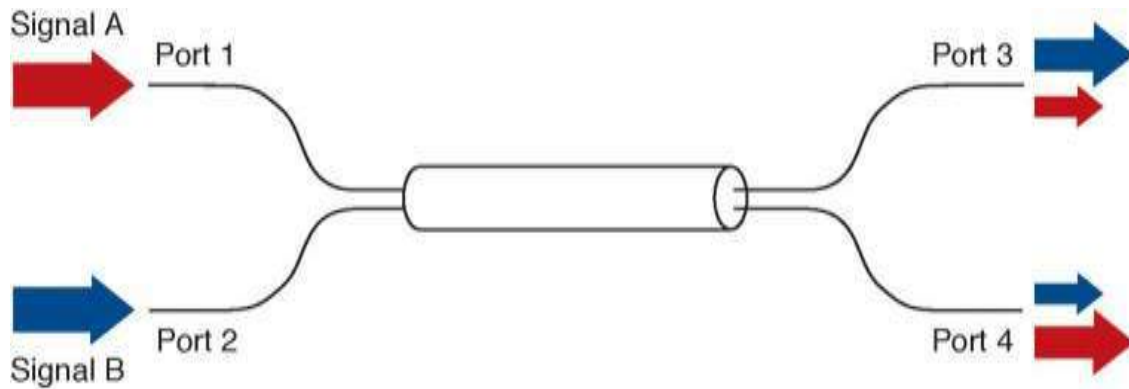


Figure 1.15: Structure d'un coupleur optique.

## 1.7 Les standards de l'architecture passive PON

Les réseaux PON ont été normalisés au niveau international par des organismes de premier plan tels que l'ITU (Union internationale des télécommunications), le FSAN (Full Service Access Network) et l'IEEE (Institut des ingénieurs en électricité et électronique).

### 1.7.1 APON

L'architecture APON (ATM Passive Optical Network) provient des techniques PON associées à l'ATM a été initiée en 1995 par l'ITU/FSAN, standardisée par l'ITU en 1998. C'est simplement un système point à multipoint sur fibre optique qui utilise l'ATM comme protocole de transmission. Avec l'APON, les données à haut débit, la voix et la vidéo peuvent être acheminées jusqu'aux abonnés sur une seule fibre.

Un système APON peut relier jusqu'à 32 abonnés au PON et leur fournit un système d'accès flexible et un débit élevé (622 Mbit/s ou 155 Mbit/s dans le sens descendant, 155 Mbit/s dans le sens montant) pour 32 abonnés. Dans le sens descendant, le multiplexage des cellules ATM est utilisé, alors qu'un protocole de TDMA commande l'accès ascendant des abonnés). La solution APON est complexe et coûteuse. Elle ne peut pas offrir de services vidéo. Le débit est limité et la récupération d'horloge peut être difficile.

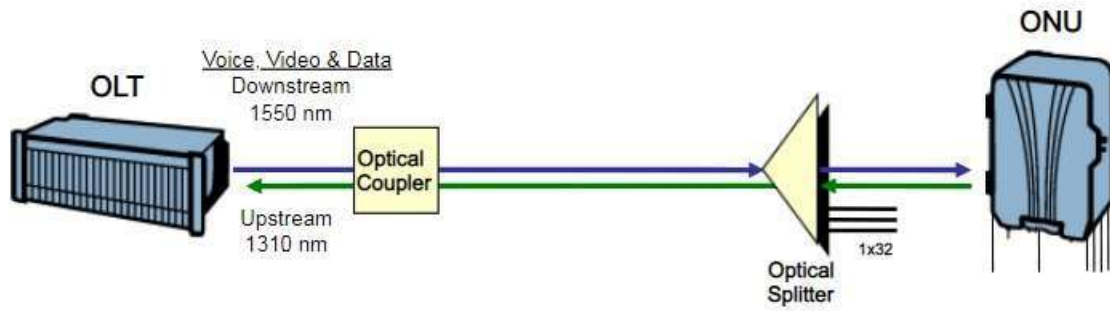


Figure 1.16: Architecture APON [9].

### 1.7.2 BPON

Broad band PON, évolution de la norme APON, il s'agit d'une technologie APON modifiée pour Permettre la diffusion vidéo. Elle supporte le WDM et dispose une allocation de bande passante dynamique. BPON transmet les données et la voix sur la même fibre t réserve des fréquences pour la télévision numérique et analogique (longueur d'onde de couverture). BPON permet des débits de 1Gb/s en liaison descendante et de 622Mb/s en liaison montante, mais son utilisation est couramment observée pour des débits de 622Mb/s liaison descendante et 155Mb/s en liaison montante.

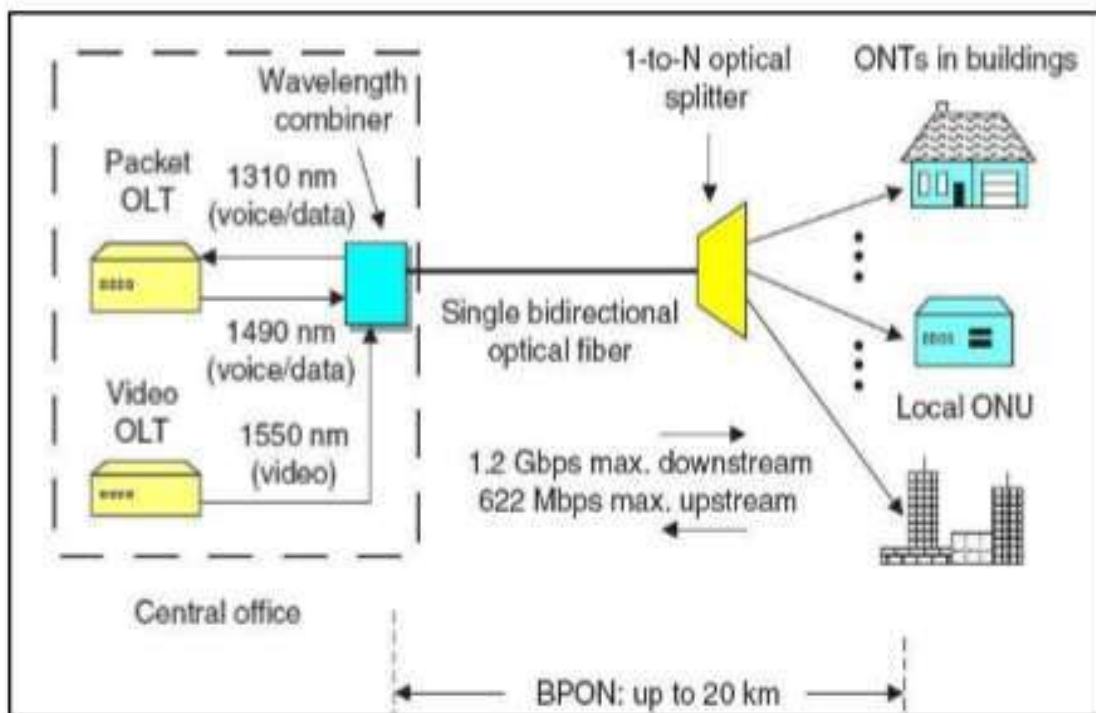


Figure 1.17: Architecture BPON.

### 1.7.3 EPON

Ethernet PON, technologie qui utilise la transmission par paquets Ethernet. La principale différence avec le APON est que les données sont transmises en paquets de longueur variable jusqu'à 1.518 octets, alors qu'APON oblige à utiliser les paquets ATM de 48 octets (avec 5 octets supplémentaires = contrôlé). Selon le protocole Ethernet, chaque paquet descendant porte l'adresse de l'ONU auquel il doit être délivré, mais ce paquet est transmis à tous les ONU. L'ONU à laquelle il est destiné le transmet, les autres le jettent. Le débit maximal est 1,25 Gbit/s symétrique, dans ce réseau une longueur d'onde est utilisée par sens de transmission et peut atteindre 32 abonnés par OLT.

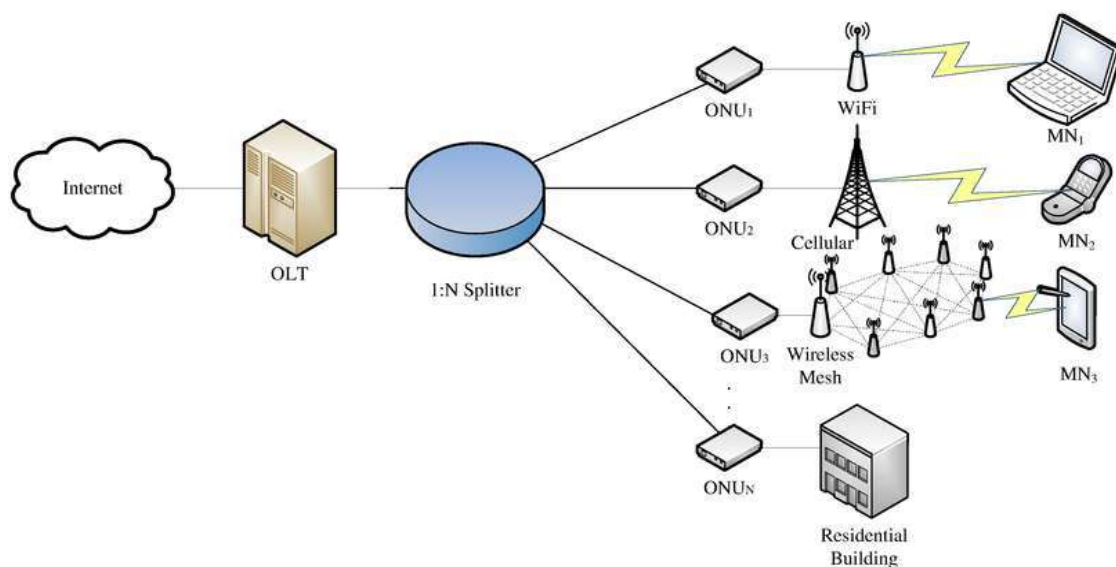


Figure 1.18: Architecture EPON.

### 1.7.4 GPON

Gigabit capable PON, la technique de ce réseau est basée sur le multiplexage temporel. Une longueur d'onde est utilisée pour la liaison montante et une autre pour la liaison descendante. GPON diffère de BPON par sa capacité à transporter des paquets et des trames Ethernet de longueurs variables. GPON offre un débit de 1.25-2,5 Gbit/s (débit asymétrique). De plus, GPON permet une plus grande distance de déploiement, jusqu'à 60 km, avec 20 km maximum entre les ONT. Enfin, le GPON permet jusqu'à 64 lignes sortantes d'un coupleur optique (splitter)[10].

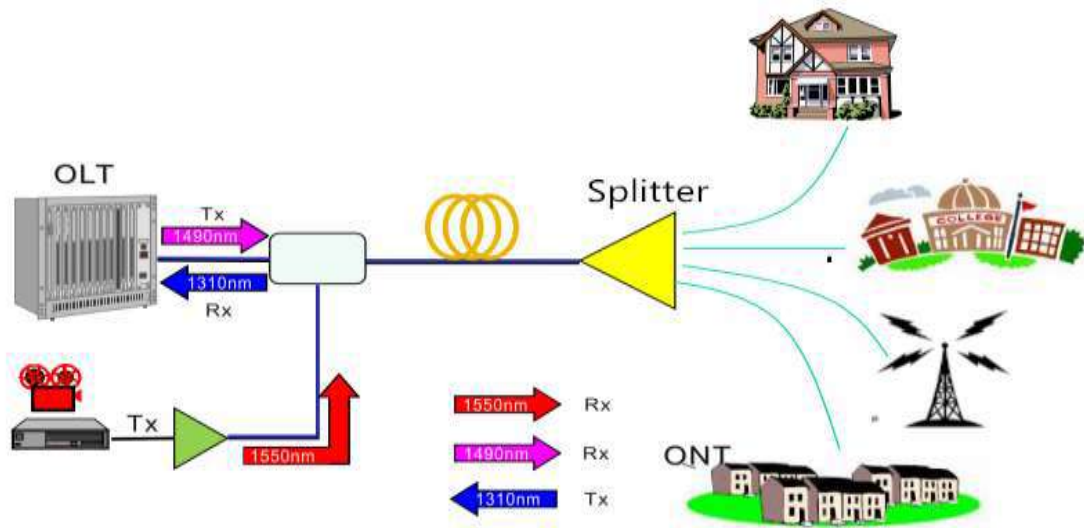


Figure 19 : Architecture GPON.

Le tableau 1.1 présent une comparaison entre les différents standards d'un réseau PON

	<b>BPON</b>	<b>GPON</b>	<b>EPON</b>
<b>Standard</b>	ITU G983	ITU G984	IEEE 802.3ah
<b>Débit de données Mb /s</b>	Descendant : 1244,622,155 Montant : 622,155	Descendant : 2488,1244 Montant : 2488, 1244, 622, 155	Descendant : 1250 Montant : 1250
<b>Modes de trafic</b>	ATM	GEM (ATM, Ethernet, TDM)	Ethernet
<b>Nombre de clients</b>	64 max	128 max	32 max
<b>Distance (logique)</b>	20 km	60 km max 20 km différentiel	10 km 20 km
<b>Longueur d'ondes</b>	Descendant : voix et données 1490 nm Vidéo numérique 1550 nm Montant :1310 nm	Descendant : voix et données 1490 nm Vidéo numérique 1550 nm Montant:1310 nm	Descendant : voix et données 1490 nm Vidéo numérique 1550 nm Montant:1310 nm
<b>Budget optique</b>	15/20/25 dB	15/20/25 dB	15/20dB

Tableau 1.1 : comparaison des standard PON [11].

## 1.8 Architectures des réseaux optiques FTTX

La technologie FTTx (Fibre To The x) représente une avancée majeure dans le domaine du transport de données à haute vitesse. Avec un débit théorique maximal de 100 Mbit/s et un niveau d'affaiblissement minimal, cette technologie exploite la fibre optique comme principal support physique. Les différents acronymes associés à cette technologie désignent les différents niveaux de la liaison où la fibre optique est utilisée.

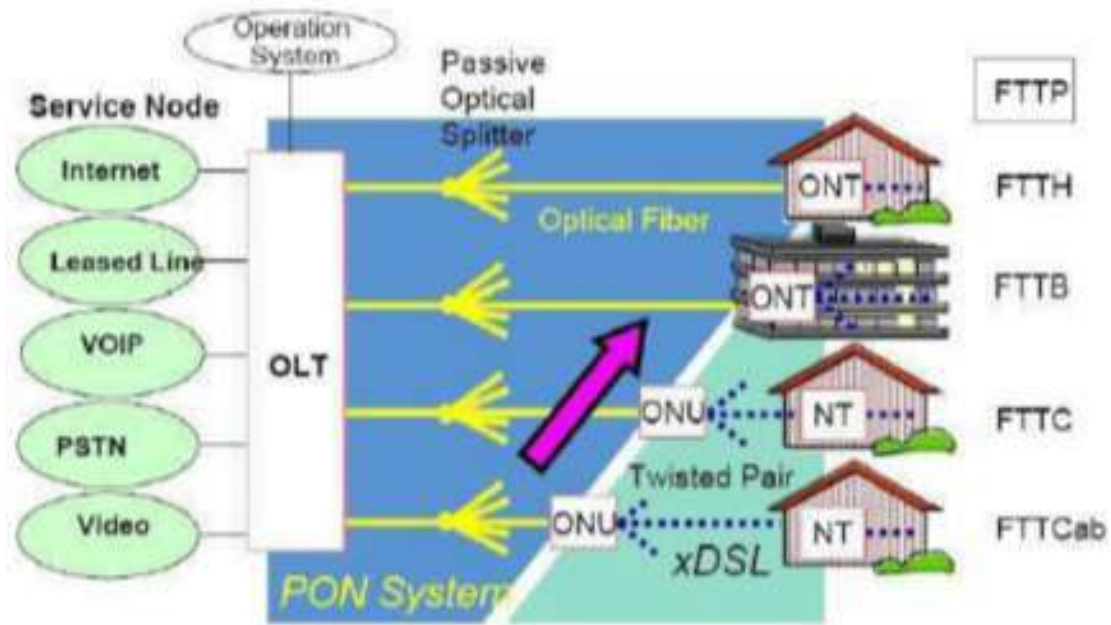


Figure 1.20: Architecture des différentes technologies FTTX.

### 1.8.1 FTTH

L'architecture FTTH (Fiber To The Home) est une technologie qui permet d'accès à internet et aux services associés à des débits de 10 Mbit/s à l'abonné grâce à la fibre optique. Un débit de 1 Gbit/s symétrique, c'est-à-dire des débits bien supérieurs à ceux obtenus grâce à la paire téléphonique en cuivre.

Deux catégories de topologies physiques sont employées pour effectuer le transport de la fibre vers le client [13] (architecture active, également appelé point à point (P2P) et l'architecture passive, appelée communément point à multipoint (PON)).



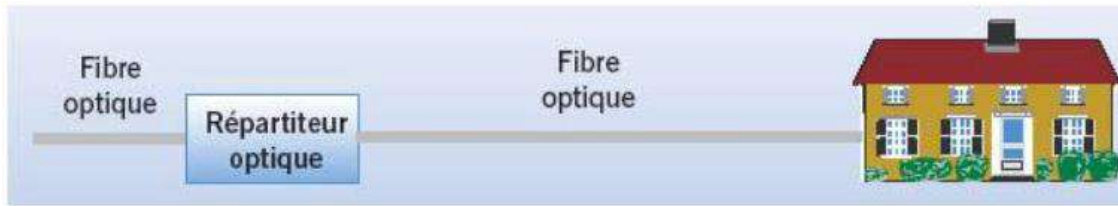


Figure 1.21: Structure d'un réseau FTTH [14].

Dans l'architecture Point à Point (P2P) une fibre optique par abonné est déployée du NRO jusqu'au foyer de l'utilisateur[6].

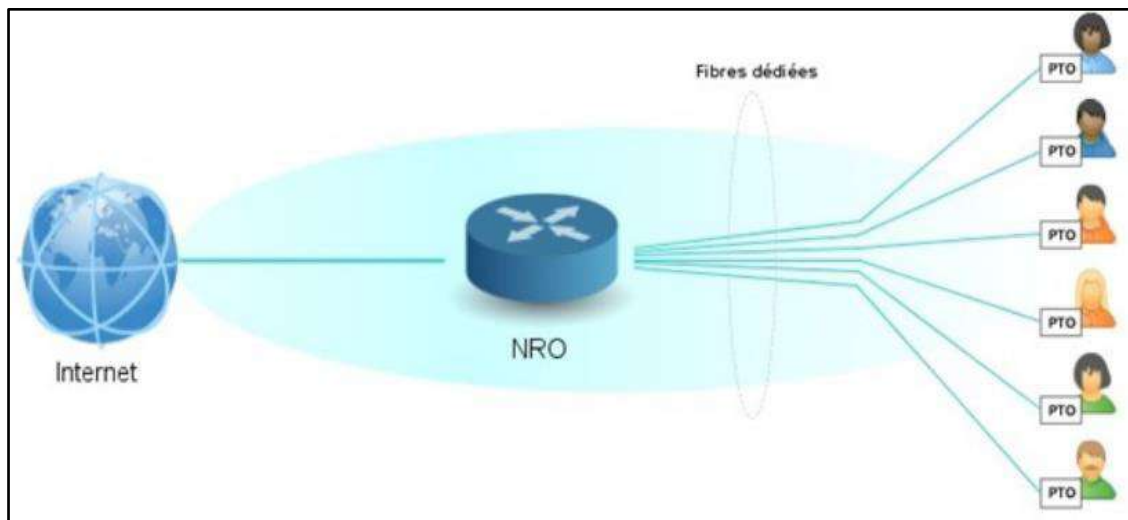


Figure 1.22 : Architecture point à point.

L'architecture point-multipoint (P2MP) est basée sur différents standards (GPON, EPON) et pour laquelle une fibre optique peut desservir plusieurs abonnés.[6]

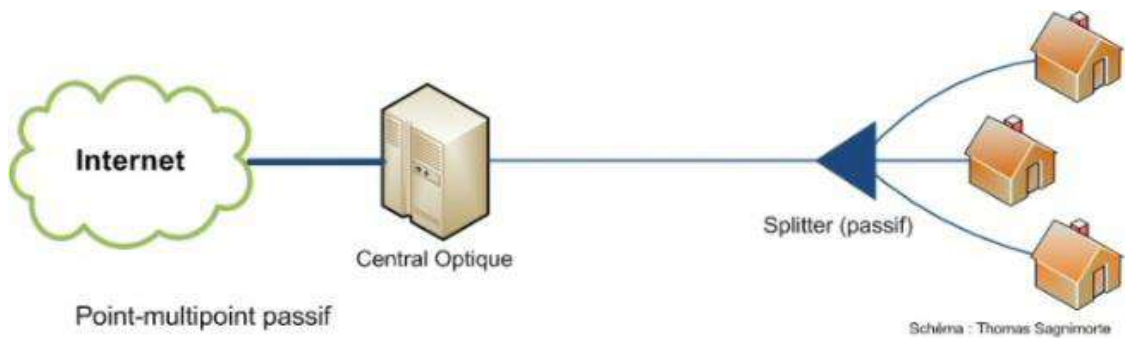


Figure 1.23 : architecture point –multipoint.

### 1.8.2 FTTB

La transmission optique est localisée soit au pied de l'immeuble ou soit dans un armoire. Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre [10].

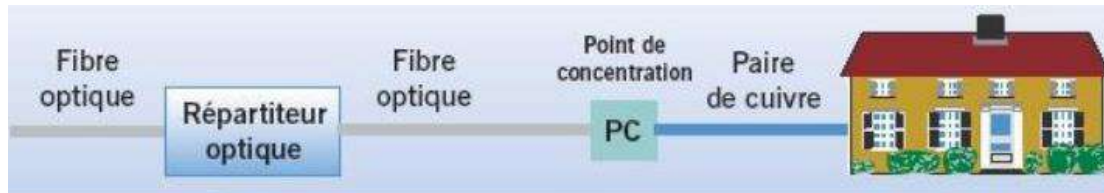


Figure 1.24: Structure d'un réseau FTTB [14].

### 1.8.3 FTTC/ FTT Cab

Fibre au niveau du trottoir, ou de la rue, la fibre va à plusieurs maisons. Dans le cas où la fibre arrive jusqu'au trottoir, on appelle cette configuration Fiber to the Curb (FTTC). D'autre part, si elle arrive jusqu'au sous-répartiteur, on appelle cette configuration Fiber to the Cabinet (FTTCab).

FTTC a presque la même signification technique que FTTN, cependant la zone desservie en FTTC est généralement plus large que celle desservie en FTTC [10].

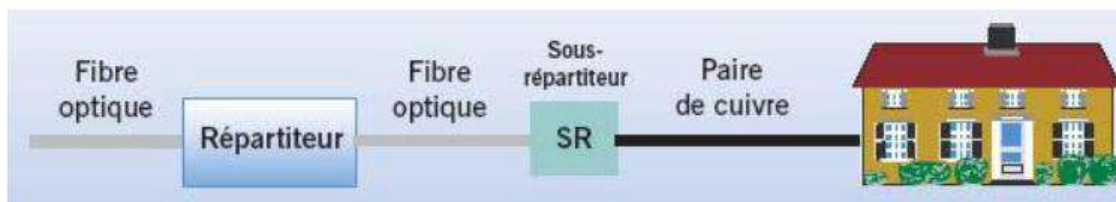


Figure 1.25 : Structure d'un réseau FTTC [14].

## 1.9 La sécurité et la fiabilité d'un réseau passif

L'UITU a utilisé le principe de la redondance des réseaux pour assurer la fiabilité du PON, en cas de panne d'un lien il bascule sur le lien secondaire. Pour les raccordements sensibles l'accès est dupliqué [15].

Le dysfonctionnement du réseau PON peut être repéré au niveau des ONU qui, pour une raison quelconque commence à émettre de la lumière en continu et perturbe les OLT, empêchant ainsi de localiser l'ONU défaillant [15].



Le réseau PON met en place des mécanismes afin que l'abonné ne puisse lire que les données qui lui sont adressées, Le réseau PON offre un mode de fonctionnement sécurisé en ce qui concerne la confidentialité des données. Le mécanisme de sécurisation utilisé est le suivant [15].

Le trafic montant est transmis en utilisant une longueur d'onde optique de 1310 nm. Les modems des clients ne sont pas équipés pour détecter ce signal optique, ce qui signifie qu'ils ne peuvent pas lire le trafic montant provenant d'autres clients.

### **1.10 Conclusion**

En conclusion, ce chapitre offre un aperçu approfondi de la structure globale des réseaux optiques, en mettant particulièrement l'accent sur l'évolution du réseau optique passif. Les normes et standards qui guident cette étude ont été examinés en détail. Nous avons également synthétisé les principales catégories de technologies d'accès optiques telles que les PON. Plusieurs techniques ont été exposées, visant à rapprocher la fibre optique le plus possible de l'utilisateur, comme dans le cas du FTTH. Les différentes topologies de déploiement, à savoir le point à point et le point à multipoint, ont été mentionnées. Par la suite, nous avons défini le réseau optique passif (PON), qui permet une réduction significative des infrastructures fibre en utilisant la technique de multiplexage. En effet, le faible affaiblissement du coupleur optique fait des réseaux optiques passifs une option privilégiée pour les réseaux d'accès.

# Chapitre 2 : L'accès multiple par répartition de code en optique OCDMA

## 2.1. Introduction

Dans les années 40, la théorie de l'information développée par N. Wiener et CE Shannon a permis l'apparition d'une technique d'étalement de spectre (CDMA). Dans un premier temps, cette méthode a été conçue pour les communications numériques sécurisées comme les télécommunications militaires. En raison de l'essor des fibres optiques, cette méthode est de plus en plus employée dans les systèmes de communication optique

Dans le contexte des futurs réseaux optiques à haut débit, la méthode d'accès multiple par répartition de code optique OCDMA a récemment été mise en place. Nous exposons dans ce chapitre les diverses méthodes d'accès multiples employés dans les réseaux de télécommunications. Nous exposons ensuite la méthode d'accès multiple par répartition de code optique (OCDMA), qui est utilisée dans les communications optiques. Par conséquent, nous exposons les diverses catégories de systèmes optiques OCDMA. Ensuite, nous nous présentons les paramètres des codes. Enfin parlerons de L'algorithme de génération des codes optiques EDW, MD est également présenté.

## 2.2. Les techniques de multiplexage optiques

Il s'agit d'une méthode qui consiste à regrouper les informations provenant de différentes sources pour les transmettre sur le même support physique sans qu'elles se mélangent. À la réception, il est nécessaire de procéder à une opération inverse, un démultiplexage, afin de reproduire chaque source et de la transmettre à sa destination. En utilisant ce principe simple, il est possible de réaliser d'importantes économies en utilisant moins de câbles pour transmettre la même quantité d'informations [16].

Dans les systèmes de transmission optique. Plusieurs techniques principales sont utilisées pour les accès multiples :

### 2.2.1. Accès multiple par répartition dans la fréquence (FDMA)

L'accès multiple par répartition en fréquence (ou AMRF, en anglais Frequency Division Multiple Access ou FDMA) consiste à partager une partie du spectre avec chaque utilisateur. Ainsi, chaque utilisateur reçoit une bande de fréquences spécifique (voir figure I.2). Le tout est assemblé et transmis à travers un canal de transmission commun.

Lorsque les données sont reçues, un filtre sélectif est utilisé pour sélectionner la bande de fréquence de l'utilisateur souhaité.

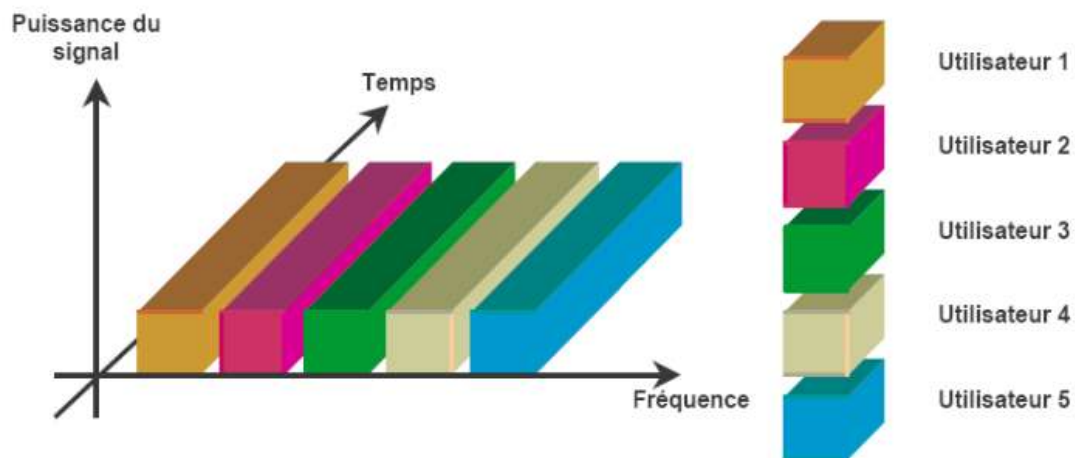


Figure 2.1 : Accès multiples par répartition de fréquences FDMA.

### 2.2.2. Accès multiples par répartition en longueur d'onde (WDM)

La méthode de division de longueur d'onde (WDM) implique la transmission de signaux optiques à différentes longueurs d'onde sur la même fibre optique. On effectue cela en utilisant respectivement un multiplexeur (MUX) et un démultiplexeur (DEMUX). De cette manière, la WDM favorise une utilisation optimale de la bande passante optique [17].

On applique les données électriques de chaque utilisateur à l'entrée du démodulateur optique qui émet à des longueurs d'onde variées.

Les signaux émis par les modulateurs sont combinés et diffusés sur la fibre (voir figure 2.2). Après avoir reçu le signal,

On démultiplexe l'optique reçue avant de l'appliquer à l'entrée d'un filtre optique qui extrait le signal à la longueur d'onde correspondante au destinataire. La photodiode permet de réaliser la conversion entre l'optique et l'électricité [18].

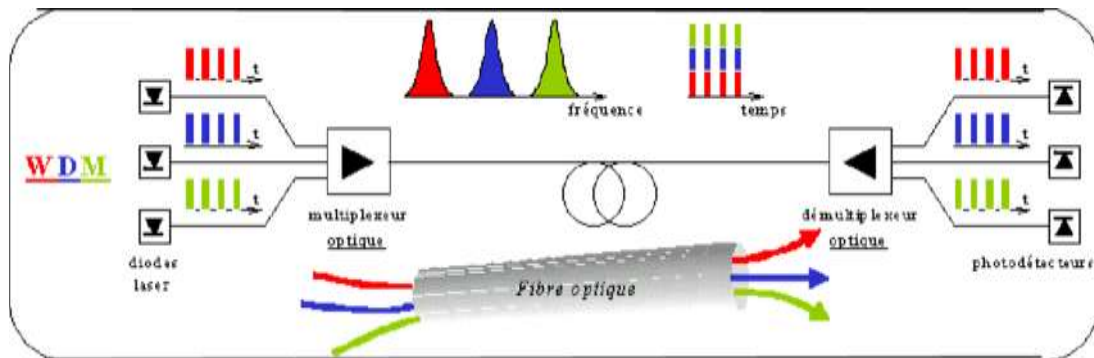


Figure 2.2: Accès multiples par répartition en longueur d'onde WDM.

**2.2.3. Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA)**

Le TDMA (Time Division Multiple Access) est la méthode de télécommunications la plus répandue. Dans cette méthode, la transmission d'une porteuse est répartie sur des intervalle de temps différents, comme le montre la figure 2.3. On émet la porteuse sur.

Chaque intervalle de temps, connu sous le nom de time slot, correspond à un laps de temps pendant lequel un utilisateur peut transmettre ses données. Il est essentiel que cette méthode soit parfaitement synchronisée entre tous les émetteurs et les récepteurs [20].

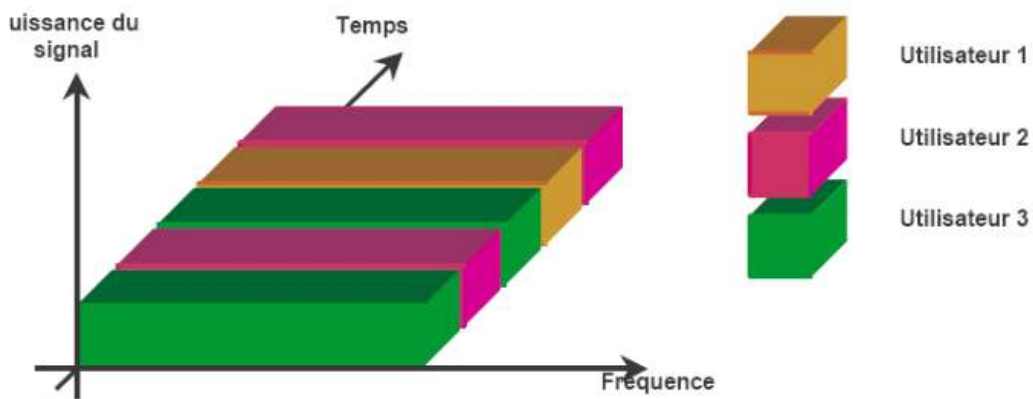


Figure 2.3 : Accès multiples par répartition dans le temps TDMA.

**2.2.4. Accès multiple par répartition de codes optiques(OCDMA)**

Le CDMA (Code Division Multiple Access) est la troisième méthode de multiplexage, également appelée Accès Multiple à Répartition par Code (AMRC). Cette méthode facilite la transmission simultanée des données des utilisateurs sur la même bande de fréquence.

Lorsque les signaux sont reçus, ils sont différenciés grâce à des codes spécifiques liés à chaque utilisateur. Le CDM offre la possibilité d'étendre spectralement le signal transmis

sur une bande N fois plus étendue que celle du signal initial, où N correspond à la longueur du code[21].

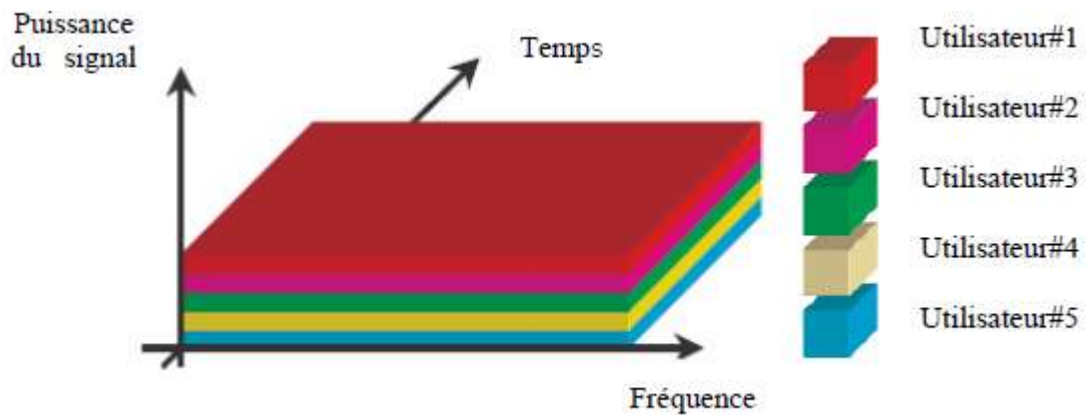


Figure 2.4 : Accès multiples par répartition en code CDMA.

Au départ, elle a été employée dans le secteur de la radiofréquence, et l'adaptation du CDMA à l'optique OCDMA a été examinée à partir de 1986. La mise en œuvre du CDMA optique diffère complètement de celle du CDMA radio. La principale raison de cette disparité réside dans la disparité entre les deux milieux de propagation.

L'utilisation du multiplexage OCDMA présente l'avantage de faciliter un accès multiple asynchrone et de permettre un partage de ressources flexible sans nécessiter de gestion de temps ni de fréquence. On peut réaliser cette technique de manière tout-optique en utilisant des dispositifs de codage/décodage optiques [21].

Le principe fondamental repose sur l'extension du spectre. Le mécanisme de multiplexage par répartition de codes ne requiert ni une allocation fixe ni un séquençement rigoureux ; cette méthode requiert un niveau de synchronisation élevé, ce qui accroît la complexité du système et donc le coût, ce qui explique pourquoi les opérateurs n'ont pas encore choisi cette méthode [21].

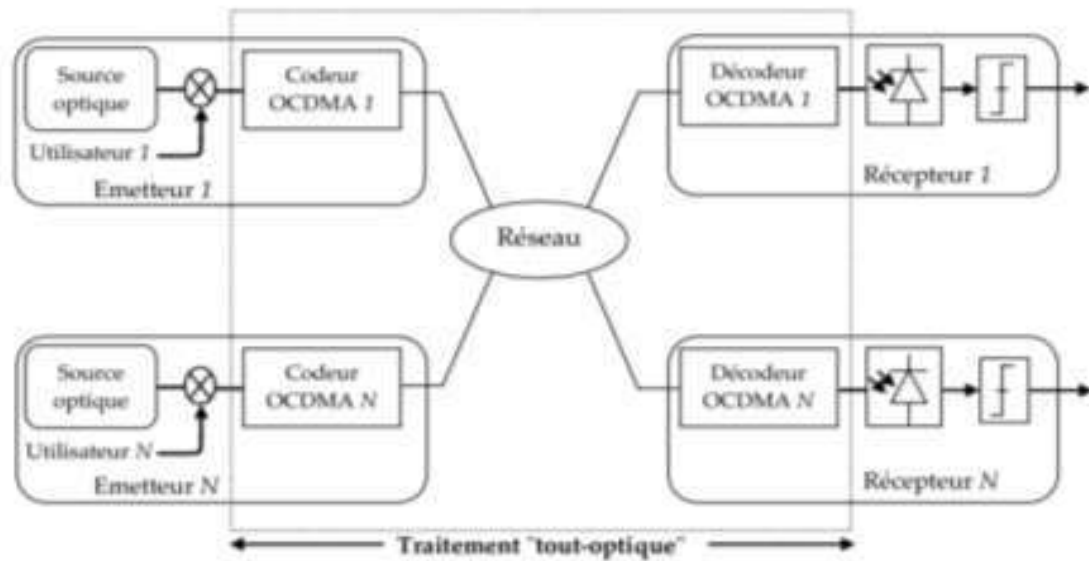


Figure 2.5 : Accès multiples par répartition de code optique OCDMA.

### 2.3. Classification des techniques OCDMA

Malgré leur diversité, les différentes approches proposées pour l'OCDMA partagent une stratégie qui consiste à différencier les canaux de données non pas par longueur d'onde ou intervalle de temps, mais plutôt par un code spectral temporel ou hybride qui soit distinctif, comme une signature tracée sur les bits de chaque canal.

On peut classer l'OCDMA en fonction du type de codage utilisé. Il est possible qu'il s'agisse soit d'un code de la source optique, soit d'un code d'information. Dans la première situation, il est important de prendre en compte la bande passante fournie par la source optique ainsi que ses caractéristiques de cohérence. On parle d'encodage cohérent et incohérent lorsque la source peut être cohérente ou incohérente [22].

On peut réaliser le deuxième type en utilisant un code unidimensionnel en temps ou en fréquence (longueur d'onde), ou bien en utilisant un code bidimensionnel [23] qui combine le temps et la fréquence, ou bien en utilisant un code tridimensionnel qui intègre un troisième paramètre : la polarisation.

Le troisième système peut être soit synchrone (S-OCDMA) soit asynchrone. Il existe deux autres catégories d'OCDMA mentionnées dans la littérature, à savoir l'OCDMA Halographique et Chaotique.

### 2.3.1. OCDMA par encodage temporel DS-OCDMA

La méthode DS-OCDMA (Direct Séquence Optical Code Division Multiple Access) implique la division d'un bit en plusieurs impulsions optiques courtes, avec les intervalles de temps entre les impulsions représentant le code. Pour effectuer l'encodage de façon appropriée [3].

Tout-optique On peut diviser l'impulsion en utilisant un coupleur optique ( $1 \times W$ ) avec  $N$  branches. Chaque branche est soumise à une période spécifique et un coupleur ( $W \times 1$ ) regroupe les impulsions retardées. Il y a également un coupleur ( $1 \times W$ ) et un autre ( $N \times 1$ ) dans le décodeur. Ainsi, le décodeur est compensé pour les délais imposés à l'encodeur et une impulsion d'autocorrélation est couverte [3].

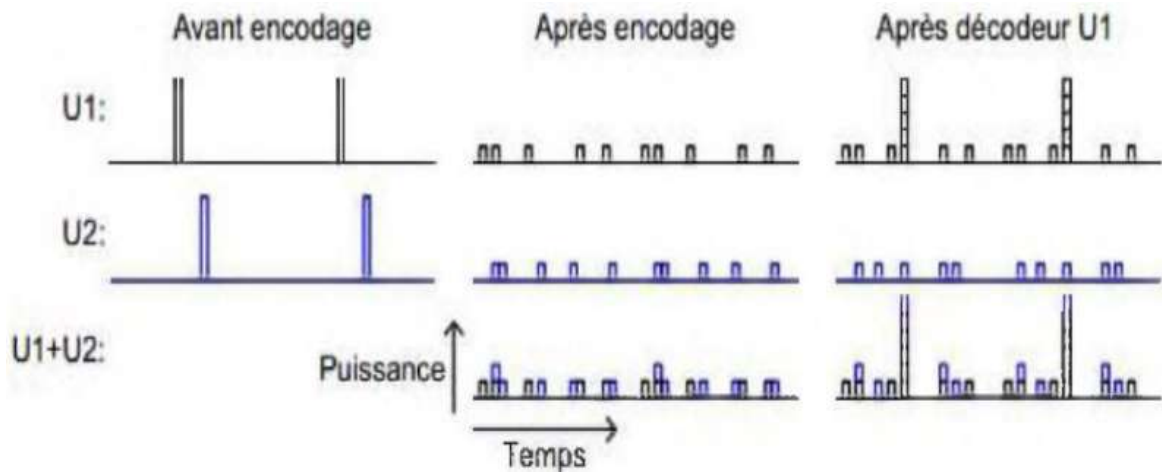


Figure 2.6 : Présentation schématique du DS-CDMA.

Les codes optiques orthogonaux (OOC) sont spécialement conçus pour le DS-OCDMA en raison de leurs caractéristiques d'autocorrélation et de corrélation croisée. Effectivement, un décodeur DS-OCDMA classique compense les délais obtenus grâce à une compensation.

Encodage d'une impulsion et reconstruction d'un pic d'autocorrélation. En règle générale, la modulation d'indice décès réseaux est faible, ce qui entraîne une réflexion partielle de l'impulsion au début du SSFBG Encodage spectral de phase SPEOCDMA pour OCDMA [3].

### 2.3.2. OCDMA par encodage temporel SPE-OCDMA

Les sources cohérentes à impulsions courtes utilisées dans l'OCDMA sont également utilisées dans la méthode SPE-OCDMA. Il s'agit d'OCDMA utilisant le spectre de phase encodage (SPE). Le spectre des impulsions émises par les sources ML est cyclique. Ainsi, l'optique correspondante est également régulière.

Dans le cadre de l'encodage SPE, les composantes spectrales sont codées à l'aide de phases spécifiques. Les phases appropriées sont appliquées au décodeur correspondant et l'impulsion initiale est recouverte (U1 après le décodeur U1 sur la figure 2.7). Ainsi, cette méthode est utilisée pour détecter uniquement le temps du chip correspondant à l'utilisateur décodé, évitant ainsi toute l'énergie qui se trouve en dehors de cette fenêtre [3].

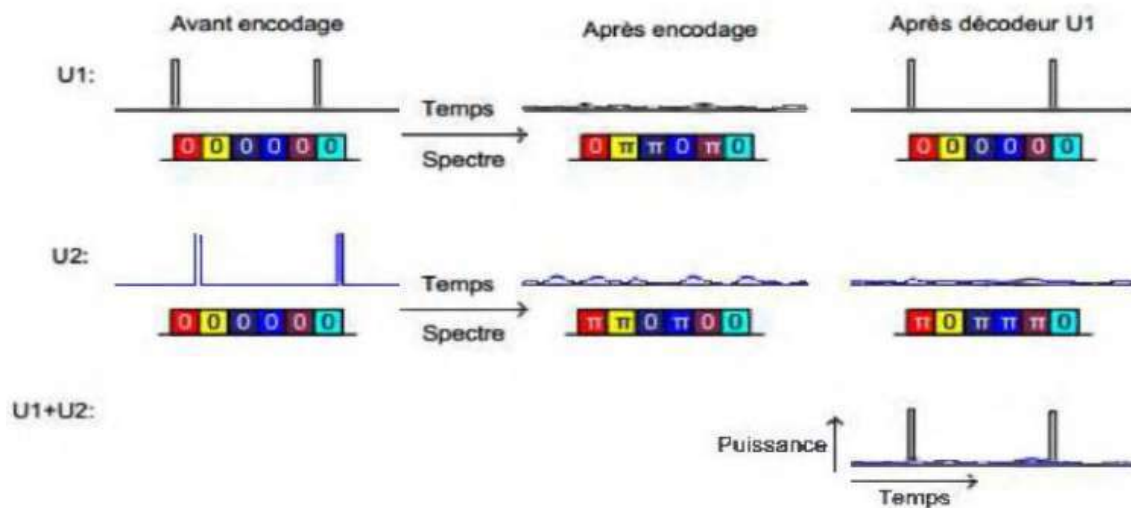


Figure 2.7 : Présentation schématique du SPE-OCDMA.

### 2.3.3. OCDMA par encodage spectral SAC-OCDMA

Dans cette section, nous allons examiner les étapes nécessaires pour réaliser l'encodage d'un canal en utilisant la méthode du SAC-OCDMA. Le processus d'encodage donne aux données de l'utilisateur une empreinte avec une signature spectrale unique, ce qui permet de partager l'utilisation de la bande optique dans les systèmes qui utilisent le principe du SAC-OCDMA. Ainsi, les diverses signatures spectrales ne sont pas orthogonales, ce qui signifie que deux signatures spectrales différentes partagent des fréquences. Il en résulte une évidence essentielle : il est impossible d'extraire les informations présentes dans un canal en utilisant un simple filtrage optique en SAC-OCDMA. L'objectif du décodage est



de déterminer le signal parmi tous les signaux en utilisant la signature spectrale comme indicateur discriminatoire [24, 25].

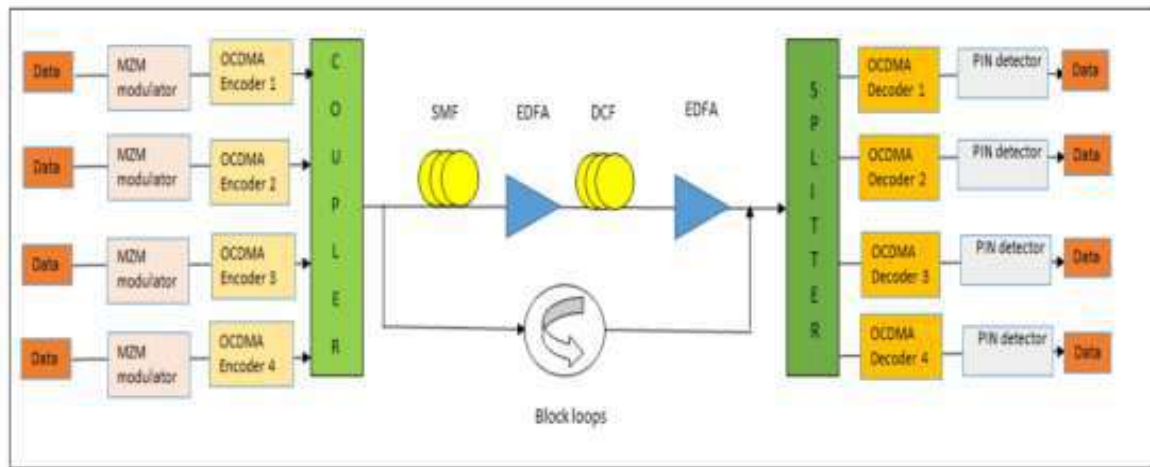


Figure 2.8: Structure d'un système SAC-OCDMA.

#### 2.4. Encodage optique par réseaux de Bragg

Les meilleures performances pour le codage et le décodage optique sont obtenues grâce aux réseaux de Bragg, car ces composants permettent de produire des codes optiques longs et reconfigurables. De plus, ils sont faciles à intégrer dans les réseaux "toutoptiques".

Une fibre à réseau de Bragg est une microstructure de quelques millimètres créée pour refléter une longueur d'onde de lumière.

Ceci implique que lorsque la lumière d'une source à large bande est introduite dans la fibre optique, seule la lumière dans une largeur spectrale très étroite, centrée sur la longueur d'onde, sera réfléchie en retour par la zone de réfraction. La lumière qui reste continue à traverser la fibre optique jusqu'à la zone de réfraction suivante sans subir de perte. Par conséquent, la fibre à réseau de Bragg jouera le rôle d'un miroir sélectif de la longueur d'onde, c'est un filtre à bande faible. Cela implique que lorsque la lumière d'une source à bande large traverse la fibre optique, seule la lumière à une largeur spectrale très étroite traverse la fibre optique.

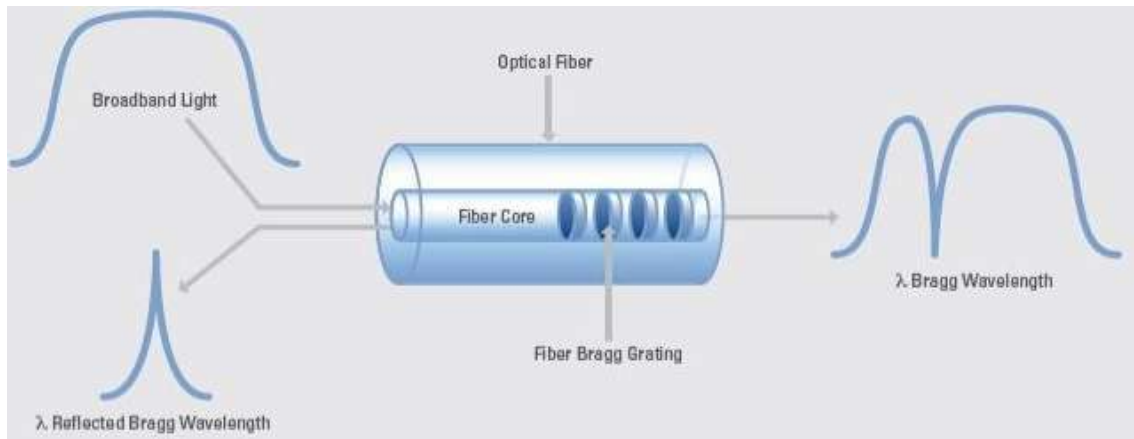


Figure 2.9 : Schéma d'un réseau de Bragg et leurs spectres.

La technique SAC-OCDMA consiste à utiliser un encodage spectral d'amplitude, aussi appelé encodage en fréquence (FE). Avec cette méthode, chaque utilisateur se voit assigner une partie du spectre optique comme code. Les utilisateurs ont généralement un nombre fixe de longueurs d'onde en commun.

La combinaison d'un décodeur identique à l'encodeur et d'un décodeur complémentaire permet théoriquement d'obtenir des codes parfaitement orthogonaux par l'utilisation d'une détection équilibrée (voir figure 2.10). Dans cette technique, des sources optiques larges spectralement (comme des sources incohérentes ou des lasers multi-longueurs d'onde) sont employées pour réaliser l'encodage spectral.

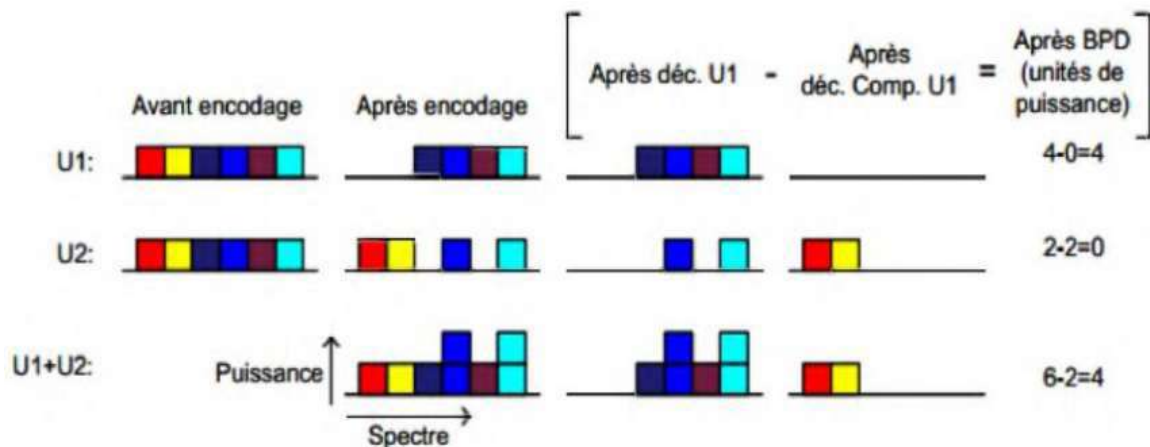


Figure 2.10 : Représentation schématique du SAC-OCDMA, chaque couleur représente une case fréquentielle différente.

## 2.5. Méthodes de détection optique

Dans un système de réception SAC-OCDMA, les informations de tous les utilisateurs seront regroupées dans la réception. Pour restituer les données qui lui sont propres, il est nécessaire d'utiliser le code de chaque utilisateur. Il existe trois principales méthodes à ce sujet :

### 2.6.1. Méthode de détection spectrale directe

Dans cette méthode, il est nécessaire d'avoir une seule branche de l'émetteur et de détecteur,  $\alpha = 0/(W-0) = 0$ , ce qui signifie que la deuxième branche est supprimée. Cela est possible car l'information est suffisamment récupérable par la méthode. Un des « chips », où le code complet est présent (voir figure 2.11).

Il s'agit de la méthode la plus facile à mettre en place, comme illustré dans les exemples précédents, où seul le spectre de l'utilisateur souhaité dans le domaine optique est filtré. Ainsi, il n'y a plus de conflit entre les utilisateurs MAI et la Phase Induite du Bruit d'Intensité (PIIN). Cependant, cette méthode ne s'applique qu'à des codes où ces (chips) longueurs spectrales ne se superposent pas avec d'autres chips d'un autre canal.

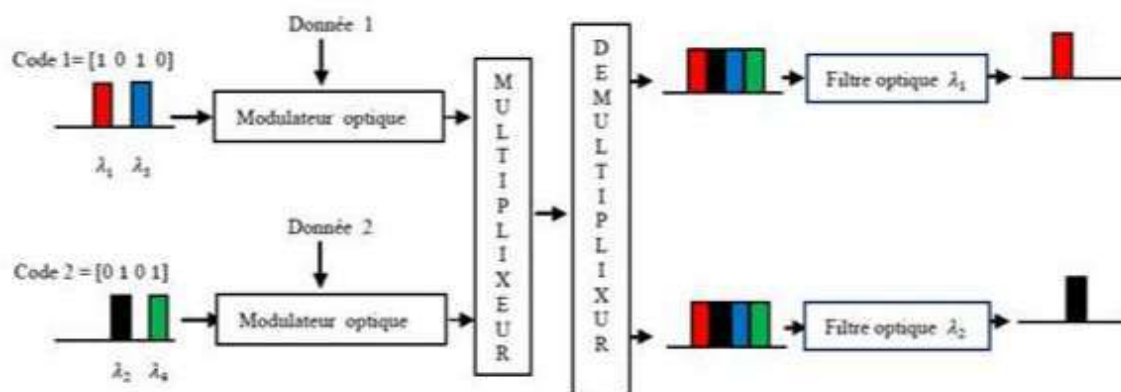


Figure 2.11 : Méthode de détection spectrale directe.

### 2.6.2. Détection balancée par la méthode complémentaire

La figure (2.12) illustre la configuration d'un récepteur pour un système SACOCDMA qui permet de repérer le signal de l'utilisateur  $i$ . Ce système est constitué d'un coupleur de  $1 \times 2$ . Dans le bras supérieur, on insère un décodeur  $DC_i$  dont la réponse spectrale est la même que celle du deuxième code utilisé lors de l'émission. Dans le bras opposé, on insère un connecteur  $CDC_i$  supplémentaire dont la réponse spectrale est supplémentaire à celle du

récepteur  $i$ . Il ne s'agit que de dire que son code spectral sera le complément binaire de celui du récepteur  $i$  [27].

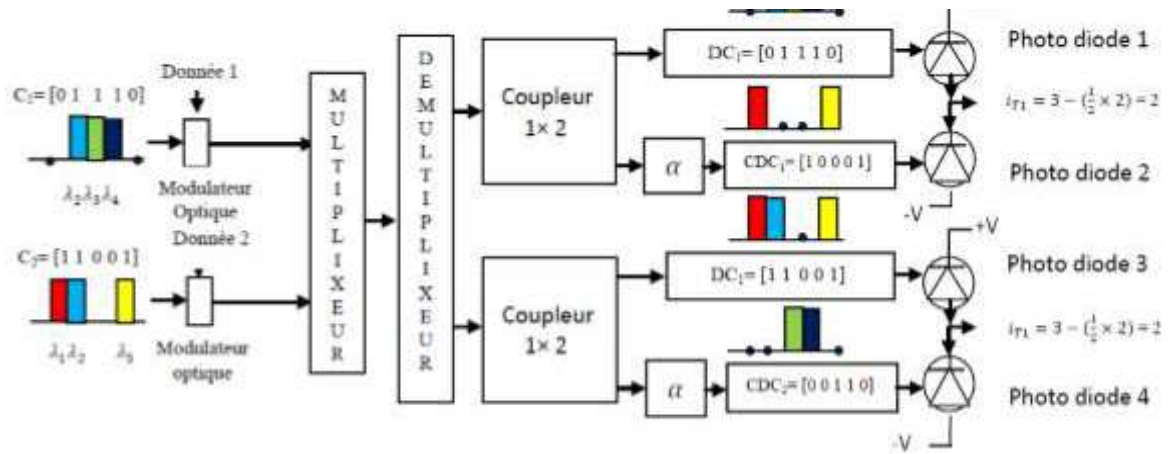


Figure 2.12 : Récepteur pour un signal SAC-OCDMA ayant le code  $i$ .

La soustraction des photocourants provenant des deux photodiodes différentes est obtenue grâce à l'utilisation d'une photodiode équilibrée. On ajoute également un atténuateur  $\alpha$  afin d'ajuster la détection équilibrée avec précision. On le calcul comme indiqué dans l'équation suivante [21] :

$$\alpha = \frac{\lambda c}{W - \lambda c}$$

Avec :

$W$  : le poids du code (nombre de 1 qu'il contient).

$\lambda c$  : La corrélation croisée (nombre de 1 commun entre les codes).

## 2.6. Les paramètres des codes optiques

Les différents paramètres des codes utilisés sont : la longueur, le poids, La corrélation.

### 2.7.1. La longueur du code (L)

La longueur du code est notée  $L$ . Il s'agit du nombre de « 1 » et de « 0 » qui existe dans le code. Pour la famille de codes de la table 2.1, la longueur  $L$  est 7. Nous ne considérons que les familles de codes ayant une longueur constante.

	1	2	3	4	5	6	7
Code 1	0	1	0	1	0	1	0
Code 2	1	0	0	1	1	0	0
Code 3	0	0	1	1	0	0	1
Code 4	1	1	1	0	0	0	0
Code 5	0	1	0	0	1	0	1
Code 6	1	0	0	0	0	1	1
Code 7	0	0	1	0	1	1	0

Tableau 2.1 : Exemple des familles des codes pour sept utilisateurs.

### 2.7.2. Le poids du code (W)

Le poids du code, et noté  $w$  est simplement le nombre de « 1 » contenu dans ce code dans l'exemple de la table (2.1),  $w$  vaut 3 (constant pour n'importe quel code).

### 2.7.3. La corrélation croisée ( $\mathcal{E}$ )

La corrélation croisée,  $\mathcal{E}$ , est la somme du résultat d'une opération logique AND entre deux codes différents pris parmi une famille de codes. De façon plus explicite on peut dire que c'est le nombre de « 1 » en commun à la même position entre deux codes différents.

Le résultat de la corrélation croisée entre le  $i^{\text{ème}}$  et  $k^{\text{ème}}$  code sera calculé de la façon suivante :

$$\mathcal{E}_{i,k} = \sum_{j=1}^L x_{i,j} x_{k,j} \quad i \neq k$$

Avec :  $x_{i,j}$  et  $x_{k,j} \in [0, 1]$

Cette équation présente un produit scalaire de deux vecteurs représentant les deux codes différents tel que :

$$\mathcal{E}_{i,k} = (x_{i,1} x_{i,2} \dots x_{i,j-1} x_{i,j}) \times \begin{pmatrix} x_{k,1} \\ x_{k,2} \\ \vdots \\ x_{k,j-1} \\ x_{k,j} \end{pmatrix}$$

Par exemple, pour la famille de codes de la table (2.1). Si nous calculons le produit scalaire de n'importe quelle combinaison de deux codes différents parmi la famille.

Nous Observons qu'il n'y a qu'un seul bit « 1 » en commun. Donc,  $\mathcal{E} = 1, \forall j \neq k$  [26].

#### 2.7.4. La cardinalité ( $\zeta$ )

La cardinalité,  $\zeta$ , est tout simplement le nombre d'utilisateurs maximum qu'un code peut supporter. En reprenant encore une fois l'exemple de la table (2.1), nous remarquons que la cardinalité  $\zeta$  est égale à sept puisque nous avons sept codes disponibles.

Ce paramètre est important, car lors du choix d'une famille de code, il faut s'assurer que  $\zeta$  soit la plus élevée possible et, autant que faire se peut, égale ou supérieure à la longueur  $L$  du code.

- Avoir une longueur  $L$  constante pour tous les codes de la famille ;
- Avoir un poids  $w$  constant. ;
- Avoir une corrélation croisée  $L$  constante pour tous les codes de la famille.

### 2.7. Les algorithmes de génération des codes optiques

#### 2.8.1. Algorithme de génération du code EDW

L'algorithme de construction de code généralisé est expliqué comme suit ; La valeur de poids ( $W$ ) et le nombre d'utilisateurs ( $N$ ) sont choisis.

La longueur du code est donnée par  $L = N \times (W - 1)$  pour  $W$  et  $N$ .

La matrice de base ( $M$ ) de taille  $2 \times (W - 1)$  est construite comme suit :

$$M = \begin{bmatrix} R1 \\ R2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[ \frac{W-2}{2} \right] 0s & \left[ \frac{W+1}{2} \right] 1s \\ \left[ \frac{W}{2} \right] 1s & \left[ \frac{W-1}{2} \right] 0s \end{bmatrix} (2 \times (W-2))$$

L'ensemble de codes complet est représenté par la matrice  $U$  de taille  $N \times L$  pour  $N$  utilisateurs.

La construction de  $U$  comporte 3 étapes dans lesquelles la matrice intermédiaire  $U$  est d'abord construite.  $M$  est répété  $N - 1$  fois en  $U'$  comme indiqué ci-dessous :

$$U' = \begin{bmatrix} R1 & . & . & . & . & . \\ R2 & R1 & . & . & . & . \\ . & R2 & R1 & . & . & . \\ . & . & R2 & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & R1 & . \\ . & . & . & . & R2 & . \end{bmatrix}$$

Afin de compléter toutes les colonnes, on ajoute les lignes de base de la matrice  $R1$  et  $R2$  à la dernière ligne et à la première ligne de la dernière colonne de la matrice  $U$ , comme mentionné ci-dessous.

$$U'' = \begin{bmatrix} R1 & \dots & \dots & \dots & R2 \\ R2 & R1 & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & R2 & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & R1 & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & R2 & R1 \end{bmatrix} (N \times L)$$

Il est possible d'obtenir le jeu de codes complet en remplissant les espaces vides dans U avec des zéros.

$$U'' = \begin{bmatrix} R1 & 0 & \dots & \dots & R2 \\ R2 & R1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & R2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & 0 & R1 & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & R2 & R1 \end{bmatrix} (N \times L)$$

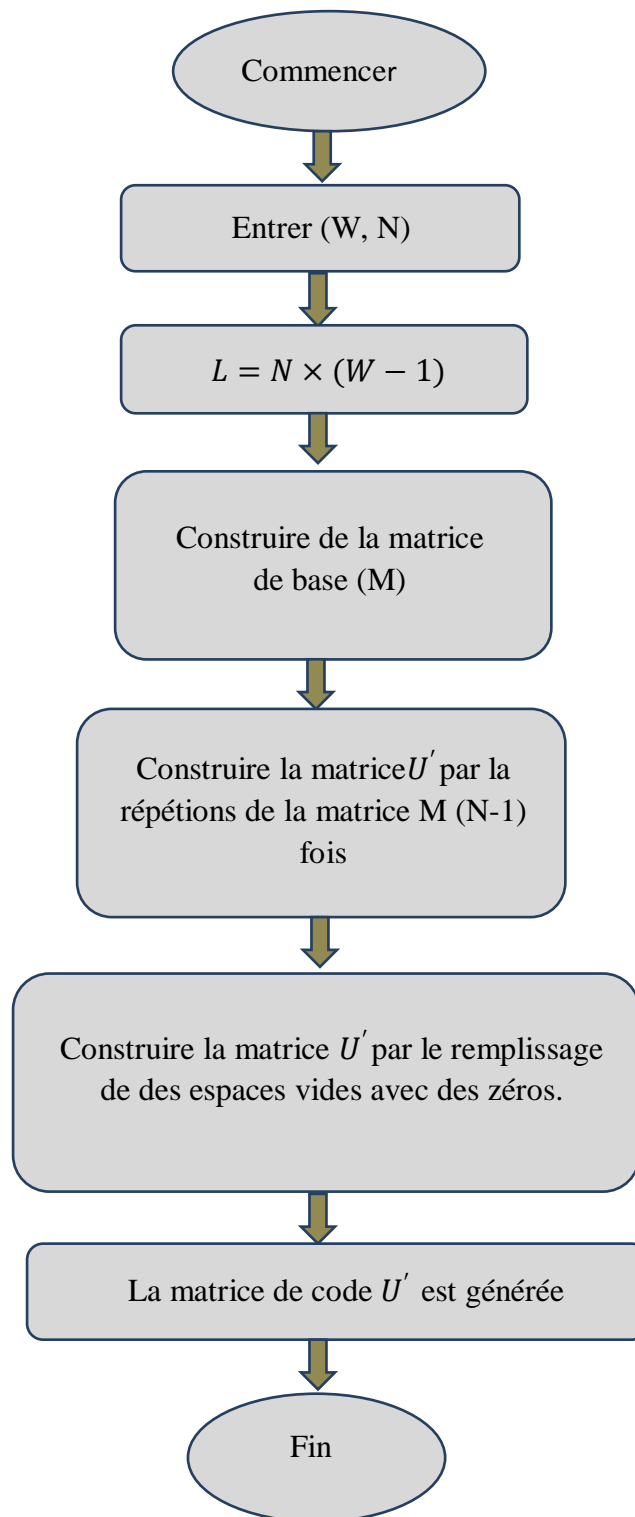


Figure 2.13 : L'organigramme de l'algorithme EDW [28].



**Exemple de construction des codes :**

Poids  $W = 3$

**Étape 1 :**

Assurez-vous que le nombre d'utilisateurs  $N=7$ . On calcule la longueur du code comme suit :

$$L=N \times (W-1) = 7 \times (2) = 14.$$

**Étape 2 :**

La matrice a une dimension de  $2 \times (3-1) = 2 \times 2$ . Matrice carrée est conçu comme :

$$M = \begin{pmatrix} R1 \\ R2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \left[ \frac{3-2}{2} \right] 0s & \left[ \frac{3+1}{2} \right] 1s \\ \left[ \frac{3}{2} \right] 1s & \left[ \frac{3-1}{2} \right] 0s \end{bmatrix} 2 \times (3-1)$$

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} (2 \times 2)$$

**Étape 3 :**

M répète 3 fois

$$U' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} (N \times L)$$

**Étape 4 :**

La rangée supérieure R1 de la matrice et la rangée inférieure R2 sont situées respectivement en dernière et première rangée de la dernière colonne.

$$U' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & 1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} (7 \times 14)$$

Les autres places restantes sont remplies de zéros.

$$U' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} (7 \times 14)$$

*User1*  $\Rightarrow \lambda_1, \lambda_2, \lambda_{13}$

*User2*  $\Rightarrow \lambda_1, \lambda_3, \lambda_4$

*User3*  $\Rightarrow \lambda_3, \lambda_5, \lambda_6$

*User4*  $\Rightarrow \lambda_5, \lambda_7, \lambda_8$

*User5*  $\Rightarrow \lambda_7, \lambda_9, \lambda_{10}$

*User6*  $\Rightarrow \lambda_9, \lambda_{11}, \lambda_{12}$

*User7*  $\Rightarrow \lambda_{11}, \lambda_{13}, \lambda_{14}$

### 2.8.2. Algorithme de génération du code MD

Un code MD est élaboré à partir d'une série de matrices diagonales. Ce code offre les bénéfices suivants [29] :

- *Chaque utilisateur doit posséder un code unique.*
- *Il n'y a pas de partage de bit « 1 » entre les utilisateurs. En cas d'augmentation du nombre d'utilisateurs, la valeur d'intercorrélacion sera conservée à « 0 ».*
- *La flexibilité du nombre d'utilisateurs et du poids est également présente et peut être facilitée.*
- *Il est essentiel que le code soit pratique et réalisé en utilisant des dispositifs optiques.*

Les paramètres  $N$ ,  $W$  et  $\lambda_c$  distinguent le code MD,

où

$N$  : représente la longueur du code (c'est-à-dire le nombre total de chips).

$W$  : le poids du code.

$\lambda_c$ : la phase de corrélation croisée.

Nous présentons maintenant le théorème de corrélation croisée. Nous allons commencer par présenter l'identité (ou unité) d'une matrice de taille  $N$ , qui est une matrice  $N$  par  $N$  carré avec des composants de l'unité sur sa diagonale. Principale et des composantes nulles ailleurs. On considère qu'elle est  $IN$ , ou tout simplement, si la taille est indifférente. Enfin, il peut être décrit de la manière suivante :

$$I_1 [1], I_1 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \dots \dots \dots, I_N \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Il est possible d'écrire  $I_N = \text{diag}(1, 1, \dots, 1)$  en utilisant une notation utilisée parfois pour décrire de manière concise des matrices diagonales. La matrice orthogonale est une structure carrée qui comprend des entrées réelles, avec des colonnes et des lignes qui sont des vecteurs unitaires orthogonaux. Autrement dit, si sa transposée est égale à son inverse, une matrice A est orthogonale :  $A^T A = A A^T = I$

À présent, le théorème de corrélation croisée montre que certains ensembles de séquences complémentaires possèdent des fonctions de corrélation croisée qui se reprennent à zéro en utilisant toutes les permutations par paires. Ici, il est essentiel que toutes les permutations de la fonction de corrélation soient croisées afin que leur somme soit toujours égale à zéro.

Ainsi, lorsque  $X_{ij}$  est une entrée de X et  $Y$  est une entrée de Y, une entrée du produit  $C = XY$  est N donnée par  $C_{ij} = \sum_{k=1}^N X_i K_y K_j N K = 1$ . Dans le code des séquences  $X = (x_1, x_2, x_3, x_n)$  et  $Y = (y_1, y_2, y_3, y_n)$ , on peut représenter la fonction de corrélation croisée par  $\lambda c = \sum_{i=0}^n x_i y_i$

**Étape 1 :**

Dans un premier temps, on commence par définir une séquence de matrices diagonales en se basant sur des valeurs précises de poids W et du nombre des utilisateurs K. Pour cela, K et W sont des nombres entiers positifs, ce qui signifie que  $(i = 1, 2, 3, 4, \dots, n^i n = K)$  sont calculés en fonction du nombre de rangées dans chaque matrice, tandis que  $(j_w = 1, 2, 3, 4, \dots, w)$  représente le nombre de matrices diagonales.

**Étape 2 :**

On calcule les séquences MD pour chaque matrice diagonale en se basant sur les relations.

$$S_{i,j_w} \begin{cases} (i_n + 1 - 1), \text{ pour } j_w = \text{even} \\ i \quad \quad \quad \text{ pour } j_w = \text{odd} \end{cases}$$

$$S_{i,1} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ K \end{bmatrix}, S_{i,2} \begin{bmatrix} k \\ \cdot \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, S_{i,1} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ K \end{bmatrix}, \dots \dots S_{i,1} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ K \end{bmatrix}$$

Il est évident que  $T_{i,1} = [S_i, 1]$   $T_{i,1} = k \times k$ ,  $T_{i,2} = [S_i, 2]$   $k \times k$ ,  $T_{i,w} = [S_i, w]$   $k \times k$  Par conséquent, nous obtenons.

$$T_{i,1} = \begin{pmatrix} 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix} (k \times k)$$

$$T_{i,2} = \begin{pmatrix} 0 & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & 0 \end{pmatrix} (k \times k)$$

$$T_{i,w} = \begin{pmatrix} 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix} (k \times k)$$

### **Étape 3 :**

Le code MD est représenté par la combinaison totale des matrices diagonales  $T_{i,j}$  sous la forme de la matrice de dimension  $(K \times N)$  :

$$[T_{i,1}, T_{i,2}, \dots, T_{i,w}] (k \times k)$$

$$MD = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdot & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdot & a_{2,n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{in,1} & a_{in,2} & \cdot & a_{in,n} \end{bmatrix} (k \times k)$$

Selon cette équation, les lignes représentent le nombre d'utilisateurs dans la matrice de base. Il convient de souligner que la relation entre le poids du code, la longueur du code et le nombre d'abonnés peut être représentée par  $N = k \times w$ .

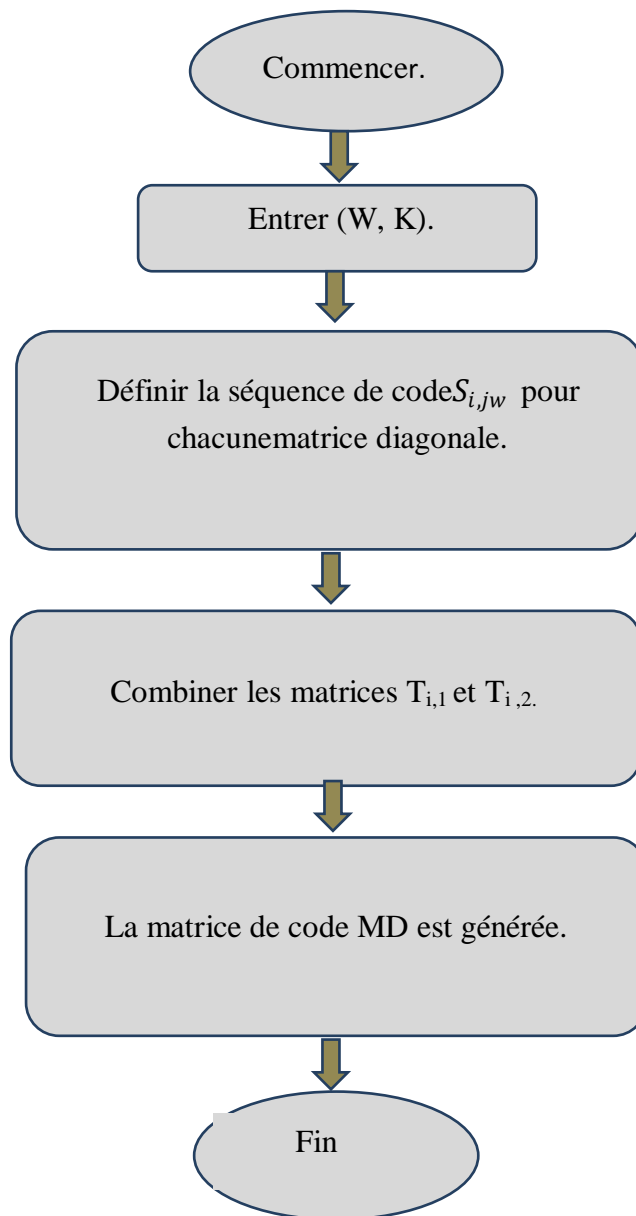


Figure 2.14 : L'organigramme de l'algorithme MD.

Le code MD est conçu de manière à ce que l'évolution des composants de la matrice dans la même partie diagonale se manifeste par la variable zéro corrélation croisée. C'est la raison pour laquelle il est conçu sans aucune propriété de corrélation croisée, ce qui annule l'AMI. La flexibilité du code MD dans le choix des paramètres  $W$  et  $K$ , ainsi que sa conception simple, peuvent être utilisés par un plus grand nombre d'utilisateurs, si on les compare aux autres codes tels que ceux MAC et RD. De plus, aucun symbole ne se chevauche entre les différents utilisateurs.

**Exemple de construction du code MD :**

Pour produire la famille de code MD. D'après les étapes précédentes, nous pouvons donner, par exemple,  $K = 7$  et  $W = 3$ . Par la suite, il y a  $i = 1,2,3,4,5,6,7$ ;  $i+1 = 8$ , et  $jw = 1,2,3,4,5,6$ . On peut utiliser des matrices diagonales.

Chacune des matrices diagonales est définie par la séquence de code MD.

Enfin, la matrice de MD est complètement codée avec les combinaisons de  $T_{i,1}$  et  $T_{i,2}$  :

$$S_{i,1} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{bmatrix}, S_{i,2} \begin{bmatrix} 8 \\ 7 \\ 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, S_{i,3} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{bmatrix}, S_{i,4} \begin{bmatrix} 8 \\ 7 \\ 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, S_{i,5} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{bmatrix}, S_{i,6} \begin{bmatrix} 8 \\ 7 \\ 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, S_{i,7} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{bmatrix}$$

La séquence de code MD pour chacune des matrices diagonales est définie par

$$T_{i,1} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (k \times k), T_{i,2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} (k \times k) \quad K = 7$$

Enfin, la matrice du code MD est obtenue par la combinaison des matrices  $T_{i,1}$  et  $T_{i,2}$  :

$$MD = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} (7 \times 14)$$

Avec  $K=7$ ,  $N=14$

$$user1 \Rightarrow \lambda_1, \lambda_{14}$$

$$user2 \Rightarrow \lambda_2, \lambda_{13}$$

$$user3 \Rightarrow \lambda_3, \lambda_{812}$$

$$user4 \Rightarrow \lambda_4, \lambda_{11}$$

$$user5 \Rightarrow \lambda_5, \lambda_{10}$$

$$user6 \Rightarrow \lambda_6, \lambda_9$$

$$user7 \Rightarrow \lambda_7, \lambda_8$$

## 2.8. Conclusion

Ce chapitre fournit une brève description des différents types d'accès multiple pouvant être appliqués aux communications optiques : TDMA, FDMA, OFDMA, WDM, et notamment l'accès par répartition en code optique (OCDMA). Les réseaux Bragg à fibre optique sont des composants idéaux pour la mise en œuvre du codage et du décodage optiques dans les systèmes optiques OCDMA. Nous avons présenté l'algorithme utilisé pour générer les codes MD et EDW qui sont basé sur les matrices et les vecteurs. Différents paramètres des codes optiques utilisés dans le système SAC-OCDMA.

# Chapitre 3 : Résultats et Interprétations

## 3.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'ensemble des travaux de simulation que nous avons effectués dans le but d'évaluer les performances d'un système FTTH à l'aide du logiciel OptiSystem. Ce dernier est basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communication par fibre optique et permet de tester et optimiser pratiquement n'importe quel type de liaison optique.

Dans un premier temps, nous allons présenter les résultats obtenus sur les performances du réseau d'accès optique FTTH utilisant les codes optiques EDW et MD. Pour ce faire, nous commençons par la génération des codes optiques sous le logiciel OptiSystem. Afin d'améliorer les performances obtenues, nous poursuivons l'évaluation des performances des réseaux FTTH en fonction des paramètres suivants : la longueur de la fibre optique et ses caractéristiques physiques (l'atténuation et la dispersion chromatique). Pour évaluer les performances du réseau optique FTTH nous avons choisi le facteur de qualité et le diagramme de l'œil comme critères de qualité.

## 3.2. Principe de fonctionnement du réseau d'accès optique FTTH

Le réseau d'accès optique FTTH conçu dans notre mémoire de fin d'étude utilise la technologie de codage en amplitude spectrale SAC-OCDMA pour permettre une transmission sécurisée et simultanée de données à plusieurs utilisateurs sur une même fibre optique. Cela permet une utilisation plus efficace de la bande passante et une réduction des coûts de déploiement et d'entretien du réseau.

Dans le réseau d'accès optique FTTH, les données de chaque utilisateur sont codées avec un code unique qui leur est attribué. Ce code est généré par un encodeur de codage en amplitude spectrale. Ensuite, les données codées sont combinées et transmises sur une même fibre optique.

À la réception, un décodeur de codage en amplitude spectrale est utilisé pour extraire les données de chaque utilisateur en utilisant le code unique qui leur a été attribué. Les données ainsi extraites sont ensuite transmises à chaque utilisateur.



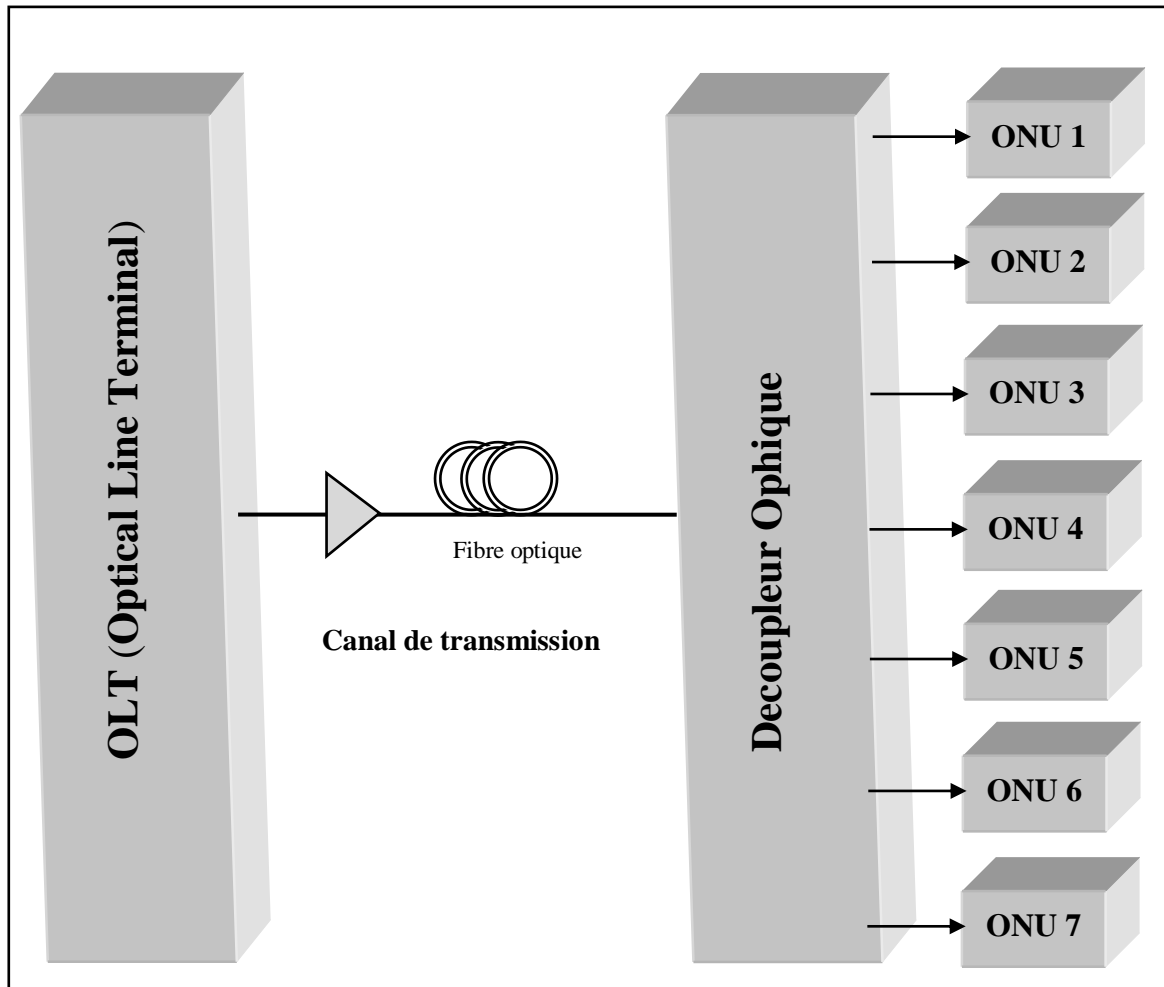


Figure 3.1 : Architecture générale d'un réseau d'accès optique sécurisé FTTH.

### 3.3. Modèle du réseau d'accès optique FTTH sous OptiSystem

Les figures suivantes présentent le modèle du réseau d'accès optique FTTH simulé sous le logiciel OptiSystem. Ce modèle comprend un coupleur et découpleur optiques.

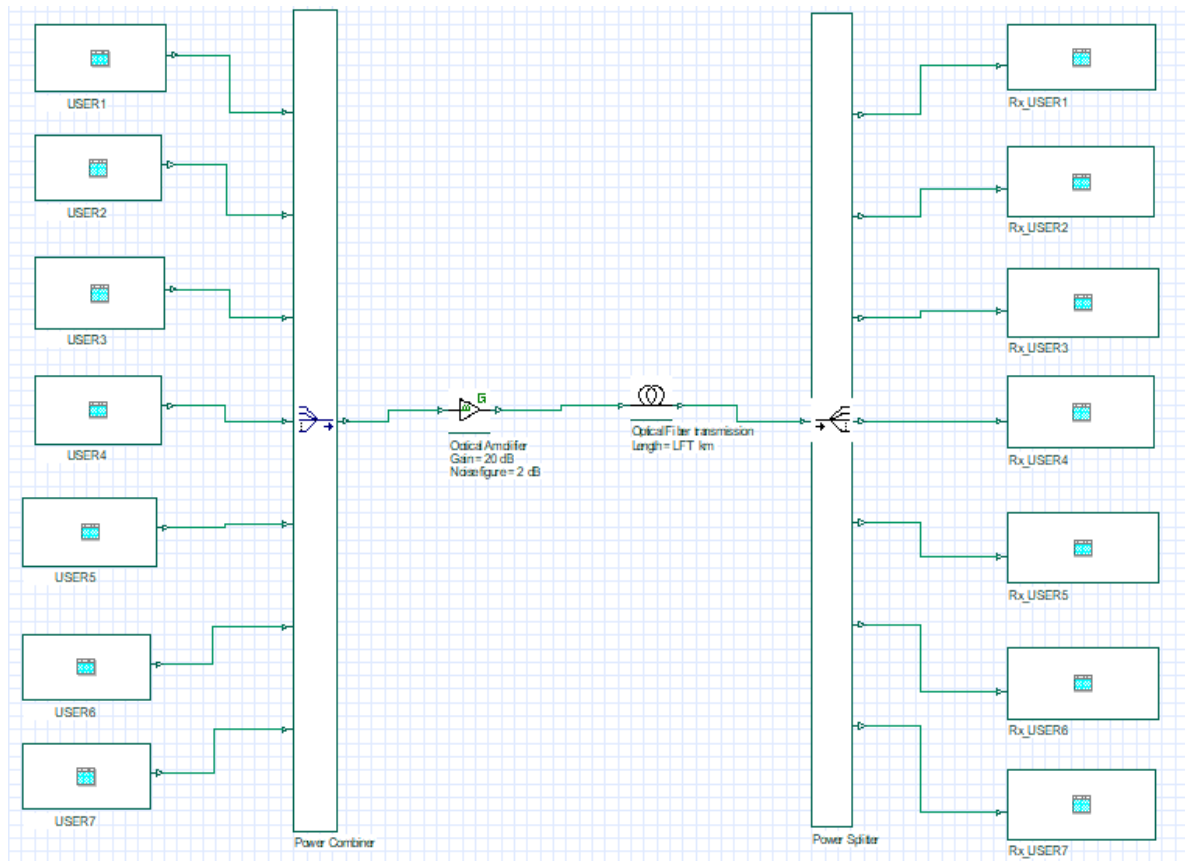


Figure 3.2 : Modèle du réseau d'accès optique sécurisé FTTH sous OptiSystem.

### 3.3.1. Partie OLT

Les réseaux d'accès optique FTTH proposés dans notre mémoire de fin d'étude sont équipés principalement d'OLT. Sa principale responsabilité est d'envoyer et de recevoir les signaux lumineux qui transportent des données. Pour assurer la meilleure conformité et interopérabilité avec les autres équipements réseau, il est impératif que l'OLT adhère à la norme établie par l'UIT.

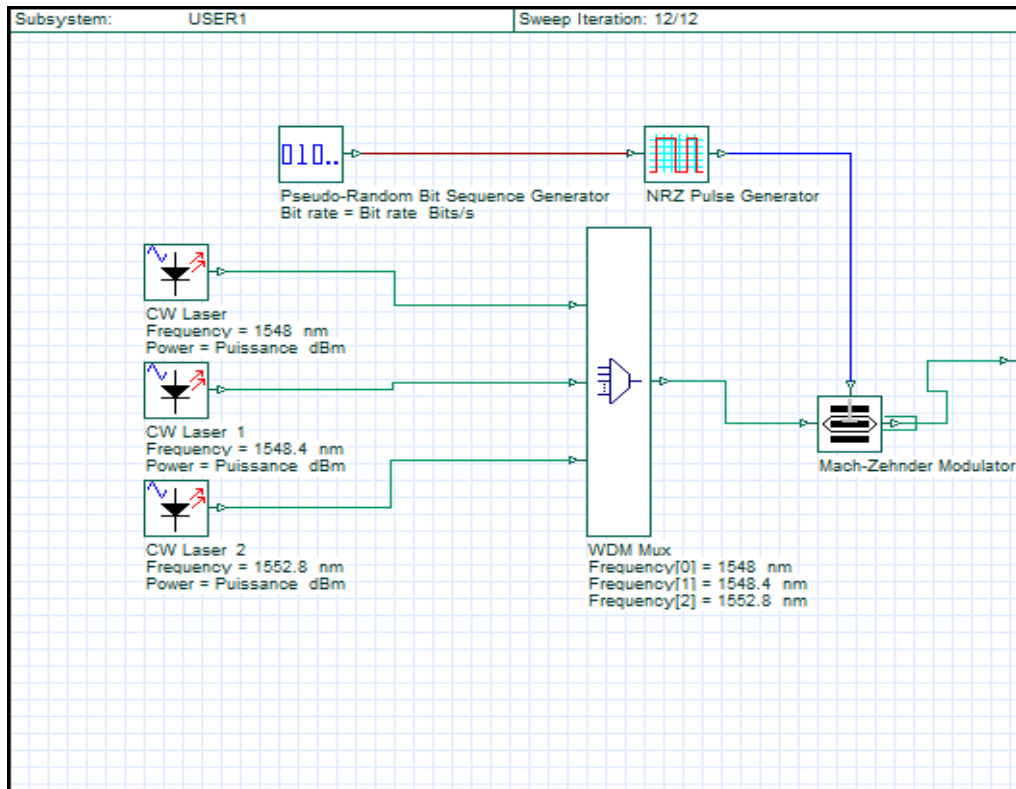


Figure 3.3 : Modèle de l'émetteur sous OptiSystem.

### 3.3.2. Coupleur optique

Le dispositif optique illustré dans la figure 3.4 est un coupleur optique passif. Sa fonction est de séparer et fusionner le signal lors de la transmission.

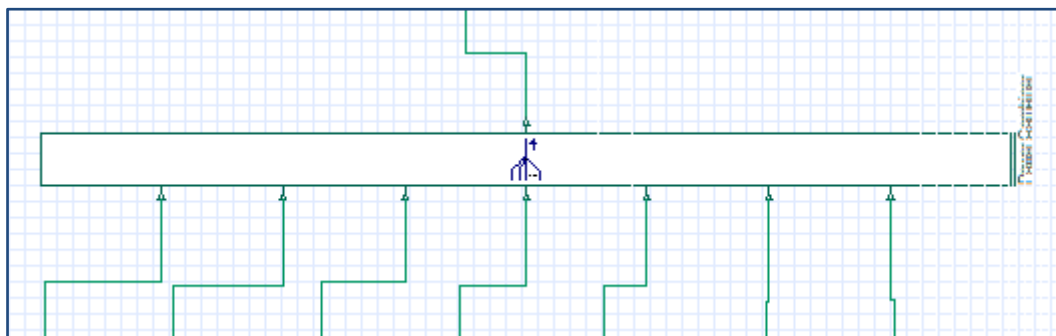


Figure 3.4 : Modèle de coupleur optique sous OptiSystem.

### 3.3.3. La fibre optique

Notre réseau optique est constitué d'une fibre optique. Cette fibre optique présente des paramètres physiques essentiels, comme l'atténuation et la dispersion chromatique.

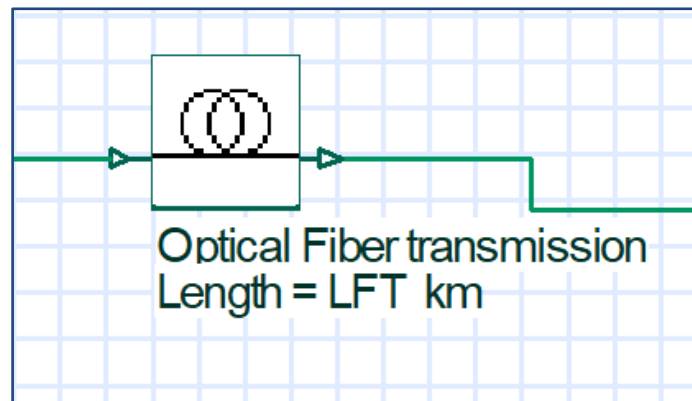


Figure 3.5: Modèle de la fibre optique sous OptiSystem.

### 3.3.4. Partie de réception

La figure 3.6 présente le modèle du récepteur utilisé dans notre étude. Ce modèle est composé d'une photodiode qui convertit le signal optique en un signal électrique, tout en ajustant le seuil de décision en fonction des paquets de données reçus.

Le signal de sortie de la photodiode est ensuite filtré par un filtre passe-bas de type Bessel, dont la fréquence de coupure est égale à 0.75 fois le débit binaire. Enfin, un analyseur du taux d'erreur binaire (TEB) est utilisé pour évaluer le diagramme de l'œil et calculer le facteur de qualité.

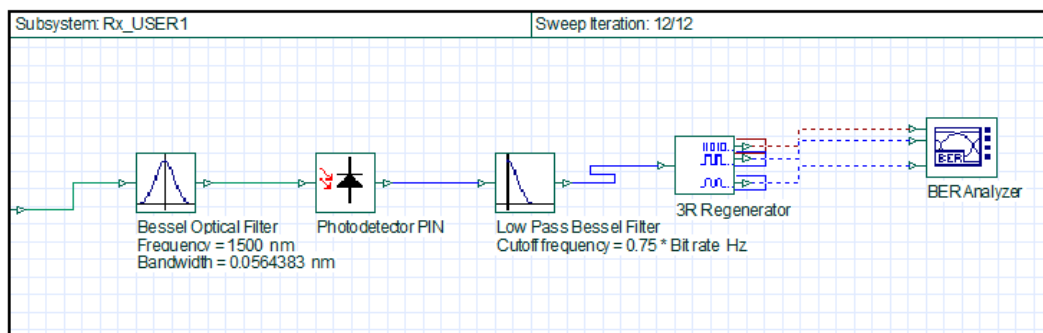


Figure 3.6: Modèle du récepteur sous OptiSystem.

### 3.4. Paramètres de la simulation

Le tableau 3.1 expose les paramètres globaux utilisés pour l'analyse des performances du réseau d'accès optique sécurisé FTTH. La puissance optique de transmission, la longueur de fibre optique et ses paramètres physiques sont des paramètres importants dans notre simulation.

Paramètres	Valeurs
Débit binaire	2.4 Gbit\S
Longueur de la fibre optique de transmission	6 Km
Dispersion chromatique de la fibre optique	16.75 Ps/nm.km.
Atténuation de la fibre optique	0.2 dB/km
Gain de l'amplificateur	5 dB
Nombre d'utilisateurs	7 Utilisateurs
Longueur d'onde	1550 nm
Puissance optique de Laser	80
Code optique	MD et EDW

Tableau 3.1 : Paramètres de simulation pour le réseau d'accès optique FTTH.

### 3.5. Performances du réseau optique sécurisé FTTH

#### 3.5.1. Influence de la puissance optique d'émission

La puissance lumineuse émise par le Laser est un paramètre important dans la transmission des signaux optiques. Elle impacte sur la portée de transmission et la qualité du signal. Il est essentiel de maintenir une puissance d'émission adéquate afin d'assurer une transmission optique efficace et conforme aux normes de sécurité.

D'après les diagrammes de l'œil de la figure 3.7, nous remarquons l'ouverture de l'œil pour une puissance optique d'émission de 50 dBm par rapport à celle tracé pour une puissance optique d'émission de 35 dBm (qui est fermé à cause de sa faible puissance). Cela confirme que la puissance optique de transmission a un impact import sur les performances du réseau optique conçu dans notre mémoire de fin d'étude.

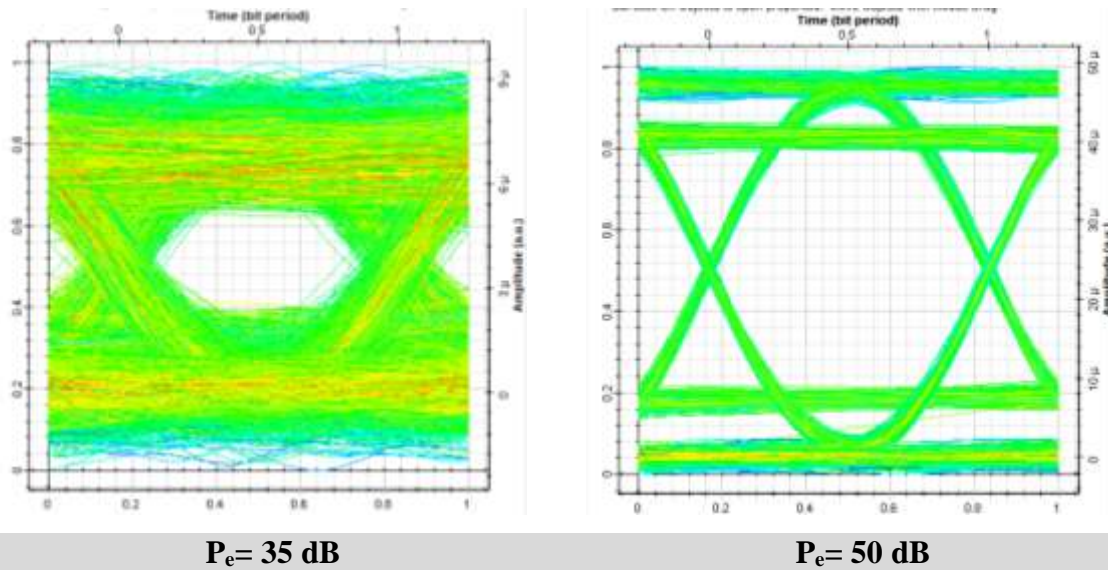


Figure 3.7: Diagramme de l'œil du réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs de la puissance optique de transmission.

Dans le réseau d'accès optique FTTH, la puissance optique d'émission est un paramètre implorant puisqu'elle détermine la force du signal optique transmis à travers la fibre optique. Une puissance optique d'émission plus élevée autorise une longue distance de transmission sans compensation des pertes optiques pendant la propagation du signal.

La Figure 3.8 illustre l'évolution du facteur de qualité en fonction de la puissance optique de transmission pour le réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques (EDW et MD). Nous remarquons que la puissance optique d'émission a un impact sur le facteur de qualité notamment dans la plage de valeurs de la puissance entre 35 et 50 dB. Cependant, au-delà d'une puissance de 60 dB, le facteur de qualité reste pratiquement constant pour les deux codes optiques EDW et MD. Ainsi, la puissance exerce une influence sur le facteur de qualité et par conséquent sur les performances du réseau.

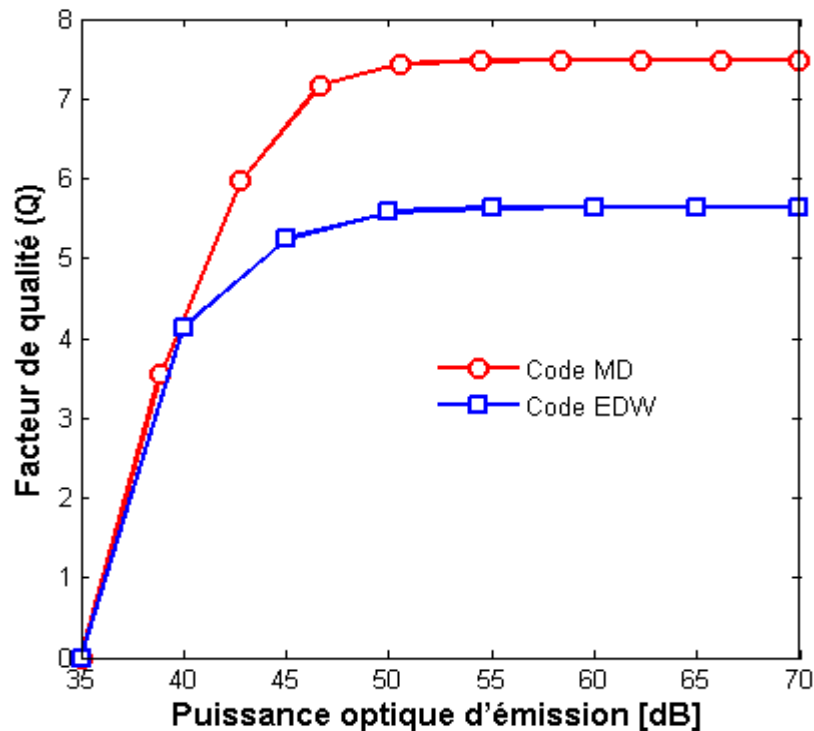


Figure 3.8 : Evolution du facteur de qualité en fonction de la puissance optique de transmission pour un réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD.

### 3.5.2. Influence de la longueur de la fibre optique

La longueur de la fibre optique peut être ajustée en fonction des exigences spécifiques de l'application, allant de quelques kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres. Il est donc essentiel de tenir compte ce paramètre lors de déploiement du réseau d'accès optique sécurisé FTTH afin d'assurer une transmission efficace des signaux optiques.

Dans la figure 3.9, nous présentons le diagramme de l'œil d'un réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs de longueur de fibre optique. Une observation importante est que l'œil est ouvert pour une longueur de fibre de 7 km, ce qui indique une bonne qualité de transmission pour cette valeur. En revanche, pour une longueur de fibre optique de 12 km, nous remarquons que l'œil est fermé. Cela signifie qu'au-delà de cette valeur, la qualité de transmission dans le réseau d'accès optique sécurisé FTTH est dégradée, et que cette valeur représente un seuil critique dans le dimensionnement optimal du réseau conçu.

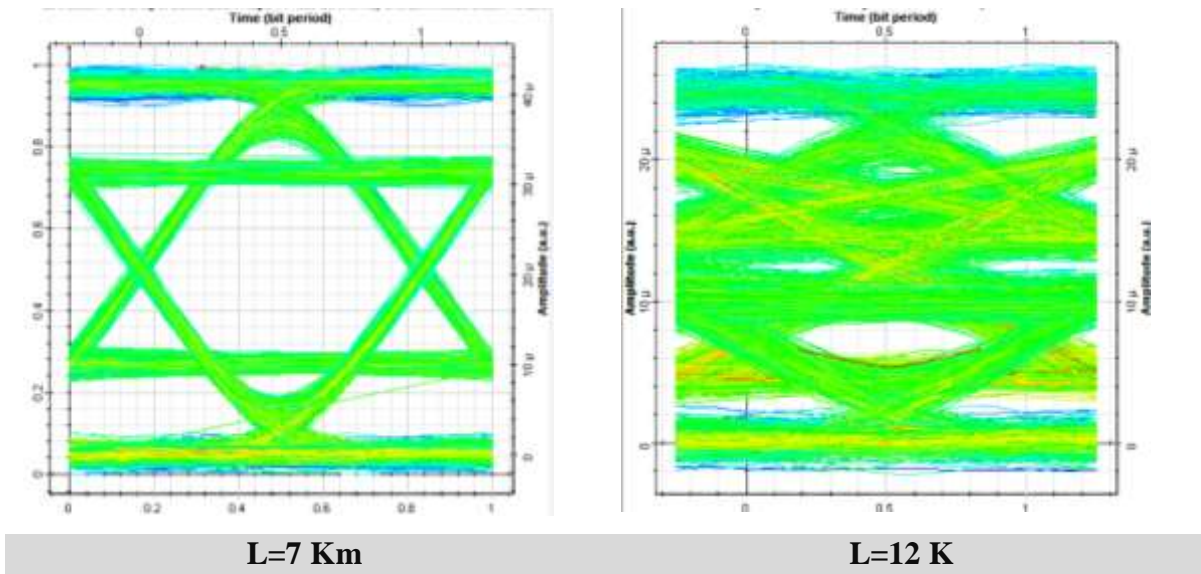


Figure 3.9: Diagramme de l'œil du réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs de longueur de la fibre optique de transmission.

Comme illustré dans la figure 3.10, le facteur de qualité est dégradé lorsque la longueur de la fibre optique augmente. Ce phénomène étant similaire pour les deux codes (EDW et MD). Ainsi, il est possible de conclure que la longueur de la fibre optique a un impact sur les performances du réseau d'accès optique FTTH. Par conséquent, la longueur de la fibre optique a une influence sur la qualité de transmission du réseau optique conçu.

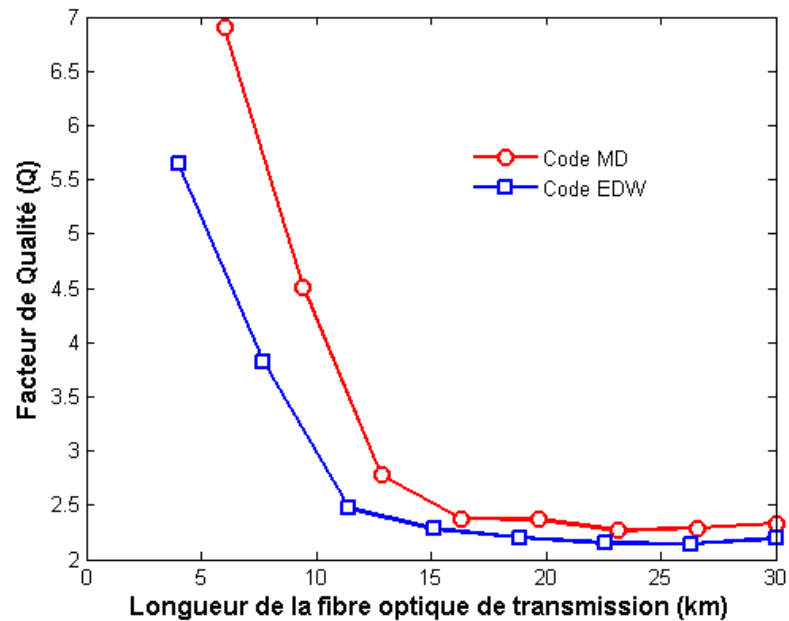


Figure 3.10: Evolution du facteur de qualité en fonction de la longueur de fibre optique de transmission pour un réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD.



### 3.5.3. Influence de l'atténuation de la fibre optique

L'atténuation de la fibre optique de transmission se réfère à la diminution de l'intensité lumineuse du signal optique lors de sa propagation dans la fibre optique. Cette diminution est causée par des phénomènes tels que la diffusion, l'absorption et la dispersion de la lumière à l'intérieur de la fibre.

L'atténuation optique constitue un paramètre physique important dans la conception des réseaux optiques, car elle influe sur la distance de transmission possible et la qualité du signal optique. Une atténuation optique faible permet une transmission sur de plus grandes distances tout en préservant une meilleure qualité du signal.

La Figure 3.11 illustre le diagramme de l'œil d'un réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs de l'atténuation de la fibre optique. Comme indiqué dans cette figure, l'œil est ouvert pour une atténuation de 0,2 dB/km, tandis que pour une atténuation de 1 dB/km, l'œil est fermé. Cela indique que la qualité de transmission se dégrade pour une atténuation de la fibre optique de 1 dB/km. Par conséquent, l'atténuation de la fibre optique à une grande influence sur les performances du réseau d'accès optique FTTH.

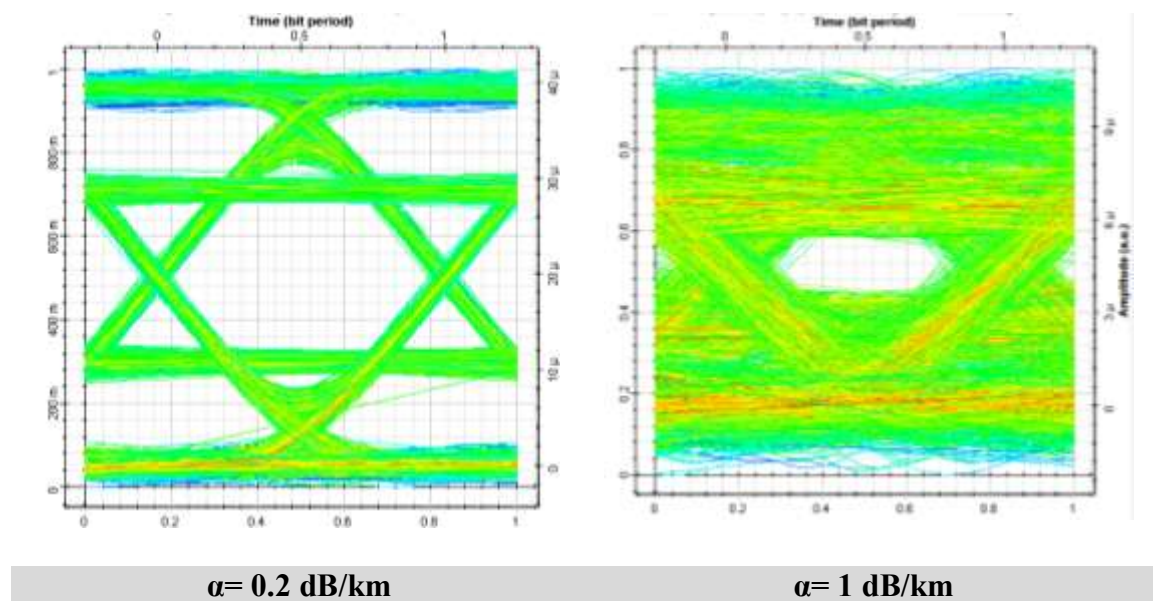


Figure 3.11: Diagramme de l'œil du réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs de l'atténuation de la fibre optique de transmission.

Dans la figure 3.12, nous avons tracé l'évolution du facteur de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique pour le réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD. Nous remarquons que le facteur de qualité démunie lorsque l'atténuation de la fibre optique augmente de 0 dB/km à 1 dB/km.

Par conséquent, l'atténuation a un impact important sur les performances du réseau FTTH (pour les codes EDW et MD). En effet, l'atténuation de la fibre optique peut entraîner une perte de signal, limiter la distance de transmission, dégrader le rapport signal sur bruit et nécessiter une puissance d'émission plus élevée. Il est essentiel de prendre en compte l'atténuation de la fibre optique lors de la conception et du déploiement du réseau d'accès optique sécurisé FTTH pour assurer une transmission efficace et fiable des signaux optiques.

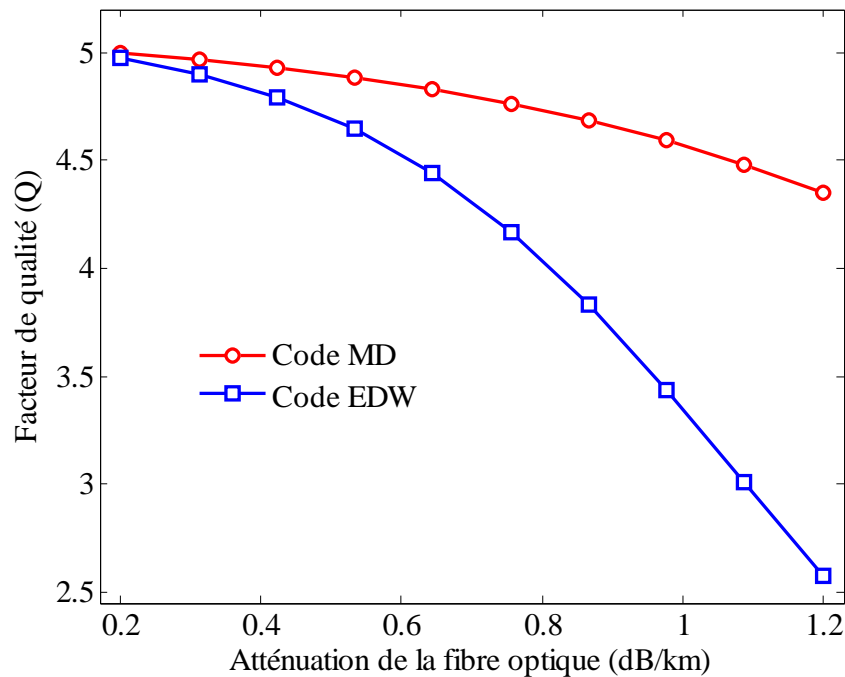


Figure 3.12: Evolution du facteur de qualité en fonction de l'atténuation de la fibre optique pour un réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD.

### 3.5.4. Influence de la dispersion chromatique de la fibre optique

La dispersion chromatique de la fibre optique se manifeste par la séparation des différentes longueurs d'onde de la lumière lors de sa propagation à travers. Cette séparation résulte des variations de l'indice de réfraction du matériau de la fibre selon la longueur d'onde. Cette dispersion peut entraîner une distorsion du signal et restreindre la capacité de transmission à haut débit sur de longues distances.

Dans la figure 3.13, nous exposons le diagramme de l'œil du réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs distinctes de dispersion chromatique de la fibre optique. Nous observons que l'œil est fermé pour une dispersion chromatique de 22 ps/nm.km, tandis qu'il est ouvert pour une dispersion chromatique de 3 ps/nm.km, ce qui montre d'une bonne

qualité de transmission pour cette dernière valeur. Cela montre l'importance de maintenir la dispersion chromatique de la fibre optique en dessous de 22 ps/nm.km lors de la conception du réseau d'accès optique sécurisé FTTH.

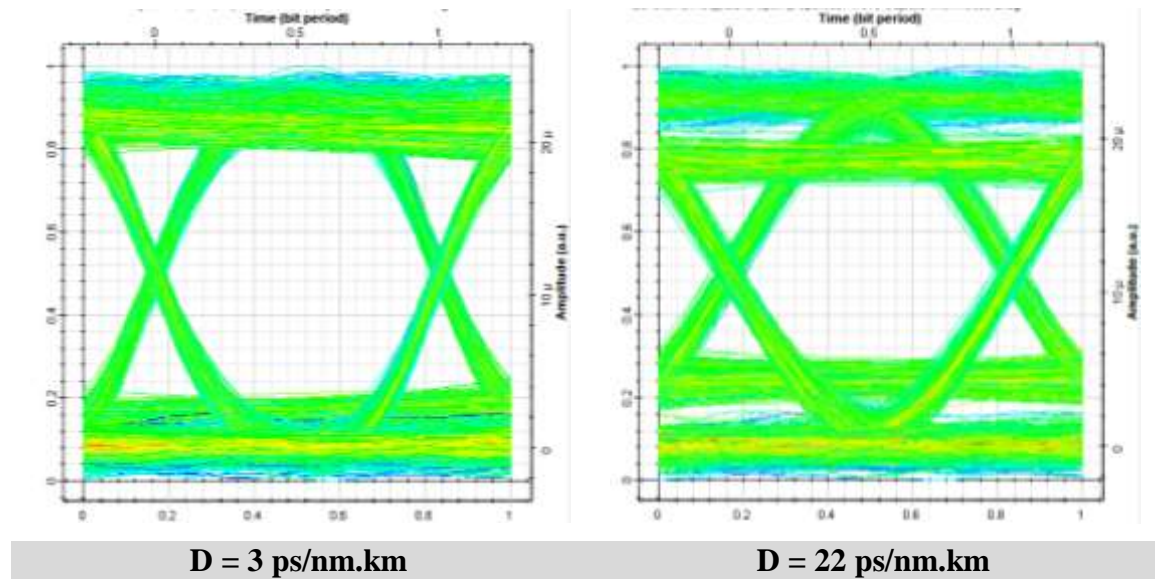


Figure 3.13: Diagramme de l'œil du réseau d'accès optique FTTH pour deux valeurs de la dispersion chromatique de la fibre optique.

La figure 3.14 présente l'évolution du facteur de qualité en fonction de la dispersion chromatique de la fibre optique. Nous observons que le facteur de qualité reste constant lorsque la dispersion chromatique varie entre 0 et 7 ps/nm.km. Cependant, au-delà de 7 ps/nm.km, le facteur de qualité diminue considérablement à mesure que la dispersion chromatique de la fibre optique augmente.

La dispersion chromatique de la fibre optique peut entraîner une distorsion du signal transmis, limiter la distance de transmission et réduire le débit binaire. Pour cela, il est important de prendre en compte la dispersion chromatique de la fibre optique lors de la conception et du déploiement du réseau optique FTTH afin de garantir une transmission efficace et fiable des signaux optiques.

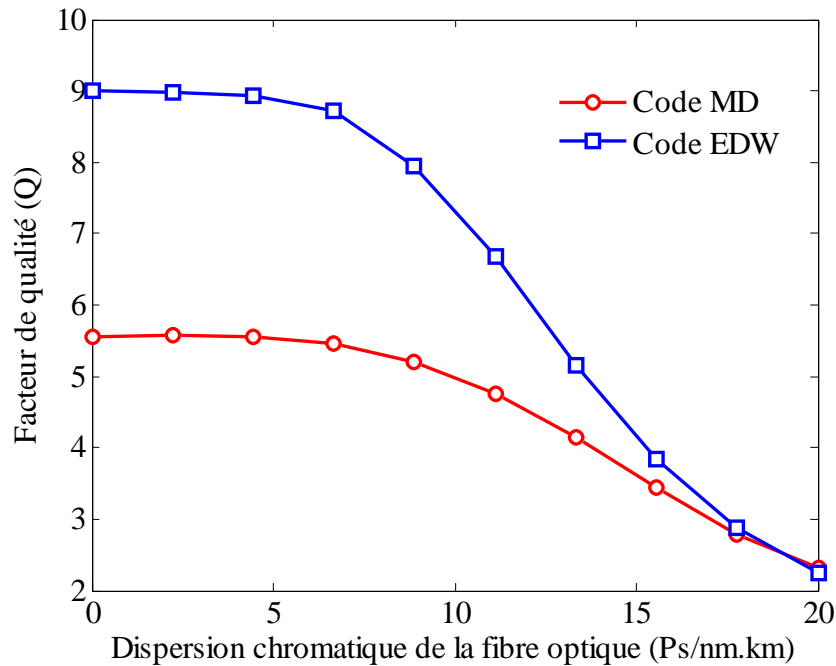


Figure 3.14: Evolution du facteur de qualité en fonction de dispersion chromatique de la fibre optique pour un réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optiques EDW et MD.

### 3.6. Conclusion

Le logiciel OptiSystem est un outil bien adapté pour simuler, concevoir, tester et optimiser pratiquement tous types de liaisons optiques dans la couche physique. Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé ce logiciel pour analyser les performances d'un réseau optique d'accès FTTH utilisant deux codes optiques (MD et EDW). Pour évaluer l'impact de différents paramètres sur les performances du réseau optique conçu, le facteur de qualité (Q) et le diagramme de l'œil ont été employés comme critères de qualité. Les résultats de simulation obtenus montrent que la fibre optique a une influence importante sur les performances du réseau. Pour prétendre de bonnes performances, la longueur de la fibre optique doit être inférieure à 10 Km et cela pour les deux types de codes optiques (MD et EDW).

Les paramètres physiques de la fibre optique ont aussi une influence importante sur les performances du réseau d'accès optique FTTH. Les valeurs de ces paramètres doivent être choisies de manière rigoureuse pour obtenir une meilleure performance.

## Conclusion Générale

La technique de multiplexage par répartition de code optique OCDMA, appliquée aux systèmes optiques, représente l'une des solutions envisageables pour la gestion des ressources de la fibre optique et réaliser un réseau optique sécurisé. Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, nous avons mis en œuvre, via le logiciel OptiSystem, un réseau d'accès optique FTTH utilisant deux codes optique EDW et MD.

Nous avons vu que de nombreuses études envisagent l'utilisation de la technique CDMA optique pour les futurs réseaux d'accès optiques. Le principe d'encodage des données permet non seulement de sécuriser la transmission, mais aussi de permettre à plusieurs utilisateurs ou services de communiquer sur le même support de transmission. Pour que les différents utilisateurs potentiels puissent accéder de manière simple et asynchrone au réseau, nous envisageons l'utilisation de la technique d'émission des données par encodage spectrale (SAC-OCDMA)

Nous avons vu qu'il existe différents types de codes applicables aux systèmes OCDMA. Comme le canal est unipolaire, ces codes sont constitués uniquement de 0 et de 1. Pour cela, nous avons généré des familles de codes permettant d'obtenir un grand nombre de séquences ainsi que des propriétés d'autocorrélation et d'intercorrélations minimales (égales à 1) afin de limiter l'impact de l'IAM. De nombreuses familles de codes OCDMA ont été développées, les plus utilisées étant les familles de code EDW et MD qui étalent les données à émettre dans le domaine spectral. Cependant l'utilisation de ces codes optiques d'étalement limite les potentialités de la technique OCDMA puisque pour obtenir un nombre de séquences de codes important, cette technique de codage nécessite un grand nombre de longueurs d'onde (ce qui complexifie l'implantation du système). La flexibilité dans le choix du nombre de longueurs d'ondes permet à la fois de limiter la complexité du réseau et les problèmes d'interférences entre longueurs d'ondes. Pour évaluer les performances et les potentialités d'un réseau d'accès optique FTTH, nous utilisons donc les codes EDW et MD obtenus par la méthode modifiée que nous avons développé et qui permettent d'utiliser un nombre minimal de longueurs d'ondes.

Nous avons ainsi mis au point un réseau d'accès optique sécurisé FTTH utilisant les codes optiques EDW et MD, en analysant l'influence de la longueur de la fibre optique, la

puissance optique d'émission, ainsi que de l'atténuation et de la dispersion chromatique de la fibre optique. Ces analyses ont révélé des résultats significatifs, mettant en évidence l'importance majeure de ces paramètres sur la transmission du signal et donc sur les performances du réseau optique sécurisé FTTH. Ce réseau optique prend en charge un débit de transmission maximal, avec une valeur optimale de la puissance optique d'émission. La longueur de la fibre optique est également un impact sur les performances du réseau optique FTTH, suggérant l'existence d'une longueur maximale entre l'OLT et le nœud de raccordement optique (NRO). De plus, l'atténuation et la dispersion chromatique de la fibre optique jouent un rôle majeur dans les performances du réseau d'accès optique sécurisé FTTH, soulignant la nécessité de choisir ces paramètres physiques avec rigueur pour garantir une meilleure qualité de transmission. La gestion de la dispersion chromatique est essentielle lors de la conception de réseaux optiques à haute capacité et à longue distance, permettant une transmission fiable et de haute qualité des signaux optiques.

## Références Bibliographiques

- [1] Hilem Juba, Hamadou Fouad et Brahmi Hadda, « Étude et simulation d'un réseau FTTH basé sur la norme G-PON », Mémoire de master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2020.
- [2] Hamedi, Yasmine-Djazia, « Etude d'une liaison Radio sur fibre », mémoire de Master, Université Abou BekrBelkaid Tlemcen, 2014.
- [3] KHOBIZI Meryem, BOUKESKES Rayane « Etude et analyse des performances d'un réseau optique passif bidirectionnel SAC-OCDMA-BPON », Mémoire de Master, Université 8 mai 1954-Guelma 2023.
- [4] CHENIKA Abdelfettah, « étude et conception de nouveaux formats de modulations dédiés aux réseaux d'accès optiques haut débit », Thèse doctorat, Université Aboubekr Belkaïd Tlemcen, 2017.
- [6] KOURAT Mohamed, MOULAY Saliha, « ETUDE ET SIMULATION D'UN RESEAU OPTIQUE PASSIF (PON) », Mémoire master, Université Dr MOULAY Tahar-Saïda, 2019.
- [7] BERRAHAL Belabbas, « Etude et optimisation des caractéristiques optique photonique d'un amplificateur EYDWA pour le réseau optique passif GPON», Thèse de Doctorat, Université de Djillali Liabès , Sidi Bel-Abbès, 2020.
- [8] G.P Aggarwal, "Fiber Optic Communication Systems," John Wiley and Sons, New York, 1997.
- [9] FABIENNE Saliou, « Etude des solutions d'accès optique exploitant une extension de portée débit », Thèse de doctorat, Télécom Paris Tech, 2010.
- [10] Guendouz Chaimaa, Bougheddou Amel Belabbas, « Etude et Simulation de la qualité de Service (QOS) D'un réseau d'accès fibre optique FTTH-GPON Cas ville de Tiaret», Mémoire de master, Université Ibn khaldoun - tiaret, 2022.
- [11] CHENIKA Abdelfettah, " Etude et conception de nouveaux formats de modulations dédiés aux réseaux d'accès optiques haut débit", Thèse doctorat, Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, 2017.
- [12] Tidiani Mathieu Diarra, « Etude d'un Réseau d'Accès OFDM-PON», Mémoire de master, Université 8 mai1945-Guelma, 2022.

- [13] KOURAT Mohamed et MOULAY Saliha, « Etude et simulation d'un réseau optique passif (PON) », Mémoire de master, Université Dr MOULAY Tahar de Saïda, 2019.
- [14] LOUAZANI Marwa, MEDDANE Samira, "Etude des réseaux d'accès Optique Exploitant le multiplexage en longueurs d'onde", Mémoire de master, Université Abou-bekr belkaid- Tlemcen, 2017.
- [15] Livre Blanc, « Les réseaux PON (Passive Optical Network) » 18/12/2006.
- [16] S. Asnoui et N. Meklleche, «Etude et caractérisation d'une chaîne de transmission optique à 40 Gigabit/S», Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis, 2018.
- [17] S. Ayotte, M. Rochette, J.Mange, L. Rusch et S. LaRochelle, « Experimental verification and capacity prediction of FE-OCDMA using superimposed FBG», *Journal of Lightwave Technology*, vol. 23, no2, 2005.
- [18] BRUYERE Frank, « Le multiplexage en longueur d'onde dans les réseaux métropolitains », *Revue des Télécommunications d'Alcatel*, pp. 27-32, 2002.
- [19] C. BENZERDJEB et S. SELKA, « Encodage de l'amplitude spectrale pour OCDMA», Mémoire de master, Université Abou-bekr Belkaïd-Tlemcen, 2013.
- [20] A BOUKHALFA. Mr. F. BOUNECISSA, « Code MD pour le système de communication optique SAC-OCDMA», Mémoire de master, Université Dr Moulay Tahar - Saïda, 2016.
- [22] Abdelkader Bouarfa, Malika Kandouci, and Hanane Djellab, « A New MIHP Code Using Direct Detection for SAC-OCDMA System», *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, Vol 9, No 4, 2017
- [23] S.A. Aljunid, M. Ismail, A. R. Ramli, B. M. Ali, and M. K. Abdullah, «A new family of optical code sequences for spectral amplitude-coding optical CDMA systems», *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 16, no. 10, 2004.
- [24] J. Penon, Z. A. El-Sahn L. A. Rusch et S. La Rochelle, « Spectral-Amplitude-Coded CDMA Optimized for a Realistic FBG Frequency Response », *Journal of Lightwave Technology*, vol. 25, 2007.
- [25] Abd El Mottaleb, Somaya A., et al, « SAC-OCDMA system using different detection techniques ». *IOSR J Electron Commun Eng* , 9 (2), 2014
- [26] W. A. Gambling, A. H. Hartog, G. M. Regale, « Optical fiber transmission lines», *the Radio and Electronic Engineer*, vol.51, No. 7/8, 1981.



- [27] Julien Penon « Réduction du bruit d'intensité dans les systèmes SAC-OCDMA Incohérents utilisant des réseaux de Bragg », Thèse de Doctorat, Université Laval Québec, 2009
- [28] SIMON. Ayotte, « Systèmes optiques à accès multiples par répartition de codes : Étude des performances et de l'impact du bruit d'intensité », Thèse de doctorat, Université Laval Quebec, 2007.
- [29] A. M. Alhassan, N. M. Saad and N. Badruddin, « An Enhanced Detection Technique for Spectral Amplitude Coding Optical CDMA Systems », IEEE Photonics Technology Letters, vol. 23, no. 13, pp. 875-877, 2011
- [30] Kumari.M, Himali. S, « Performance analysis of zero cross-correlation code in spectral amplitude coding-OCDMA», International Conference en communication, Computing & Systems (ICCCS-2014).
- [31] Waqas, A.Imtiaz, Ilyas, M., & Khan, H, «Performance optimization of spectral amplitude coding OCDMA system using new enhanced multi-diagonal code», Infrared Physics & Technology, Vol. 79, pp.36-44, 2016.

## Résumé

Le réseau d'accès optique sécurisé combine les avantages du réseau optique passif et du multiplexage par codes optiques pour permettre à sécuriser les données et fournir des services à large bande à un plus grand nombre d'utilisateurs. L'objectif de ce travail est de présenter un procédé d'encodage et de décodage dans le réseau d'accès optique FTTH en implémentant deux codes optiques spectraux unipolaire EDW et MD. Nous avons aussi évalué le rendement du réseau optique conçu face aux différents paramètres qui réduisent son efficacité en termes de facteur de qualité Q et de diagramme de l'œil. Le travail est achevé par une optimisation des paramètres géométriques et physiques du réseau optique sécurisé FTTH en préservant une bonne qualité de transmission, qui résiste aux différentes perturbations causées par les interférences d'accès multiples (IAM). L'analyse approfondie révèle que ce réseau optique est efficace pour la fourniture de services à haut débit tels que l'Internet, la téléphonie et la télévision, ainsi que pour une connectivité rapide, fiable et sécurisée pour les utilisateurs.

**Les mots clés :** Fibre optique, Réseaux d'accès optique FTTH, Codes optiques EDW, MD, facteur de qualité, diagramme de l'œil, OptiSystem.

## Abstact

The secure optical access network combines the advantages of passive optical network and optical code division multiple access OCDMA in order to secure data and provide broadband services to more users. The objective of this study is to present an encoding and decoding process in the FTTH optical access network by implementing two unipolar spectral optical codes (EDW and MD optical code). We have evaluated the performance of the designed optical network against the various parameters which reduce its efficiency in terms of quality factor and eye diagram. The work is completed by optimizing the geometric and physical parameters of the secured FTTH optical network while preserving good transmission quality, which resists against various disturbances caused by Multiple Access Interference (MAI). The in-depth analysis reveals that the designed optical network is effective in providing high-speed services such as Internet, telephony and television, as well as providing fast, reliable and secure connectivity to users.

**Keywords:** Optical fiber, FTTH optical access networks, Optical codes EDW and MD, Quality factor, Eye diagram, OptiSystem.