

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abou-Bakr Belkaid- TLEMCEM  
Faculté de Technologie  
Département de télécommunication

## MEMOIRE

Présenté par

**KHATER Yasser**  
**KHOBZI Mohammed**

*En vue de l'obtention du*

**Diplôme de MASTER**

Réseaux et Télécommunications

### Thème

Technique OCDMA : Applications dans les réseaux de  
communications optiques

Soutenu le : 22 – 06 – 2020, devant le jury composé de :

<b>Président</b>	<b>Mr. KARIM. F. A</b>	<b>MCA</b>	<b>Université A.B. Belkaid</b>
<b>Encadreur</b>	<b>Mr.KHELLADI. M</b>	<b>MCA</b>	<b>Université A.B. Belkaid</b>
<b>Co-Encadreur</b>	<b>Mr. BOUACHA. A</b>	<b>MCA</b>	<b>Université A.B. Belkaid</b>
<b>Examineur</b>	<b>Mlle. DJELTI. H</b>	<b>MCA</b>	<b>Université A.B. Belkaid</b>

**Année universitaire 2019/2020**

## **Remerciements**

*Nous remercions "Dieu" le tout puissant, de nous avoir accordé le courage, la patience et la volonté pour mener à terme ce travail.*

*En témoignage de nos profondes reconnaissances, nous devons remercier toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.*

*Nous adressons nos reconnaissances et nos remerciements à nos encadreurs Mr.KHELLADI. M et Mr. BOUACHA. A de nous avoir honoré par leurs encadrement, pour leurs disponibilité, leurs orientations et leurs précieux conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.*

*Nous remercions les membres du jury, Mr. KARIM. F. A et*

*Mlle. DJELTI. H d'avoir accepté de juger notre travail.*

*Nos remerciements vont aussi à nos familles et amis qui nous ont prodigué conseils et encouragements.*

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :  
A la femme qui m'a mis au monde, celle qui a sacrifié tout pour moi Son  
temps, son bonheur, sa santé : ma mère, le noyau de mon esprit.

A mon père, source d'énergie de ma réussite, Ecole de mon éducation et  
principe de la vie,

Que DIEU les préserve pour moi

A mes frères

A mes sœurs

A toute ma famille paternelle et maternelle

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

très bon souvenirs

A mon binôme et sa famille.

**Yasser**

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :  
A la femme qui m'a mis au monde, celle qui a sacrifié tout pour moi Son  
temps, son bonheur, sa santé : ma mère, le noyau de mon esprit.

A mon père, source d'énergie de ma réussite, Ecole de mon éducation et  
principe de la vie,

Que DIEU les préserve pour moi

A mes frères

A mes sœurs

A toute ma famille paternelle et maternelle

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

très bon souvenirs

A mon binôme et sa famille.

**Mohammed**

## Table des matières

Table des matières.....	(I)
Résumé.....	(V)
Liste des figures.....	(VI)
Liste des tableaux.....	(IX)
Liste des abréviations.....	(X)
Introduction générale.....	(1)

### Chapitre I : Généralités sur la transmission par fibre optique

I.	Introduction.....	(2)
II.	Chaine de transmission.....	(2)
	II.1 Emetteur.....	(2)
	II.1.1 Les données .....	(3)
	II.1.1.1 Le codage source.....	(3)
	II.1.1.2 Le codage canal.....	(3)
	II.1.2 Codage en ligne.....	(3)
	II.1.3 Sources optiques.....	(5)
	II.1.3.1 Définitions.....	(5)
	II.1.3.2 Catégories de sources.....	(5)
	a) Les sources à large spectre.....	(5)
	b) Les sources à spectre réduit.....	(5)
	• Diode Laser (DL).....	(5)
	• Diode électroluminescente (LED).....	(6)
	II.1.4 Les modulateurs.....	(7)
	II.1.4.1 Définitions.....	(7)
	II.1.4.2 types de modulation.....	(7)
	a) La modulation directe.....	(7)
	b) La modulation externe.....	(7)
	➤ Les modulateurs de type Mach-Zehnder.....	(8)
	II.2 Support de transmission.....	(8)
	II.2.1 La fibre optique.....	(8)
	II.2.1.1 Définition .....	(8)
	II.2.1.2 L'atténuation.....	(9)
	II.2.1.3 La dispersion chromatique.....	(9)
	II.3 Notion sur les Réseaux de Bragg.....	(10)
	II.3.1 Méthodes d'inscription.....	(11)
	II.3.1.1 Inscription par le montage du miroir de Lloyd (Division du front d'onde).....	(12)
	II.3.1.2 Inscription par le montage du masque de phase (Division d'amplitude).....	(12)
	II.3.2 Types de réseaux de Bragg droit à pas courts.....	(13)
	II.3.3 Modélisation des réseaux de Bragg à fibre (Théorie des modes couplés).....	(14)

II.3.3.1	Solutions analytiques pour réseaux de Bragg uniformes.....	(15)
II.3.4	Application des réseaux de Bragg dans le domaine de télécommunication.....	(17)
II.3.4.1	Filtrage et multiplexage.....	(17)
II.3.4.2	Filtre optique.....	(18)
➤	Filtre composé d'un réseau de Bragg et d'un FFP.....	(18)
II.3.4.3	Compensation de la dispersion chromatique.....	(19)
II.3.4.4	Amplificateurs optiques.....	(20)
II.4	Récepteur.....	(21)
II.4.1	Le photodétecteur.....	(21)
II.4.2	Amplificateur électrique.....	(21)
II.4.3	Le Circuit de décision.....	(21)
III.	Conclusion.....	(22)
	Références.....	(23)

## Chapitre II : Technique CDMA optique (OCDMA)

I-	Introduction.....	(24)
II-	OCDMA.....	(24)
II.1	CDMA (Code Division Multiple Access).....	(24)
II.2	Principe d'étalement de spectre.....	(25)
II.3	Techniques d'étalement de spectre.....	(25)
II.3.1	L'étalement par saut de fréquence (Frquency Hopping CDMA : FH- CDMA).....	(25)
II.3.1.1	Principe.....	(25)
II.3.1.2	Emetteur.....	(26)
II.3.1.3	Récepteur.....	(26)
II.3.1.4	Types de saut de fréquence.....	(26)
a)	Slow FH-CDMA.....	(26)
b)	Faste FH-CDMA.....	(27)
II.3.2	L'étalement par séquence direct (Direct Sequence (DS)).....	(27)
II.3.2.1	Principe.....	(27)
II.3.2.2	Emetteur.....	(27)
II.3.2.3	Récepteur.....	(27)
II.3.2.4	Gain d'étalement.....	(28)
II.3.2.5	Modèle du signal émis.....	(28)
II.3.2.6	Modèle du signal reçu .....	(28)
II.3.2.7	Construction des codes d'étalement .....	(29)
a)	Les codes pseudo-aléatoires.....	(29)
b)	Propriétés des séquences PN.....	(29)
➤	Séquences équilibrées.....	(29)
➤	Autocorrélation.....	(29)
➤	Corrélation croisée.....	(31)
c)	Types de code PN.....	(31)
➤	Codes de longueur maximale (m-séquence).....	(31)
➤	Code gold.....	(32)

	➤ Codes orthogonaux : Code Hadamard-Walsh Codes.....	(32)
II.4.	CDMA dans les systèmes optiques.....	(33)
II.4.1	définition.....	(33)
II.4.2	L'architecture d'OCDMA.....	(33)
II.4.3	Les différentes approches de l'OCDMA.....	(33)
II.4.3.1	Systèmes OCDMA cohérents.....	(33)
II.4.3.2	Systèmes OCDMA incohérent.....	(34)
II.4.4	Les catégories d'OCDMA.....	(34)
II.4.4.1	OCDMA par encodage temporel (DS-OCDMA).....	(34)
II.4.4.2	L'OCDMA spectral.....	(35)
	a) OCDMA par encodage spectral de phase (SPE-OCDMA : Spectral Phase Encoding OCDMA).....	(36)
	b) OCDMA par encodage spectral d'amplitude (SAC-OCDMA : Spectral Amplitude Coding OCDMA).....	(36)
III-	SAC-OCDMA.....	(36)
III-1	Définition.....	(36)
III-2	Encodage et décodage d'un signal SAC-OCDMA.....	(37)
III-2-1	Encodage.....	(37)
III-2-2	Technique d'encodage.....	(38)
III-2-2-1	Encodage avec masque d'amplitude.....	(38)
III-2-2-2	Encodage avec un réseau sélectif planaire AWG (Arrayed Waveguide Grating).....	(39)
III-2-2-3	Encodage avec un réseau de Bragg.....	(39)
	a) Définition.....	(39)
	b) La compensation de la dispersion.....	(39)
III-2-2-4	Encodage à l'aide de démultiplexeurs et multiplexeurs et optiques.....	(40)
III-2-3	décodage.....	(41)
III-2-3-1	Détection balancée par la méthode complémentaire.....	(41)
III-2-3-2	Détection spectrale directe.....	(43)
III-3	Bruit en SAC-OCDMA.....	(43)
III-3-1	Bruit thermique.....	(43)
III-3-2	Bruit de grenaille (shot noise).....	(44)
III-3-2	Bruit d'intensité.....	(44)
III-4	Les codes en SAC-OCDMA.....	(44)
III-4-1	Le code Cyclic Shift (CS).....	(44)
III-4-2	Le code MS (Multi-Services).....	(45)
III-4-3	Le code d'intercorrélation nulle (Zero Cross Correlation ZCC).....	(47)
IV.	Conclusion .....	(49)
	Références .....	(50)

### **Chapitre III : Simulations et interprétations des résultats**

I.	Introduction .....	(51)
II.	Présentation du logiciel OptiSystem .....	(51)
II.1	Interface de l'OptiSystem .....	(51)
II.2	Paramètres caractéristiques .....	(52)
II.3	Application d'Optisystem .....	(52)
II.4	Principales caractéristiques du logiciel Optisystem .....	(53)
III.	La chaîne de transmission d'un système SAC-OCDMA.....	(54)

IV.	La Simulation de la chaine .....	(55)
	➤ Débits binaires au niveau d'émetteur et le récepteur.....	(55)
	➤ Débit binaire à la sortie des différents composants.....	(57)
	➤ Spectre après modulation optique.....	(58)
	➤ Spectre après le passage dans le double réseau de Bragg.....	(59)
	➤ Spectre au niveau du multiplexeur.....	(59)
	➤ Spectre après propagation dans la fibre optique.....	(60)
	➤ Spectre optique après le démultiplexage.....	(61)
	➤ Spectre après le passage dans le réseau de Bragg la partie supérieure et inférieure.....	(61)
	➤ Diagramme de l'œil.....	(62)
	➤ Spectre électrique.....	(62)
	➤ Affichage elliptique du signal échantillonné.....	(63)
V.	Conclusion .....	(63)
	Conclusion générale.....	(64)

## Résumé

En tant que techniques d'accès multiples qui peuvent être utilisées pour fournir un accès à plusieurs utilisateurs pour transmettre des données au même canal simultanément sans aucune programmation ou retard de transmission, l'OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) a été une séduction au cours des dernières décennies. Tous les utilisateurs partagent simultanément toute la bande passante et accèdent au réseau de manière asynchrone.

Pour fournir l'accès à plusieurs utilisateurs simultanément, des nombreuses techniques de codage visant à augmenter les utilisateurs possibles et à améliorer les performances ont été analysées pour les systèmes OCDMA. Dans notre projet on va aborder une nouvelle approche purement optique qui est basée sur la technique d'étalement du spectre par les réseaux de Bragg à fibre.

## Mots clés:

Interférence d'accès multiple (IAM), Communication par fibre optique, Multiplexage par division de code optique, Code d'amplitude spectrale OCDMA, Réseau de Bragg à fibre.

## Abstract

As multiple accessing techniques that can be used to provide access to multiple users to transmit data to same channel simultaneously without any scheduling or delay in transmission, Optical Code Division Multiple Access (OCDMA) has been alluring for the past few decades. All users share all bandwidth simultaneously and access the network asynchronously.

To provide access to multiple users simultaneously, many coding techniques to increase possible users and improve performance has been analyzed for OCDMA systems. In our project we will approach a new purely optical technique which is based on the spread spectrum technique by fiber Bragg gratings.

## Keywords:

Multiple Access Interference (MAI), Optical Fiber Communication, Optical Code Division Multiplexing (OCDMA), SAC-OCDMA, Fiber Bragg grating.

## ملخص:

نظرًا لتقنيات الوصول المتعددة التي يمكن استخدامها لتوفير الوصول إلى العديد من المستخدمين لإرسال البيانات إلى نفس القناة في وقت واحد دون أي جدولة أو تأخير في الإرسال، فقد كان الوصول المتعدد بتقسيم الشفرة الضوئية مغريًا للعقود القليلة الماضية. يتشارك جميع المستخدمين كل النطاق الترددي في نفس الوقت والوصول إلى الشبكة بشكل غير متزامن لتوفير الوصول إلى العديد من المستخدمين في وقت واحد، تم تحليل العديد من تقنيات التشفير لزيادة المستخدمين المحتملين وتحسين الأداء لتقسيم الكود البصري للوصول إلى أنظمة متعددة في مشروعنا، سوف نقترح من تقنية بصرية جديدة بحثة تعتمد على تقنية الطيف المنتشر عن طريق شبك ألياف براق .

## كلمات مفتاحية:

تدخل الوصول المتعدد، اتصالات الألياف الضوئية، مضاعفة تقسيم الكود البصري، شبكة الألياف براق.

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Schéma général d'un système de communications par fibre .....	(2)
<b>Figure I.2</b> : Schéma synoptique de l'émetteur.....	(3)
<b>Figure I.3</b> : Codage RZ.....	(4)
<b>Figure I.4</b> : Codage NRZ.....	(4)
<b>Figure I.5</b> : Codage Manchester .....	(4)
<b>Figure I.6</b> : Codage Manchester différentiel.....	(5)
<b>Figure I.7</b> : Un laser est un oscillateur composé d'un milieu amplificateur (A) et d'une boucle de contre-réaction (CR).....	(6)
<b>Figure I.8</b> : Deux types de cavités laser :(a) résonateur Fabry-Pérot (b) résonateur en anneau.....	(6)
<b>Figure I.9</b> : Schéma d'un interféromètre de Mach-Zehnder .....	(8)
<b>Figure I.10</b> : Structure générale d'une fibre.....	(9)
<b>Figure I.11</b> : Atténuation spectrale d'une fibre optique G.652.....	(9)
<b>Figure I.12</b> : la Dispersion dans la silice pure en fonction de la longueur d'onde.....	(10)
<b>Figure I.13</b> : Courbes de dispersion de quelques fibres optiques.....	(10)
<b>Figure I.14</b> : Schéma d'un réseau de Bragg et leurs spectres.....	(11)
<b>Figure I.15</b> : Schéma du montage de photo inscription par miroir de Lloyd. ....	(12)
<b>Figure I.16</b> : Modulation d'indice d'un réseau fabriqué par la méthode du miroir de Lloyd.....	(12)
<b>Figure I.17</b> : Schéma d'exposition ultraviolette de la fibre. ....	(13)
<b>Figure I.18</b> : Modulations d'indice de différents types de réseaux. ....	(13)
<b>Figure I.19</b> : Propagation des champs à travers le réseau de Bragg.....	(14)
<b>Figure I.20</b> : La réflectivité du réseau de Bragg uniforme en fonction de $\lambda$ . ....	(16)
<b>Figure I.21</b> : La réflectivité d'un réseau de Bragg pour différentes valeurs de $kL$ .....	(16)
<b>Figure I.22</b> : La réflectivité d'un réseau de Bragg pour différentes valeurs de $\Delta n$ .....	(17)

<b>Figure I.23 :</b> (a) Filtre passe bande fabriquée par un réseau de Bragg associé avec un circulateur ; (b) un multiplexeur OADM fabriqué avec association d'un réseau de Bragg et deux circulateurs.....	(17)
<b>Figure I.24 :</b> (a) Multiplexeur OADM basé sur un interféromètre Mach-Zehnder (b) multiplexeur OADM basé sur un coupleur. ....	(18)
<b>Figure I.25 :</b> Filtres optiques :(a) association d'un réseau de Bragg et d'un FFP (b) association d'un réseau de Bragg et deux FFP . ....	(19)
<b>Figure I.26 :</b> Principe de la compensation de la dispersion chromatique en utilisant un réseau de Bragg chirpé en association avec un circulateur.....	(20)
<b>Figure I.27 :</b> Schéma synoptique d'un récepteur.....	(21)
<b>Figure II.1 :</b> Illustration de la technique CDMA .....	(24)
<b>Figure II.2 :</b> L'étalement et D'étalement de spectre dans CDMA .....	(25)
<b>Figure II.3 :</b> Principe d'étalement de spectre.....	(25)
<b>Figure II.4 :</b> L'étalement par saut de fréquence .....	(26)
<b>Figure II.5 :</b> L'étalement par séquence direct .....	(27)
<b>Figure II.6 :</b> Registre à décalage à rétroaction linéaire LFSR (L=4).....	(31)
<b>Figure II.7 :</b> Exemple d'un LFSR pour L=4.....	(32)
<b>Figure II.8 :</b> OCDMA avec émetteurs et récepteurs optiques en configuration en étoile.....	(33)
<b>Figure II.9 :</b> Principe de l'étalement temporel.....	(34)
<b>Figure II.10 :</b> Un exemple de codage DS-OCDMA.....	(35)
<b>Figure II.11 :</b> Codage spectral OCDMA.....	(35)
<b>Figure II.12 :</b> SPE-OCDMA.....	(36)
<b>Figure II.13 :</b> SAC-OCDMA.....	(36)
<b>Figure II.14 :</b> Technique de codage spectrale en SAC-OCDMA .....	(36)
<b>Figure II.15 :</b> Principe de l'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA.....	(38)
<b>Figure II.16 :</b> Encodage SAC-OCDMA effectué avec un masque d'amplitude.....	(38)
<b>Figure II.17 :</b> Encodage SAC-OCDMA à base d'AWG.....	(39)

<b>Figure II.18</b> : Réseaux de Bragg utilisés en transmission pour encodage SAC-OCDMA.....	(40)
<b>Figure II.19</b> : Encodage SAC-OCDMA à base d'un démultiplexeur et de multiplexeurs.....	(41)
<b>Figure II.20</b> : Architecture d'un système SAC-ODMA à détection balancée.....	(41)
<b>Figure II.21</b> : Exemple de fonctionnement de la détection balancée.....	(42)
<b>Figure II.22</b> : Méthode de détection spectrale directe.....	(43)
<b>Figure III.1</b> : Interface d'utilisateur graphique (GUI).....	(52)
<b>Figure III.2</b> : Schéma d'un photodétecteur sous OptiSystem.....	(52)
<b>Figure III.3</b> : Interface de définition du photodétecteur.....	(52)
<b>Figure III.4</b> : Modification du paramètre du composant FBG.....	(53)
<b>Figure III.5</b> : (a) Schéma global d'un Emetteur / Récepteur optique, (b) Partie émetteur, (c) Support de transmission,(d) Partie récepteur .....	(55)
<b>Figure III.6</b> : Débit binaire 1 Gbit/s. (a) au niveau de l'émetteur (b) au niveau de récepteur .....	(56)
<b>Figure III.7</b> : La configuration du générateur PRBS .....	(57)
<b>Figure III.8</b> : La Débit binaire à la sortie des différents composants.....	(58)
<b>Figure III.9</b> : Spectre optique au niveau du modulateur Mach-Zehnder .....	(59)
<b>Figure III.10</b> : Spectre optique après le passage dans le deuxième réseau de Bragg.....	(59)
<b>Figure III.11</b> : Spectre optique après le multiplexage.....	(60)
<b>Figure III.12</b> : Spectre optique après propagation dans la fibre optique .....	(60)
<b>Figure III.13</b> : Spectre optique après le démultiplexage.....	(61)
<b>Figure III.14</b> : Spectre après le passage dans le réseau de Bragg la partie supérieure et inférieure .....	(61)
<b>Figure III.15</b> : Diagramme de l'œil.....	(62)
<b>Figure III.16</b> : Spectre électrique (a) au niveau de l'émetteur (b) au niveau du récepteur.....	(62)
<b>Figure III.17</b> : Affichage elliptique du signal échantillonné (a) au niveau du multiplexeur (b) après propagation dans la fibre optique .....	(63)

## Liste des tableaux

<b>Tableau II.1</b> : Les avantages et les inconvénients de la technique masque d'amplitude.....	(38)
<b>Tableau II.2</b> : Paramètres de l'exemple donné.....	(42)

## Liste des abréviations

- AWG	Arrayed Waveguide Grating
- BER	Bit Error Ratio
- CDEC	Décodeur Complémentaire
- CDMA	Code Division Multiple Access
- CR	Contre-Réaction
- CS	Cyclic Shift
- DEC	Décodeur
- DEL	Diodes Electroluminescentes
- DL	Diodes Laser
- DS-CDMA	Direct Sequence Code Division Multiple Access
- DS-OCDMA	Direct Sequence Optical Code Division Multiple Access
- ENC	Encodeur
- FBG	Fiber Bragg Grating.
- FFH-CDMA	Fast Frquency Hopping Code Division Multiple Access
- FFP	Fiber Fabry- Pérot
- FH-CDMA	Frquency Hopping Code Division Multiple Access
- GPS	Global Positionning System
- IAM	Interférences d'Accès Multiple
- IMZ	Interféromètre de Mach-Zehnder
- LZW	Lempel-Ziv-Welch
- MS	Multi-Services
- NRZ	No Return to Zero
- OADM	Optical Add and Drop Multiplexeur
- OCDMA	Optical Code Division Multiple Access
- PD	Photodiode
- PON	Passive Optical Network
- PRBS	Pseudo Random Binary Sequence
- RLE	Run-Length Encoding
- RZ	Return to Zero
- SAC-OCDMA	Spectral Amplitude Coding Optical Code Division Multiple Access
- SDH	Synchronous Digital Hierarchy
- SFH-CDMA	Slow Frquency Hopping Code Division Multiple Access
- SLM	Spatial Light Modulator
- SNR	Signal to Noise Ratio
- SONET	Synchronous Optical NETWORK
- SPE-OCDMA	Spectral Phase Encoding Optical Code Division Multiple Access
- TDM	Time Division Multiple
- TDM	Time Division Multiple Access
- UMTS	Universal Mobile Télécommunications System
- UV	Ultra Violet
- WDM	Wavelength Division Multiple
- ZCC	Zero Cross Correlation

# Introduction générale

---

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

Plusieurs techniques d'accès sont nécessaires pour répondre à l'augmentation de la demande de grande vitesse et de grande capacité de communication dans les réseaux, à savoir la méthode de répartition de ces ressources en temps TDMA (Time Division Multiple Access), multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiple) et répartition on code CDMA (Code Division Multiple Access).

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

Plus récemment, une attention plus particulière a été portée à l'association de la technique d'accès OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) et plus précisément à OCDMA par encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA qui est l'intérêt de notre mémoire.

Ce manuscrit est structuré comme suit :

Le chapitre 1 présente les différents composants qui constituent une liaison optique avec un rappel sur les différents types de sources optiques, les techniques démodulations, classification des fibres optiques et les différentes sources de dégradation du signal.

Le chapitre 2 est consacré pour la technique de multiplexage par répartition de code CDMA et plus particulièrement à son développement en optique, à savoir son architecture et ces différents types , et constitue aussi l'axe de notre mémoire où nous abordons le principe de base de la technique d'encodage et décodage spectral d'amplitude, nous présentons par la suite les différents bruits qui limitent les performances du système, ainsi la méthode de construction des codes utilisés en SAC-OCDMA qui sont ZCC (Zero Cross Correlation), MS (Multi-Services) et le code CS (Cyclic Shift).

Le chapitre 3 porte sur la simulation sous OptiSystem 7.0 d'un système SAC-OCDMA à base de fibre à réseau de Bragg et de voir les différents paramètres qui limites leurs performances.

Et nous terminons avec une conclusion générale.

# *CHAPITRE 1*

## *Généralités sur la transmission par fibre optique*

## I. Introduction

Dans les liaisons optiques hyperfréquences, comme dans tous les systèmes de communication, il existe trois blocs importants pour effectuer la transmission de l'information qui sont: l'élément d'émission, le canal de communication et le récepteur.

-Le bloc d'émission est constitué d'un dispositif (la diode laser) qui permet de convertir un signal sinusoïdal électrique en un signal optique.

-Le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information.

-Enfin, le récepteur (le photodétecteur) récupère le signal électrique véhiculé en opérant une conversion optique/électrique.

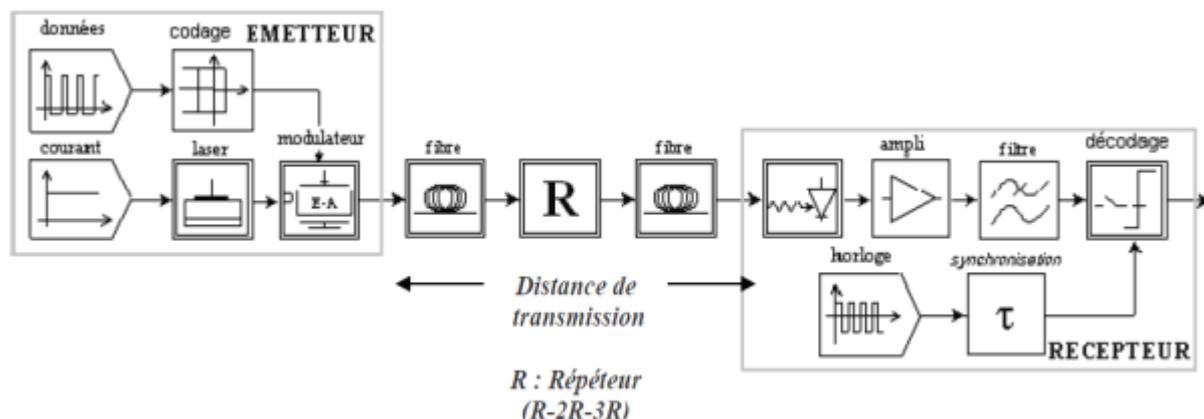


Figure I.1 : Schéma général d'un système de communications par fibre [1]

## II. Chaîne de transmission

### II.1 Emetteur

Pour transmettre les informations de forme optique, il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques, ces conversions sont effectuées par des composants particuliers et après on transmettent ce signal optique sur un support de transmission.

# Généralités sur la transmission par fibre optique

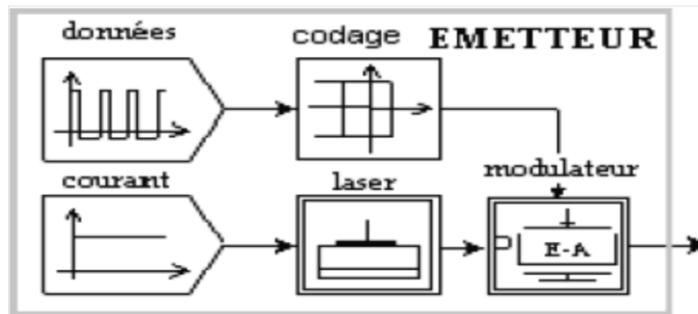


Figure I.2 : Schéma synoptique de l'émetteur

## II.1.1 Les données

### II.1.1.1 Le codage source

Le codage de source ou compression des données sert à fournir une représentation efficace des données (un taux de compression important) tout en préservant l'information essentielle qu'elles portent. Nous avons deux algorithmes pour la compression de données :

- la compression de données sans pertes (codage de Huffman, LZW, RLE, .....).
- la compression de données avec pertes ne s'applique que sur des données

Perceptuelles (audio, image, vidéo).

### II.1.1.2 Le codage canal

Le but c'est l'amélioration de BER par des codes correcteurs d'erreurs. Le principe des codes correcteurs d'erreurs est de rajouter une bit de parité au mot du message, soit par exemple un message comportant sept données binaires, on compte le nombre de bits égaux à 1. Si ce nombre est pair, le bit de parité égal 0, si ce nombre est impair le bit de parité égal 1. Si le message reçu a une parité égale à 0, on considèrera que le message a été correctement transmis. Si la parité du message est égale à 1, on sait qu'il y a certainement une erreur de transmission. Mais le problème il n'est pas possible de retrouver la donnée erronée. Donc on utilise le code Reed Solomon RS dans les systèmes optiques actuels mais peu de travaux se sont concentrés sur des codes plus efficaces comme les turbos codes. Voilà l'équation de BER (Bit Error Ratio) [2].

$$BER = \frac{\text{nombre d'erreurs détectées}}{\text{le nombre de bits transmis}} \quad (I.1)$$

## II.1.2 Codage en ligne

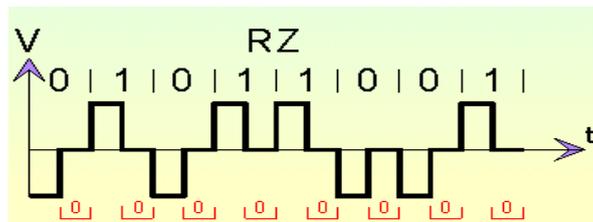
Pour les télécommunications, l'information est généralement transmise dans les fibres optiques en format numérique, s'est à dire en code binaire sous forme de 0 et de 1

# Généralités sur la transmission par fibre optique

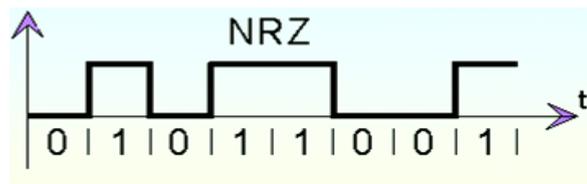
0 pour une absence de lumière et 1 pour une présence de lumière.

Il existe plusieurs types de formats de codage :

✚ le codage RZ (retour à zéro) où le signal lumineux redescend systématiquement et de façon quasi-instantanée à zéro entre chaque bit. Plus précisément, la transmission d'un bit sur une durée  $T$  s'effectue ainsi : indication de la valeur liée au chiffre transmis pendant un temps  $t_0$  puis retour à zéro pendant un temps  $T-t_0$ . Pour la suite on suppose  $t_0 = \frac{1}{2}T$ .



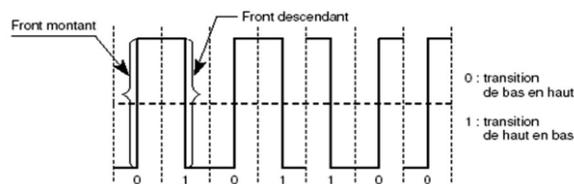
✚ le codage NRZ (non retour à zéro) où le signal garde la même valeur entre deux bits identiques.



✚ le codage Manchester

1 : transition du niveau haut vers le niveau bas.

0 : transition du niveau bas vers le niveau haut.



✚ le codage Manchester différentiel

Si le signal à transmettre, dans le temps de bit qui suit, est "0" le codage consiste en une transition (montante ou descendante) en début du temps de bit.

De même, si le signal à transmettre, dans le temps de bit qui suit, est "1" le signal en ligne ne doit présenter aucune transition en début du temps de bit. Le signal devra changer de niveau au milieu de chaque temps de bit.

# Généralités sur la transmission par fibre optique

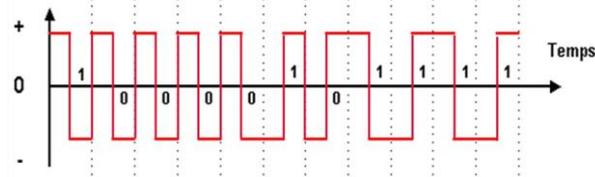


Figure I .6 codage Manchester différentiel

Un des critères de choix du code en ligne est le débit binaire qui correspond au nombre de bits transmis par seconde. Pour une transmission de  $n$  bits pendant un temps (en seconde), le débit binaire  $D$  est :

$D = n / \Delta t$  Il est exprimé en bit par seconde, ce qui se note bit/s ou bps.

Pour une fibre optique, les débits sont énormes. Les débits standards sont de l'ordre de 100 gigabits par seconde. Des équipes de recherche obtiennent même en laboratoire des débits de quelques térabits par seconde.

## II.1.3 Sources optiques

### II.1.3.1 Définitions

Les sources optiques sont des composants actifs dans le domaine de la communication par fibres optiques. Leurs fonctions sont de convertir une énergie électrique en une énergie optique avec un rendement satisfaisant et assurer un bon couplage avec la fibre. Pour être exploitable avec une certaine qualité.

### II.1.3.2 Catégories de sources

Nous avons deux catégories de sources :

- a) **Les sources à large spectre** (lampes incandescentes) : n'utilisez pas trop parce qu'il donne une très grande dispersion chromatique conduisant à de très faibles bandes passantes.
- b) **Les sources à spectre réduit** (diodes Laser et diodes électroluminescentes) : cette source est la plus utilisée pour la télécommunication optique parce que nous avons besoin d'une large bande passante donc on utilise soit des diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL).

- **Les diodes laser (DL)**

La DL est une source cohérente, elle est utilisée surtout dans les systèmes de transmission à très grandes distances (faible largeur spectrale  $\Rightarrow$  bande passante importante). La diode laser est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques, car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre. En pratique, il s'agit de faire passer un

# Généralités sur la transmission par fibre optique

signal lumineux plusieurs fois dans un amplificateur grâce à une boucle de contre-réaction.

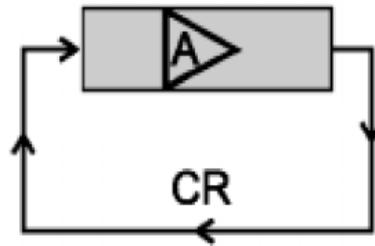


Figure I.7 : Un laser est un oscillateur composé d'un milieu amplificateur (A) et D'une boucle de contre-réaction (CR).

Le système permettant la circulation est généralement appelé résonateur ou cavité. On a deux types de résonateur :

- résonateur Fabry-Pérot lorsque l'ensemble des composants constituant le laser sont sur une même ligne.
- résonateur en anneau.

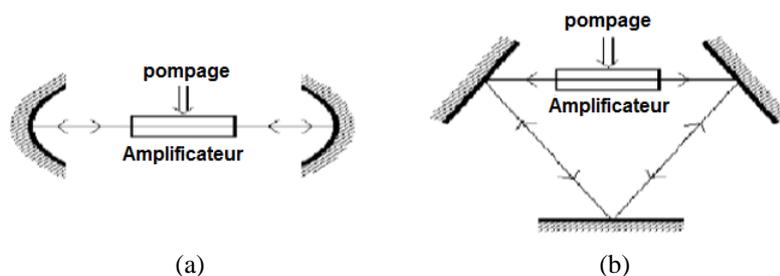


Figure I.8 : Deux types de cavités laser :(a) résonateur Fabry-Pérot (b) résonateur en anneau

Afin d'obtenir l'effet laser, vous devez fournir de l'énergie électrique ou optique à chaque tour. L'amplificateur dépasse le gain perdu dans les miroirs ; une fois l'effet laser obtenu nous remarquerons des ondes bien définies, qui se propagent dans la cavité sont favorisées (modes longitudinaux) tandis que d'autres sont atténuée.

## • Diode électroluminescente (LED)

La DEL est une source incohérente, elle est utilisée surtout dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grandes bandes passantes (un spectre d'émission assez large  $\Rightarrow$  bande passante faible). L'électroluminescence est le résultat de la recombinaison radiative des électrons et des trous électroniques dans un matériau. Les électrons excités libèrent leur énergie sous forme de photons (lumière). Avant recombinaison, les électrons et les trous sont séparés les uns des autres en raison de l'induction (semi-conducteur) dans le matériau pour former une jonction (les LED), ou en raison de l'excitation par impacts d'électrons de haute énergie accélérés par un fort champ électrique [3].

# Généralités sur la transmission par fibre optique

---

Comparée au Laser, la DEL présente:

- Une puissance optique couplée plus faible (quelques  $\mu\text{W}$ ).
- Une faible fréquence de modulation (50 MHz).
- Une facilité de fabrication (pas de miroirs).
- Un faible coût.
- Une faible dépendance en température.

## II.1.4 Les modulateurs

### II.1.4.1 Définitions

La modulation c'est la transformation d'un signal porteuse par un signal modulant.

### II.1.4.2 types de modulation

Dans ce travail, on s'intéressera uniquement à la modulation optique dans les lasers à semi-conducteurs. Il existe deux méthodes pour moduler les ondes optiques pour les télécommunications:

#### a) la modulation directe

Dans cette méthode on modifie le courant dans la diode laser (DL) ou dans la diode électroluminescente (DEL). La modulation directe offre l'avantage d'être simple et peu coûteuse, en plus elle nécessite une tension réduite et une puissance faible. Cependant, elle présente des inconvénients liés aux oscillations de relaxation, bruit.

#### b) la modulation externe

Dans cette méthode, divers types de modulation sont possibles : modulation d'amplitude, de phase, de polarisation, d'impulsion ... Ce type de modulation permet d'obtenir de très grands débits. La modulation externe consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser [4]. Donc les défauts de la méthode direct (oscillations de relaxation, bruit, chirp) n'est plus présent.

Il existe deux types de modulateurs externes :

- ✓ Les modulateurs de type Mach-Zehnder ;
- ✓ Les modulateurs électro-absorbants.
- Dans notre travail on utilise seul le modulateur de type Mach-Zehnder

# Généralités sur la transmission par fibre optique

- Les modulateurs de type Mach-Zehnder

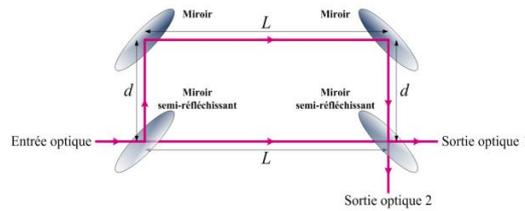


Figure I.9 Schéma d'un interféromètre de Mach-Zehnder

Le principe de fonctionnement de cet interféromètre est basé sur la génération d'une interférence entre deux ondes lumineuses [5]. Cette interférence permet d'obtenir une modulation de l'intensité lumineuse du faisceau en sortie du système optique.

Pour créer cette interférence, une onde optique cohérente est divisée en deux faisceaux en entrée de l'IMZ grâce à un miroir semi réfléchissant. L'objectif consiste ensuite à faire parcourir deux distances différentes ( $L$  et  $L+2d$ ) à chacune de ces deux ondes pour créer une différence de phase entre elles. Elles sont enfin recombinaison en sortie à l'aide du second miroir semi-réfléchissant. Une interférence va avoir lieu lors de cette recombinaison. Pour amplifier l'effet destructif ou constructif de cette interférence entre les deux ondes optiques, il faut agir sur leur différence de phase. Pour cela il suffit de faire varier la distance  $d$  entre les miroirs et les miroirs réfléchissants. Grâce à ce phénomène, il est possible de réaliser une modulation de l'intensité lumineuse.

- La modulation externe est plus rapide et permet donc d'envoyer des débits plus élevés.
- Le bruit, le chirp ... ne sont pas inexistant dans les modulateurs externes mais leurs valeurs sont nettement plus faibles que dans les lasers.

La démodulation d'une modulation de phase ou de fréquence se fait généralement au moyen d'un démodulateur différentiel qui est relativement complexe par rapport à un simple photodétecteur.

## II.2 Support de transmission

### II.2.1 La fibre optique

#### II.2.1.1 Définition

La fibre optique est un guide cylindrique composé de deux diélectriques appelés le cœur et la gaine. Le cœur de rayon ( $a$ ), de permittivité ( $\epsilon_1$ ) est entouré par la gaine de permittivité  $\epsilon_2 < \epsilon_1$ . Les dimensions des diélectriques sont invariantes selon la longueur de la fibre, considéré ici ( $oz$ ) comme axe de propagation.

# Généralités sur la transmission par fibre optique

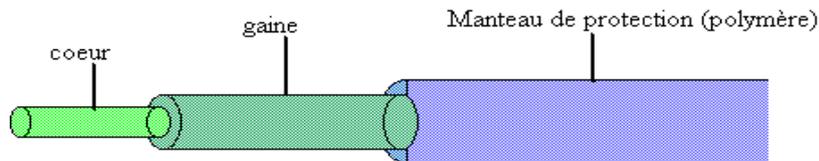


Figure I.10 Structure générale d'une fibre

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes.

## II.2.1.2 L'atténuation

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

- Aux faibles longueurs d'onde, l'absorption entraîne une augmentation rapide des pertes.
- La présence d'impuretés peut aussi créer diverses bandes d'absorption.
- les irrégularités involontaires de structure provoquent des pertes par diffusion.
- Toute courbure trop serrée crée des pertes par rayonnement.
- Les fibres sont toujours utilisées par tronçons de longueur finie, raccordés entre eux. Chaque jonction peut provoquer une perte de raccordement.

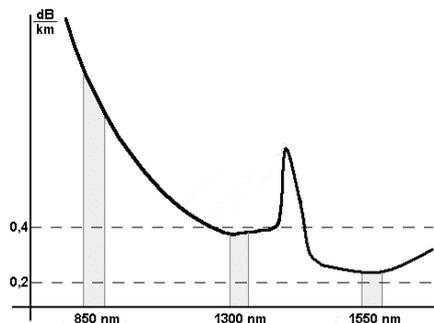


Figure I.11 Atténuation spectrale d'une fibre optique G.652

## II.2.1.3 La dispersion chromatique

Le paramètre de dispersion chromatique ( $D$ ) est défini comme la dérivée du temps de propagation de groupe par rapport à la longueur d'onde. On le donne généralement en ps/(nm.km). Les picosecondes correspondent à l'élargissement temporel, les nanomètres à la largeur spectrale et les kilomètres à la longueur de fibre.

# Généralités sur la transmission par fibre optique

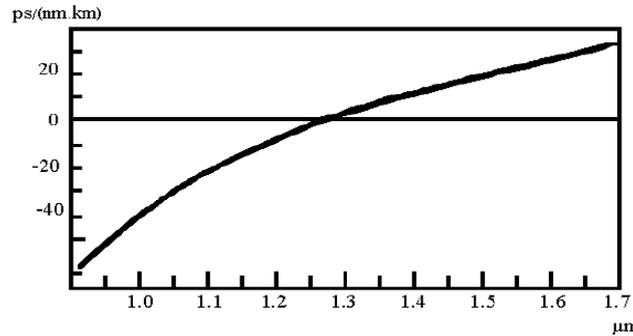


Figure I.12 la Dispersion dans la silice pure en fonction de la longueur d'onde.

On voit sur cette courbe que la fibre monomode standard G.652 [6] présente une dispersion maximale de 20 ps/(nm.km) à 1550 nm. Ainsi, la capacité de transmission est la plus grande possible pour une longueur d'onde d'environ 1,3 μm. Elle est donc idéale pour cette fenêtre spectrale et permet de transporter de très hauts débits.

On a donc cherché à déplacer le point de dispersion nulle vers 1,55 μm. On dit que ce genre de fibre la G.653 est à dispersion décalée (Figure I.13). Toutes ces fibres spéciales sont obtenues en modifiant leur profil d'indice.

Il existe aussi des fibres à dispersion aplatie pour les quelles la dispersion totale reste très faible.

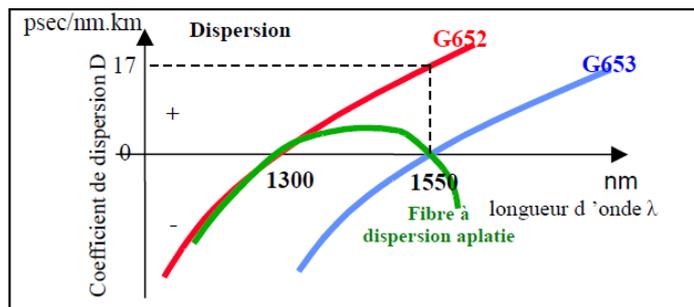


Figure I.13 Courbes de dispersion de quelques fibres optiques.

## II.3 Notion sur les Réseaux de Bragg [7]

Le réseau de Bragg est un filtre passif photo induit, dans le cœur d'une fibre optique, permettant la réflexion sélective de longueurs d'onde. Il consiste en une perturbation périodique longitudinale de l'indice de réfraction du cœur de la fibre.

Quand la lumière se propage dans la fibre, le réseau réfléchit les longueurs d'onde qui vérifient la relation :

$$\lambda = 2n_{eff}\Lambda \quad (I.2)$$

$\Lambda$ : est la période de la modulation d'indice.

Cette modulation d'indice s'obtient par exposition du cœur de la fibre à une intense figure d'interférence, créée à partir d'un laser ultraviolet, qui excite ainsi des défauts dans le cœur de la fibre optique et modifie le verre.

# Généralités sur la transmission par fibre optique

Cette exposition a pour effet d'augmenter l'indice de réfraction des régions exposées aux fortes intensités.

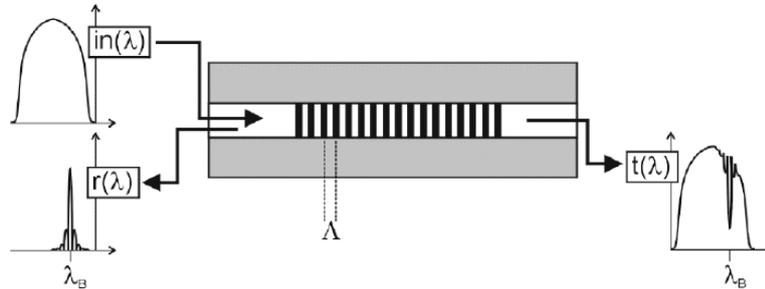


Figure I.14 : Schéma d'un réseau de Bragg et leurs spectres

Typiquement, la figure d'interférence utilisée pour écrire les réseaux de Bragg est obtenue avec un élément diffractif appelé masque de phase. L'utilisation de cet élément offre la possibilité de modifier la période du réseau inscrit sans modifier la longueur d'onde du laser d'écriture. Cette méthode de fabrication a permis aux réseaux de Bragg de se construire une niche dans le domaine des télécommunications optiques, ceux-ci étant très sélectifs en longueur d'onde. Différentes applications de ces filtres ont vu le jour telles que : sélecteur d'un canal optique, compensateur de la dispersion chromatique, égalisateur du gain des amplificateurs optiques à l'Erbium et différents types de capteurs optiques.

## II.3.1. Méthodes d'inscription

Les premières photos d'inscriptions de réseaux de Bragg ont été effectuées par injection longitudinale d'un faisceau laser à argon ( $\lambda_{\text{laser}} = 488\text{nm}$ ) dans une fibre ayant un cœur dopé à l'oxyde de germanium. Les auteurs avaient remarqué lors de leurs expériences une réflexion de la longueur d'onde incidente de plus en plus importante au cours du temps.

En effet, grâce à la création d'une onde stationnaire entre les deux extrémités de la fibre (avec l'onde « aller » et l'onde réfléchiée par la face clivée de la fibre), une modulation d'indice durable de pas  $\Lambda$  était apparue dans le cœur :

$$\Lambda = \frac{\lambda_{\text{laser}}/2}{n_{\text{cœur}}} \quad (\text{I.3})$$

Grâce à la relation de Bragg, il est facile de vérifier que la longueur d'onde réfléchiée par ce réseau est la longueur d'onde incidente. Ces principales méthodes (qui peuvent être utilisées à la fois pour photo inscrire des guides plans intégrés et des fibres) sont brièvement décrites ci-dessous.

# Généralités sur la transmission par fibre optique

## II.3.1.1 Inscription par le montage du miroir de Lloyd (Division du front d'onde)

Le faisceau laser UV est élargi dans le plan horizontal grâce à un télescope cylindrique afocal pour qu'il ait une taille deux fois plus grande que celle du réseau voulu (Figure I.15).

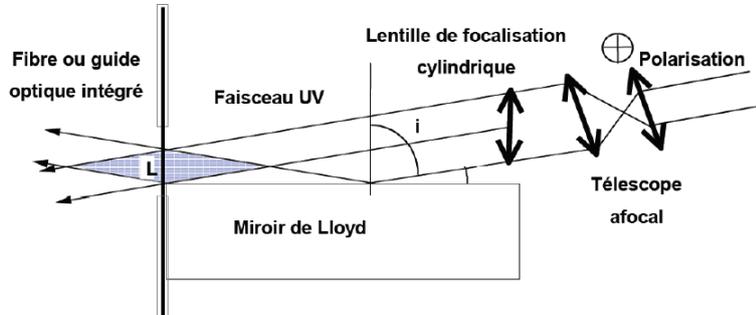


Figure I.15: Schéma du montage de photo inscription par miroir de Lloyd

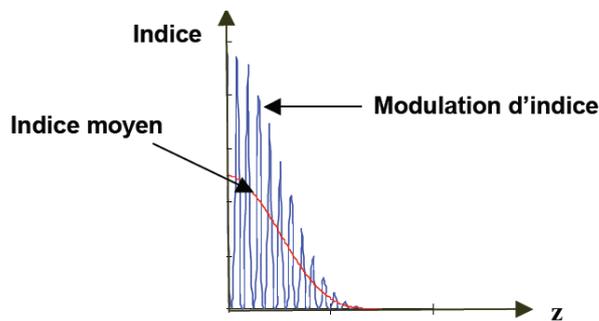


Figure I.16 : Modulation d'indice d'un réseau fabriqué par la méthode du miroir de Lloyd

Ensuite, une lentille cylindrique parallèle à la fibre permet de focaliser le faisceau dans le plan vertical sur le cœur à photo inscrire. La fibre est alors placée de telle sorte qu'une partie de la fibre soit insolée à la fois par le faisceau incident et par le faisceau réfléchi par le miroir de Lloyd. Ce dernier est réglé pour réfléchir la moitié du faisceau incident.

Des franges d'interférences apparaissent alors sur la fibre et crée ainsi une modulation d'indice proportionnelle à l'insolation UV reçue (Figure I.16).

Le pas du réseau photo inscrit est lié à l'angle entre le miroir et le faisceau ce qui permet de régler très facilement la longueur d'onde de Bragg désirée.

L'inconvénient principal de cette méthode est la nécessité d'avoir une source relativement cohérente à la fois temporellement et spatialement.

## II.3.1.2 Inscription par le montage du masque de phase (Division d'amplitude)

Un masque de phase est constitué par une lame de silice sur laquelle ont été gravées des bandes rectangulaires espacées de  $2L$  de même profondeur constituant un réseau. Ce dernier diffracte environ 80% de la lumière du laser incident dans les ordres  $+1$  et  $-1$  lorsque la profondeur est judicieusement choisie. Ainsi, il se forme une figure d'interférences dont les franges insolent le

# Généralités sur la transmission par fibre optique

guide perpendiculairement à son axe et créent une modulation de l'indice du cœur avec un pas  $L$  deux fois plus petit que celui du masque (Figure I.17).

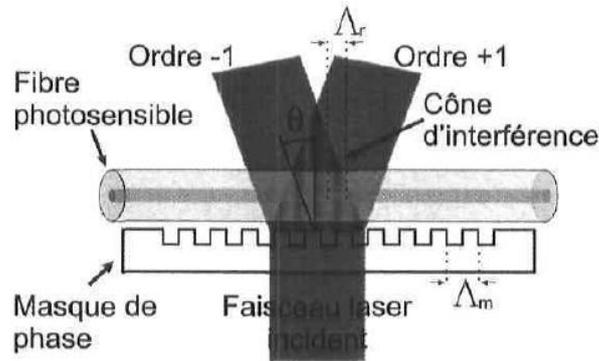


Figure I.17 : Schéma d'exposition ultraviolette de la fibre.

## II.3.2. Types de réseaux de Bragg droit à pas courts

D'une manière générale, un réseau de Bragg est une modulation périodique de l'indice  $\Delta n_{eff}(z)$  du cœur de la fibre. On peut formuler cette perturbation d'indice comme suit :

$$\Delta n_{eff}(z) = \Delta \bar{n}_{eff}(z) \left\{ 1 + v(z) \cos \left( \frac{2\pi}{\Lambda} z + \theta(z) \right) \right\} \quad (I.4)$$

Où  $\Delta \bar{n}_{eff}(z)$  est la modification moyenne de l'indice de réfraction,  $v(z)$  la visibilité ou apodisation de la modulation,  $\Lambda$  la période de la modulation et  $\theta(z)$  sa phase.

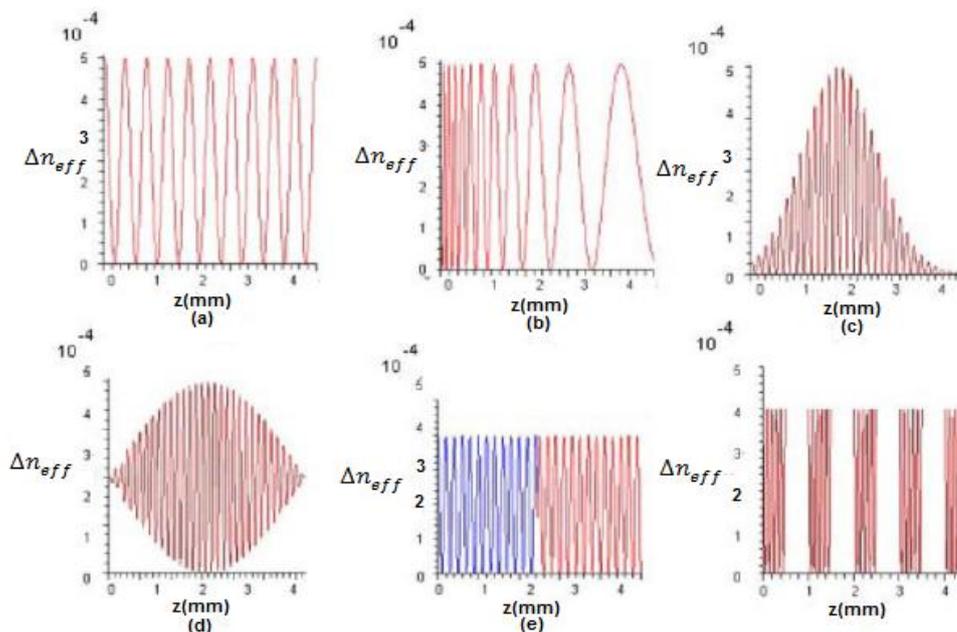


Figure I.18 : Modulations d'indice de différents types de réseaux. (a) Réseau uniforme, (b) réseau à pas variable, (c) réseau à amplitude variable, (d) réseau apodisé, (e) réseau à saut de phase, (f) réseau échantillonné

## Généralités sur la transmission par fibre optique

On peut identifier ainsi les simulations de différents types de réseaux dont la modulation d'indice est représentée sur la figure 1.18.

- a) Les réseaux uniformes :  $\Delta n_{eff}(z)$ ,  $\theta(z)$  et  $v(z)$  sont constants et ne varient pas avec  $z$ ,
- b) Les réseaux à pas variable (chirpés) :  $\theta(z)$  est non nul, le pas du réseau varie avec  $z$ ,
- c) Les réseaux à amplitude variable :  $\Delta n_{eff}(z)$  varie en fonction de  $z$  de façon gaussienne,
- d) Les réseaux apodisés :  $v(z)$  varie d'une façon sinusoïdale et  $\Delta n_{eff}(z)$  est constant,
- e) Les réseaux à sauts de phase : la phase  $\theta(z)$  varie par endroit de façon discontinue, par sauts,
- f) Les réseaux échantillonnés :  $v(z)$  varie d'une façon périodique.

### II.3.3. Modélisation des réseaux de Bragg à fibre (Théorie des modes couplés)

Pour appliquer cette théorie dans le cas du réseau de Bragg, il faut considérer que la fibre est monomode, sans perte et que l'interaction a lieu seulement entre modes contra propagatifs. La différence entre les indices de réfraction du cœur et de la gaine étant très petite, on considère alors que les champs électriques et magnétiques se propagent dans l'axe optique de la fibre, ce qui permet de négliger les effets de polarisation dus à la structure de la fibre.

Considérons donc un réseau de Bragg avec  $L$  la longueur du réseau,  $\Lambda$  son pas,  $n_{eff}$  l'indice de réfraction du mode guidé, et  $\lambda_B$  longueur d'onde de Bragg, schématiquement illustré sur la figure I.19. Elles se propagent dans l'axe optique de la fibre, ce qui permet de négliger les effets de polarisation dus à la structure de la fibre. À partir de la théorie des modes couplés, on peut dériver le système d'équations bien connu décrivant l'évolution des amplitudes des champs  $U(z)$  et  $V(z)$  se propageant dans le réseau de Bragg donné par :

$$\frac{dU}{dz} = i\sigma(z)U(z) + ik(z)V(z) \tag{I.5a}$$

$$\frac{dV}{dz} = -i\sigma(z)V(z) - ik(z)U(z) \tag{I.5b}$$

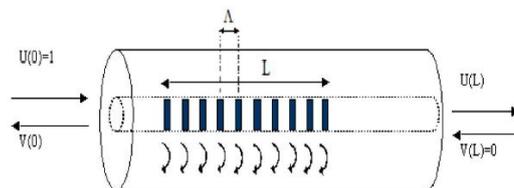


Figure I.19 : Propagation des champs à travers le réseau de Bragg

Ou  $k(z) = \frac{\pi}{\lambda} v(z) \Delta \bar{n}_{eff}(z)$  : représente le coefficient général du couplage alternatif (AC) qui détermine l'échange d'énergie entre les modes tel que :

## Généralités sur la transmission par fibre optique

$\sigma = 2\pi n_{eff} \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_B} \right) + \frac{2\pi \Delta \bar{n}_{eff}(z)}{\lambda} - \frac{1}{2} \frac{d\theta}{dz}$  : représente le coefficient général du couplage moyen (DC) dont le premier terme donne la syntonisation initiale des deux modes indépendante de  $z$ , le second terme décrit la perte d'absorption dans le réseau et le troisième est un éventuel chirp dans le cas des réseaux à pas variable. Le facteur de confinement est considéré égal à 0.8 (cas d'une fibre optique monomode) [7].

### II.3.3.1. Solutions analytiques pour réseaux de Bragg uniformes

Les coefficients de couplage  $\sigma$  et  $k$  sont constants pour un réseau uniforme (de 0 à  $L$ ). Dans ce cas les équations précédentes peuvent être résolues analytiquement en dérivant les équations (I. 5a) et (I. 5b), on obtient alors

$$\frac{d^2U}{dz^2} = (k^2 - \sigma^2)U \quad (I. 6a)$$

$$\frac{d^2V}{dz^2} = (k^2 - \sigma^2)V \quad (I. 6b)$$

En appliquant les conditions limites  $U(0)=1$  et  $V(L)=0$ , on obtient le coefficient de réflexion ci-dessous :

$$r = V(0) = \frac{-k \sinh \sqrt{(k^2 - \sigma^2)}L}{\sqrt{(k^2 - \sigma^2)} \cosh \sqrt{(k^2 - \sigma^2)}L - i\sigma \sinh \sqrt{(k^2 - \sigma^2)}L} \quad (I. 7)$$

Par la suite la réflectivité associée au réseau de longueur  $L$  qui est donnée par :

$$R = r^2 = \frac{\sinh^2[\sqrt{(k^2 - \sigma^2)}L]}{\cosh^2[\sqrt{(k^2 - \sigma^2)}L] - \frac{\sigma^2}{L^2}} \quad (I. 8)$$

Les quatre paramètres essentiels d'un réseau de Bragg sont alors, son pas, sa longueur, le profil de son indice de réfraction et sa force de couplage  $K$ . La Figure I.20 illustre une simulation de la réflectivité du réseau de Bragg uniforme de 4 mm de longueur en fonction de la longueur d'onde pour  $\lambda_B = 1309,45nm$ ,  $n_{eff} = 1,441$  et une modification moyenne de l'indice de réfraction égale à  $5 \times 10^{-4}$ . La variation de la réflectivité d'un réseau de Bragg uniforme pour différentes valeurs de  $L$  est simulée à la (figure I.21).

# Généralités sur la transmission par fibre optique

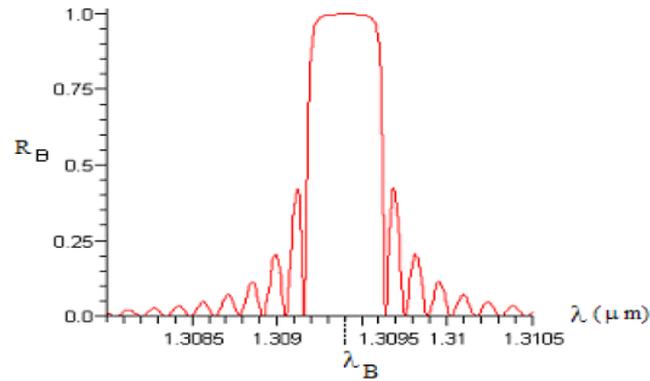


Figure I.20 : La réflectivité du réseau de Bragg uniforme en fonction de  $\lambda$ .

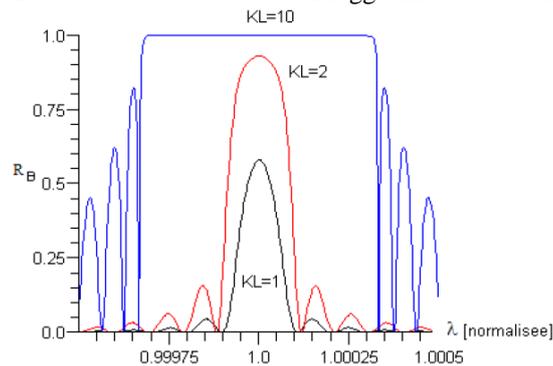


Figure I.21 : La réflectivité d'un réseau de Bragg pour différentes valeurs de  $KL$

Ces courbes sont représentées en fonction de la longueur d'onde normalisée

$$\frac{\lambda}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{1 + \frac{\sigma L}{\pi N}}$$

Où  $N$  est le nombre total des périodes du réseau ( $N = L / \Lambda$ ). Il est intéressant de noter ici que les réseaux de Bragg plus longs (en augmentant  $N$  pour  $L$   $K$  donné) résultent en des spectres plus étroits.

La figure I.22 nous montre l'allure de la réflectivité d'un réseau de Bragg de 4 mm de longueur simulée pour  $\lambda_{\beta} = 1309,45 \text{ nm}$ ,  $n_{\text{eff}} = 1,441$  en fonction de la longueur d'onde pour différentes valeurs de  $\Delta n_{\text{eff}}$ . Nous remarquons que nous obtenons une réflectivité plus importante et une largeur spectrale plus grande en augmentant la valeur de  $\Delta n_{\text{eff}}$  qui représente la modification moyenne de l'indice de réfraction. Cette conclusion assure la possibilité de concevoir des réseaux de Bragg courts qui fournissent quand même de très bonnes réflectivités en diminuant  $\Delta n_{\text{eff}}$  [7].

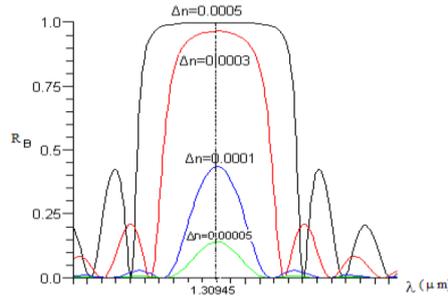


Figure I.22 : La réflectivité d'un réseau de Bragg pour différentes valeurs de  $\Delta n$

## II.3.4. Application des réseaux de Bragg dans le domaine de télécommunication :

Les réseaux de Bragg photoinscrits dans les fibres optiques sont devenus indispensables pour l'égalisation du gain des amplificateurs, la stabilisation en longueur d'onde des pompes ou des sources, et pour les lasers à fibre. Leurs avantages majeurs sont de faibles pertes d'insertion, une très faible sensibilité à la polarisation et une conception extrêmement flexible. Ces avantages en font également des candidats très attractifs pour les applications de filtrage complexe ou de compensation de dispersion chromatique fine [7].

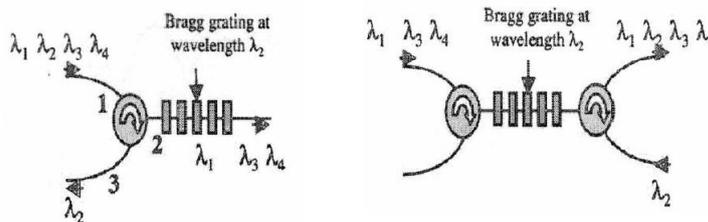


Figure I.23 : (a) Filtre passe bande fabriquée par un réseau de Bragg associé avec un circulateur ; (b) un multiplexeur OADM fabriqué avec association d'un réseau de Bragg et deux circulateurs.

### II.3.4.1 Filtrage et multiplexage

Agissant en tant que filtres sélectifs de longueur d'onde, les réseaux de Bragg uniformes de courtes périodes ont été visés la première fois vers des applications du filtrage et du multiplexage. Le coefficient de réflexion, est proportionnel à la transformée de Fourier du profil longitudinal de l'indice de réfraction. Le spectre du filtrage peut alors être obtenu, en ajustant la période du réseau et la variation de l'indice de réfraction, pour des rejets élevés des canaux adjacents, formes rectangulaires, multi crête etc.

Aujourd'hui, les techniques avancées d'écriture des FBG permettent la réalisation de presque n'importe quelle forme spectrale désirée en contrôlant la réponse de la phase.

Les réseaux de Bragg sur fibres sont donc d'excellents candidats pour les futurs systèmes WDM complexes mais avec des filtres peu coûteux à adapter à cette conception. Un exemple de filtre

# Généralités sur la transmission par fibre optique

déjà démontré contenant un espacement entre canaux de 25 ou de 12.5 GHz montrant simultanément des formes rectangulaires et une dispersion nulle.

Le réseau de Bragg de périodes courtes réfléchit la lumière près de la longueur d'onde de Bragg et demeure transparente pour les autres. Pour être utilisés dans un réseau, le réseau de Bragg doit s'associer à un autre composant avec plusieurs entrées et sorties pour extraire le signal utile [7].

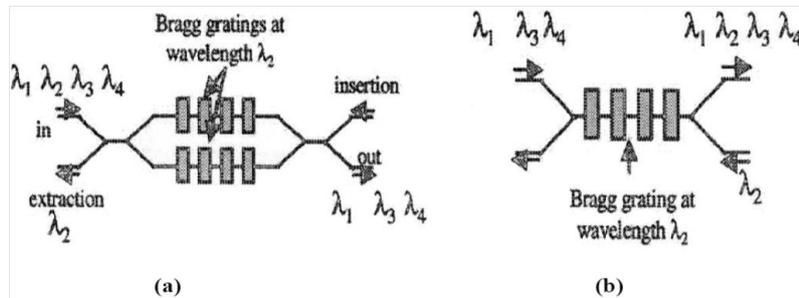


Figure I.24 : (a) multiplexeur OADM basé sur un interféromètre Mach-Zehnder : deux réseaux de Bragg identiques sont photo imprimés à la longueur  $\lambda_2$  sur les deux bras de l'interféromètre; (b) multiplexeur OADM basé sur un coupleur: le réseau de Bragg est photo imprimé à la longueur  $\lambda_2$  dans la région du couplage, la fonction d'insertion de  $\lambda_2$  est représenté.

Généralement ce composant est un circulateur. Son principe est décrit sur la figure. Sur la même figure est montré un autre filtre en ajoutant un second circulateur (coupleur), la fonction d'insertion peut être incluses dans le composant. Le filtre est transformé en un (OADM) (optical add and drop multiplexeur). Cependant les circulateurs sont coûteux. Et c'est possible de les remplacer par des dispositifs à fibres comme un interféromètre Mach-Zehnder où le même réseau de Bragg est imprimé sur ces deux bras ou bien coupleur 100% ou 0% où le réseau de Bragg est imprimé dans sa région de couplage.

## II.3.4.2 Filtre optique

Un exemple d'application du réseau de Bragg comme filtre optique en association avec un Fabry Pérot est décrit dans cet exemple :

### ➤ Filtre composé d'un réseau de Bragg et d'un FFP

Un filtre basé sur un réseau de Bragg imprimé sur fibre, un circulateur optique et un Fabry- pérot est décrit sur la (figure I.25) :

## Généralités sur la transmission par fibre optique

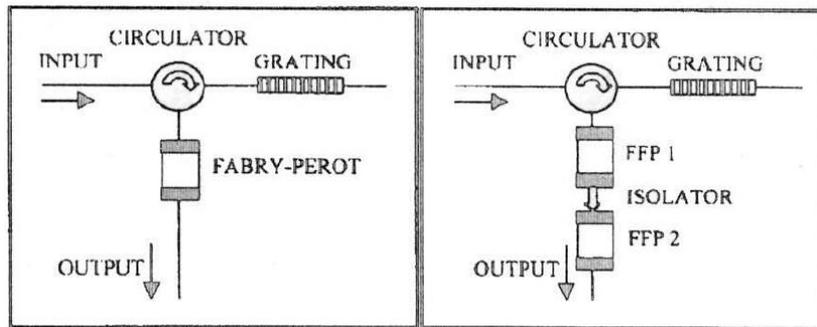


Figure I.25: Filtres optiques :

- (a) association d'un réseau de Bragg et d'un FFP.
- (b) association d'un réseau de Bragg et deux FFP

Le signal d'entrée est réfléchi par le FBG est dirigé à travers le circulateur vers le Fabry pérot. Donc le filtre global consiste en la mise en cascade de deux filtres indépendants, chacun est caractérisa par sa propre fonction de transfert :  $T_{FBG}(f)$  et  $T_{FPP}(f)$  et la fonction de transfert global est :

$$T(f) = T_{FBG}(F) \cdot T_{FPP}(F)$$

### II.3.4.3 Compensation de la dispersion chromatique

La dispersion chromatique lors de la transmission par fibre avec la dispersion de la polarisation des modes est un des principaux facteurs limitatifs de l'augmentation du débit de transmission. L'impulsion n'est pas vraiment monochromatique, dans les fibres dispersives, Les différentes fréquences du spectre d'impulsion se propagent à différentes vitesses, ce qui entraîne l'élargissement de l'impulsion. Les impulsions peuvent se recouvrir, ce qui détériore la transmission de l'information. Le problème s'aggrave quand le débit augmente. En effet, quand le débit augmente, les impulsions sont plus courtes et spectralement plus larges. On peut éliminer cette dispersion en utilisant des fibres à dispersion négatives, cependant de grande longueur de fibres sont exigées et ça devient encombrant et coûteux et en plus les fibres compensatrices montrent plus d'atténuation lors de la transmission donc il faut ajouter des amplificateurs. En outre, ces fibres sont sensibles aux effets non linéaires [7].

Ces dernières années l'utilisation des réseaux chirpés pour remplacer les fibres compensatrices est devenue de plus en plus fréquente. Par exemple un réseau de Bragg est utilisé en réflexion en association avec un circulateur. Le principe est montré sur la (figure I.26).

## Généralités sur la transmission par fibre optique

Les grandes longueurs d'ondes sont immédiatement réfléchies tandis que les plus courtes se propagent un peu plus. La solution est intéressante puisque l'on remarque des pertes minimales, peu encombrantes et l'insensibilité aux effets non linéaires.

La dispersion introduite peut être exprimée approximativement par :

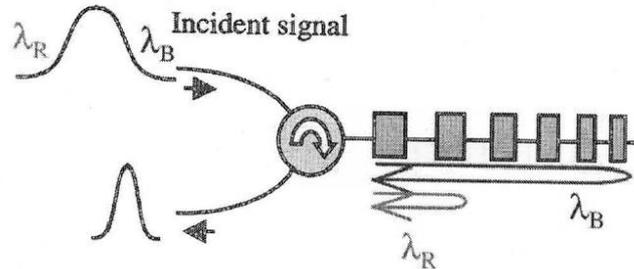


Figure I.26 : principe de la compensation de la dispersion chromatique en utilisant un réseau de Bragg chirpé en association avec un circulateur

$$DC = \frac{2n_{\text{eff}}L}{c\Delta\lambda} \cong \frac{10L(\text{mm})}{\Delta\lambda(\text{nm})} (\text{ps/nm}) \quad (\text{I. 10})$$

Où  $L$  et  $\Delta\lambda$  représentent respectivement la longueur et la variation de la longueur d'onde  $n_{\text{eff}}$  l'indice effectif du cœur et  $c$  la vitesse de la lumière qui sont remplacés respectivement par 1.45 et  $3 \cdot 10^8$  m/s.

La formule prouve que la compensation de la dispersion de 100 km de fibre de transmission est possible pour un canal en utilisant un réseau de longueur inférieure à 100 millimètres.

### II.3.4.4 Amplificateurs optiques

L'aplatissement du gain de l'amplificateur EDFA, essentiel dans la transmission WDM, est aujourd'hui l'une des principales applications de réseau de Bragg FBG. L'insertion d'un filtre optique où son spectre représente l'inverse de celui du gain de l'EDFA est aujourd'hui la solution unique. Les réseaux de Bragg à court période sont généralement utilisés pour l'égalisation du gain. La période du réseau est chirpée et la modulation de l'indice est faite pour former le spectre. Leur seul inconvénient c'est qu'il faut ajouter un isolateur pour supprimer les réflexions sur l'amplificateur.

## II.4 Récepteur

Après le passage du signal optique sur le support de transmission certains composants particuliers convertissent le signal optique en signal électrique.

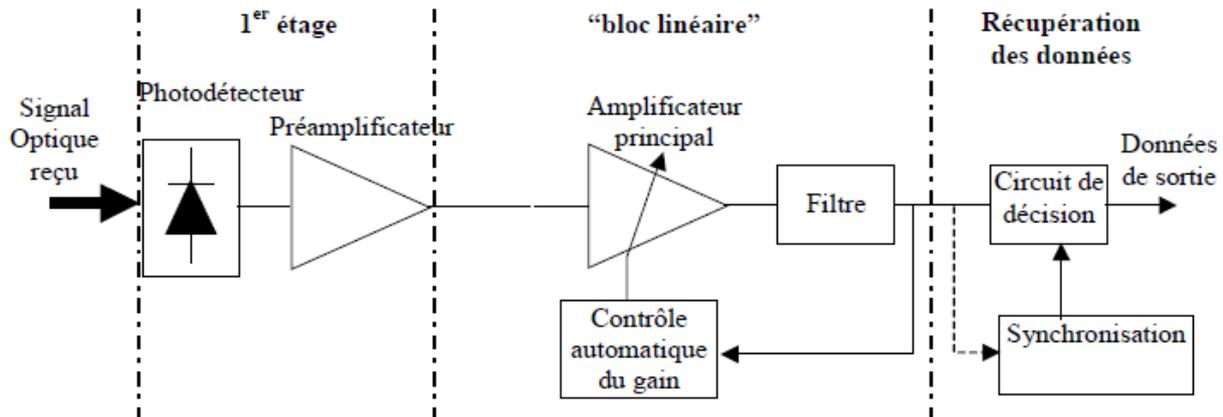


Figure I .27 Schéma synoptique d'un récepteur

Ce module est composé de plusieurs blocs fonctionnels. On y retrouve trois parties :

- Le bloc de "premier étage" composé principalement de photodétecteur.
- Le bloc "linéaire", composé principalement d'un amplificateur électrique.
- Le bloc "récupération des données», composé d'un circuit de décision et un circuit de synchronisation.

### II.4.1 Le photodétecteur

L'interface optique de réception dans une liaison à fibre optique est chargé de convertir le signal lumineux en signal électrique, ce rôle est tenu par le photodétecteur qui pour simplifier se comporte comme un compteur de photons et un générateur de courant.

### II.4.2 Amplificateur électrique

Le courant émis par la photodiode de réception, malgré la présence d'un préamplificateur, reste souvent assez faible. Il est donc nécessaire d'utiliser un amplificateur à la sortie du photorécepteur. Le gain adéquat peut être assez élevé. En effet, du fait de la détection quadratique, il faut 2 dB électriques pour compenser 1 dB optique.

### II.4.3 Le Circuit de décision

On doit assurer au récepteur une qualité d'information parfaite. Pour cela, une remise en forme du signal détecté est réalisée grâce au bloc de décision. Ce dernier est composé d'un détecteur à

## Généralités sur la transmission par fibre optique

---

seuil et d'un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation [8]. Lors d'un front montant de l'horloge, le signal reçu est comparé au seuil de décision. S'il est supérieur, alors un niveau haut sera détecté et établi, sinon, ce sera un niveau bas. L'horloge doit être synchronisée sur le signal incident. Cette récupération de rythme est effectuée grâce à une boucle à verrouillage de phase classique.

### III. Conclusion

Une description détaillée de tous les composants présents dans un système de transmission sur fibre optique a été réalisée. Une fois le choix des composants fait, nous avons détaillé le fonctionnement, les limites, ... de chacun d'eux.

Le laser et les caractéristiques du signal émis ont été décrits en détail. L'utilisation des modulateurs externes pour l'inscription des données sur le signal optique ayant été retenue, plusieurs types de modulateurs ont été décrits.

Les fibres optiques possèdent de nombreuses qualités pour transmettre une grande quantité d'informations sur de longues distances. Plusieurs de leurs défauts ont été énumérés (par exemple la dispersion chromatique) et des solutions sont proposées pour les corriger (fibres de compensation).

# Généralités sur la transmission par fibre optique

---

## Références

- [1] Communication optique a très haut débit Vs 3 Spécialité électronique centre de paris département stic, 2004
- [2] M. Puzio, Z. Zhu, R. S. Blum, P. A. Andrekson, T. Li, Channel coding for polarization mode dispersion limited optical fiber transmission, Optics express, Departement of Electrical and Computer Engineering, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania 18015,USA (2004) 4333-4338
- [3] Transport dans les semi-conducteurs Emmanuel Rosencher, université de Luxemburg, 2010
- [4] J. M. Hutchinson et al. Optoelectronic wavelength conversion for high-speed optical networks, Intel technology journal 8(2004) 161-171.
- [5] K. P. Zetie, S. F. Adams, and R. M. Tocknell, "How does a Mach-Zehnder interferometer work?," Physics Education, vol. 35, no. 1, p. 46, 2000.
- [6] Characteristics of a single-mode optical fiber cable", ITU-T Recommandations G.652, October 2000
- [7] K. MEZGHIICHE, Etude et caractérisation des réseaux de Bragg fibrées : Fiber Bragg Grating. Université de Bordj Badji Mokhtar, 2011
- [8] J. L. Verneuil, Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gb/s, thèse à l'université de Limoges, 2000

*CHAPITRE 2*  
*Technique CDMA*  
*optique (OCDMA)*

## I- Introduction

La technique CDMA est généralement utilisée dans le cadre des communications sans fils radiofréquences comme par exemple : les communications militaires, le positionnement par satellite (GPS : Global Positioning System) et la téléphonie mobile (UMTS : Universal Mobile Télécommunications System).

Dans les réseaux optiques, le concept du CDMA optique ou Optical Code Division Multiple Access (OCDMA) a été introduit vers le milieu des années 80 ; les travaux concernant la technique OCDMA se sont développés essentiellement dans le contexte des réseaux d'accès haut débit. Il s'agit dans ce cas pour les opérateurs, de proposer grâce à l'OCDMA de nombreux services à un nombre d'abonnés de plus en plus important.

Le codage spectral d'amplitude (SAC) est l'une des nombreuses techniques développées pour les systèmes OCDMA qui ont fait l'objet d'une grande attention en raison de la réduction des effets d'interférences d'accès multiple (IAM), de la simplicité et de son faible coût de réalisation.

## II- OCDMA

### II.1. CDMA (Code Division Multiple Access)

C'est une technique d'Accès Multiple par Répartition de Code, basée sur la technique d'étalement de spectre. Elle permet à plusieurs utilisateurs d'accéder simultanément et de manière asynchrone à un même canal de transmission par l'attribution de chacun de séquence un code spécifique (les informations transmises sont sécurisées).

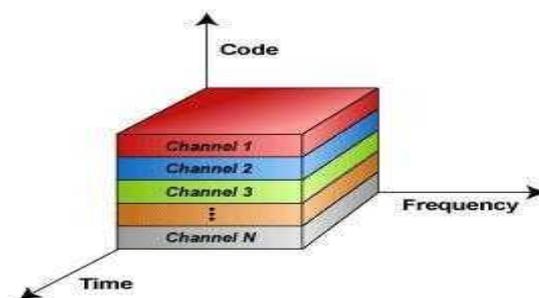


Figure II.1: illustration de la technique CDMA

En réception pour récupérer l'information, le récepteur doit générer la même séquence d'étalement et la multiplier au signal reçu : les données codées par cette séquence sont restaurées alors que les données des autres utilisateurs restent étalées et les brouilles dues au canal sont étalées, non corrélées au signal utile.

# Technique CDMA optique (OCDMA)

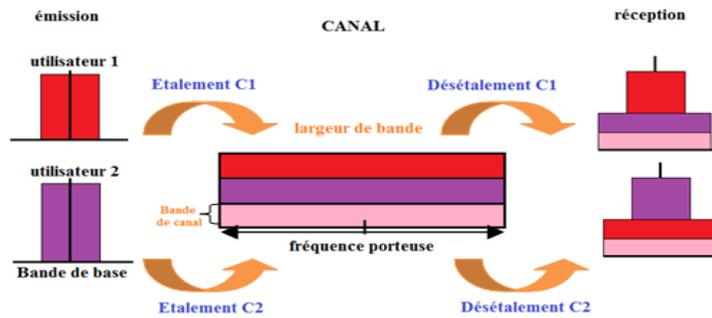


Figure II.2 : L'étalement et Désétalement de spectre dans CDMA

## II.2. Principe d'étalement de spectre

L'idée de l'étalement de spectre consiste donc à émettre un signal de bande passante largement supérieure à celle du signal utile.

Le principe de l'étalement de spectre est défini par la relation de C. E. Shannon qui exprime la capacité maximale  $C$  du canal perturbé par un bruit additif gaussien :

$$\text{Où : } C = B * \log_2 (1+(S/N)) \quad (\text{II.1})$$

$C$  : la capacité maximale du canal en bit/s : représente le taux de transfert maximum pour un taux d'erreur binaire nul.

$B$  : la bande passante occupée par le signal émis.

$S$  : la puissance du signal émis.

$N$  : la puissance du bruit.

Cette relation montre que, pour transmettre une quantité d'information  $C$  sans erreur, il faut utiliser une bande  $B$  étroite et un fort rapport  $S/N$ , ou un large bande  $B$  et un faible rapport  $S/N$ .

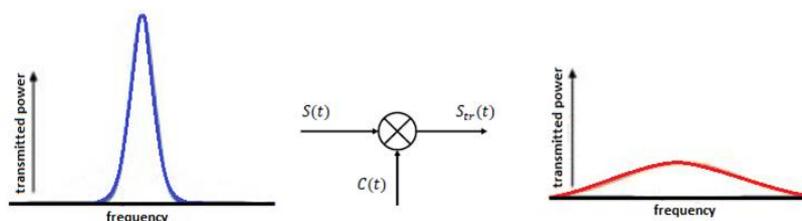


Figure II.3: Principe d'étalement de spectre

## II.3. Techniques d'étalement de spectre

### II.3.1. L'étalement par saut de fréquence (Frquency Hopping CDMA : FH-CDMA)

#### II.3.1.1. Principe

FHSS divise la bande passante disponible en  $N$  canaux et effectue des sauts entre ces canaux en fonction d'une séquence pseudo-aléatoire (PN).

# Technique CDMA optique (OCDMA)

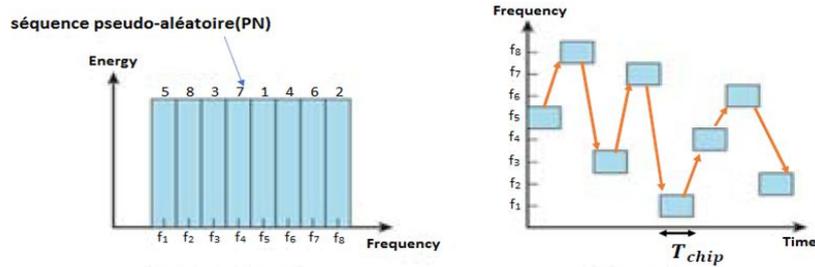
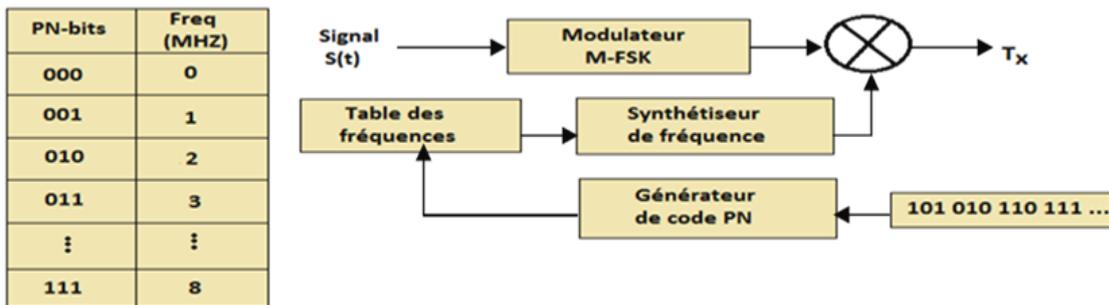
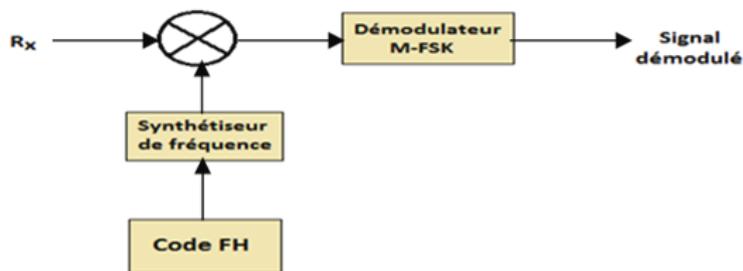


Figure II.4 : L'étalement par saut de fréquence.

## II.3.1.2. Emetteur

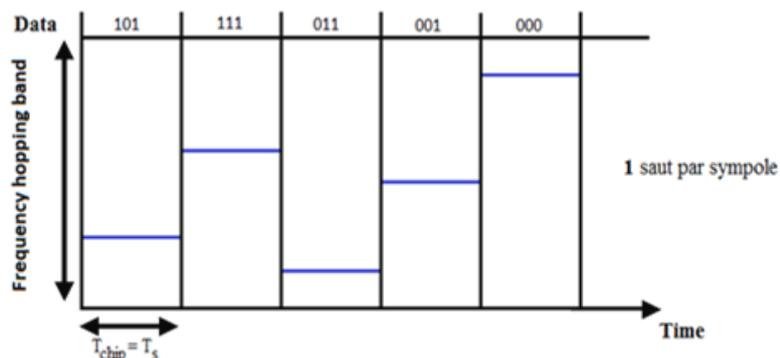


## II.3.1.3. Récepteur



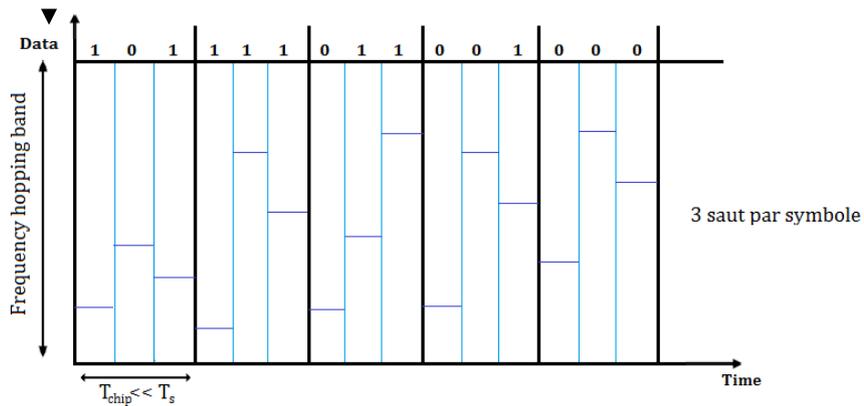
## II.3.1.4. Types de saut de fréquence

a) Slow FH-CDMA : le rythme de saut de fréquence est inférieur ou égale au rythme des symboles.



# Technique CDMA optique (OCDMA)

b) Faste FH-CDMA: le rythme de saut de fréquence est supérieur au rythme des symboles.



## II.3.2. L'étalement par séquence direct (Direct Sequence (DS))

### II.3.2.1. Principe

L'étalement de spectre par séquence directe, consiste à multiplier le signal binaire à une séquence numérique pseudo aléatoire de débit plus élevé ( $T_{chips} \ll T_b$ ).

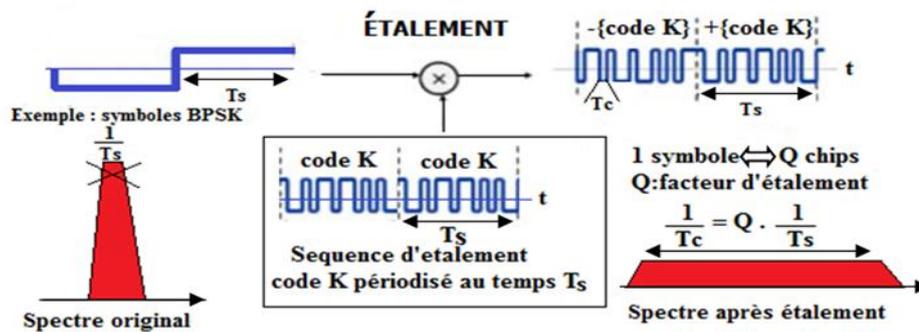
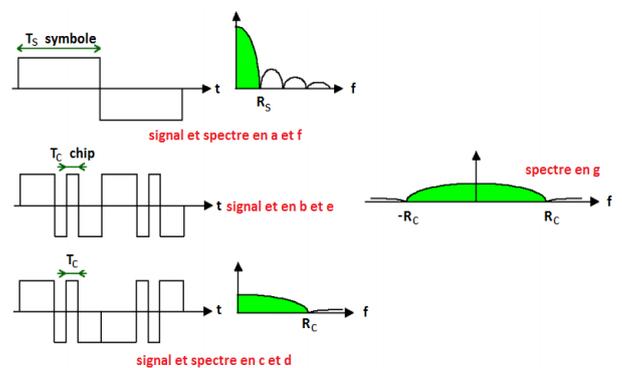
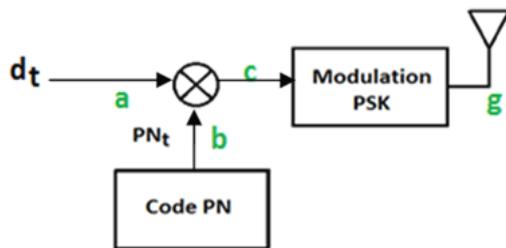
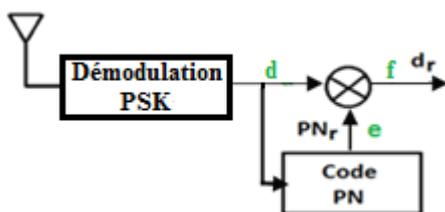


Figure II.5 : L'étalement par séquence direct.

### II.3.2.2. Emetteur



### II.3.2.3. Récepteur



# Technique CDMA optique (OCDMA)

## II.3.2.4. Gain d'étalement

$$SF = G_p = \frac{B_{ss}}{B_0} = \frac{R_c}{R_s} = \frac{T_s}{T_c} = N_c \quad (II.2)$$

$N_c$  : nombre de chips par symbole.

$B_0$  : la bande originale.

$B_{ss}$  : la bande étalée.

## II.3.2.5. Modèle du signal émis

Le signal émis par un utilisateur  $k$  est donné par :

$$x^k(t) = \sum_{m=0}^{M-1} a_m^k h^k(t - mT_s) \quad (II.3)$$

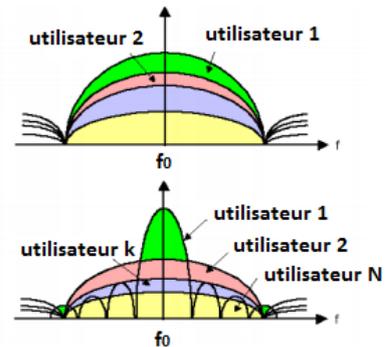
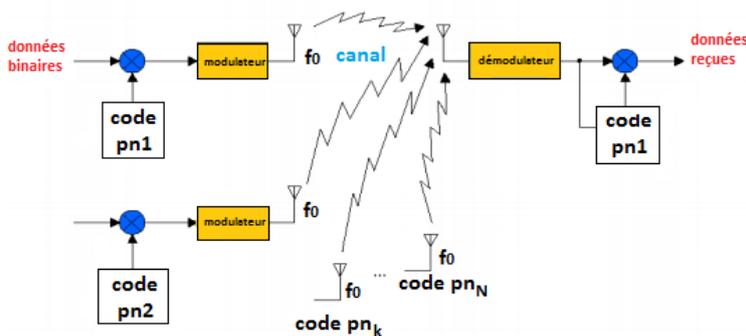
Avec :

$$h^k(t) = \sum_{n=0}^{N-1} c_n^k g(t - nT_c) \quad (II.4)$$

ou :

- $g(t)$  filtre de mise en forme.
- $T_c$  temps chip,  $T_s$  temps symbole.
- $M$  nombre de symboles d'information transmis.
- $N = T_s / T_c$  facteur d'étalement.
- $\{c_n^k\}_n$  séquence de brique de période  $N$  associée à l'utilisateur  $k$ .
- $\{a_m^k\}_{m \in \mathbb{Z}}$  séquence des symboles de l'utilisateur  $k$ .

## II.3.2.6. Modèle du signal reçu



$$y(t) = \sum_{k=1}^K \alpha^k x^k(t - \tau^k) + b(t) \quad (II.5)$$

- $K$  utilisateurs. Généralement  $K \leq N$ .
- Atténuation ( $k$ ) et retard ( $k$ ) pour l'utilisateur.

Exemple : Pour  $K=2$  et  $\tau^k = 0 \forall k$  et  $\alpha^k = 1 \forall k$  alors :

$$y(t) = x^1(t) + x^2(t) + n(t) \quad (II.6)$$

Sur  $[0, T_s]$  :

## Technique CDMA optique (OCDMA)

$$y(t) = a_0^1 \cdot c_n^1 \cdot g(t - nT_c) + a_1^2 \cdot c_n^2 \cdot g'(t - n \cdot T_c) + n(t) \quad (\text{II. 7})$$

Comment récupérer le signal de l'utilisateur 1 ?

Exemple

Nous multiplions par le code PN de l'utilisateur 1 :

$$y(t) = a_0^1 \cdot c_n^1 \cdot c_n^1 \cdot g(t - nT_c) + a_1^2 \cdot c_n^2 \cdot c_n^1 \cdot g'(t - n \cdot T_c) + c_n^1 n(t) \quad (\text{II. 8})$$

• Cette relation regroupe le signal utile et les interférences entre les utilisateurs (terme 2). La condition pour récupérer le signal 1 est :

$$\begin{aligned} c_n^1 \cdot g'(t - nT_c) = 0 &\Rightarrow c_n^2 \cdot c_n^1 = 0 \\ c_n^2 \cdot c_n^1 = 0 &\Rightarrow \langle c_n^2, c_n^1 \rangle = 0 \rightarrow c_n^2 \perp c_n^1 \end{aligned}$$

La condition générale est :

Pour séparer les utilisateurs on souhaite que :

$$\langle c_i, c_k \rangle = 0 \text{ lorsque } i \neq k$$

### II.3.2.7. Construction des codes d'étalement

Dans la conception des systèmes CDMA, le choix des codes d'étalement est très important pour assurer une bonne résistance aux bruits et aux interférences entre les utilisateurs.

#### a) Les codes pseudo-aléatoires

Une séquence pseudo-aléatoire (PN) est une suite binaire où chaque élément est indépendant des autres («aléatoire»), mais il s'agit d'une suite périodique, ce qui la rend déterministe («pseudo»).

$$\underbrace{+1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ -1 \ -1}_{N_c} \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ -1 \ -1 \ \dots$$

La sélection d'un bon code est importante, car le type et la longueur du code définissent des limites sur la capacité du système.

#### b) Propriétés des séquences PN

##### ➤ Séquences équilibrées

Dans chaque séquence, le nombre de bits égaux un (+1) diffère du nombre de bits zéros au plus d'un bit (pour  $N_c$  impair).

$$PN = +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ -1 \ -1 \rightarrow \sum = +1$$

##### ➤ Autocorrélation

La fonction d'autocorrélation est une relation mathématique permettant de symboliser la similitude entre un signal et sa version décalée d'un temps  $\tau$ .

## Technique CDMA optique (OCDMA)

Pour une séquence périodique PN, elle est définie comme :

- En continue

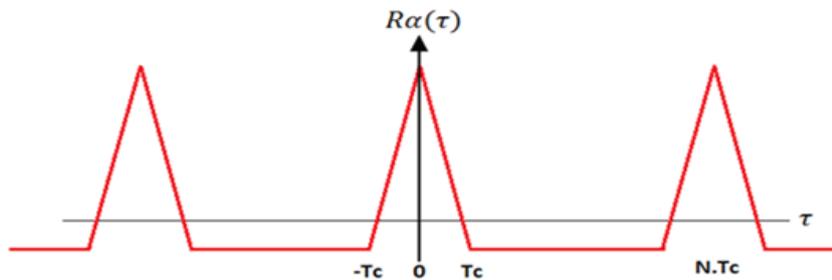
$$R\alpha(\tau) = \int_{-N_c.T_c}^{N_c.T_c} PN(t).PN(t + \tau)dt \quad (II.9)$$

- En discret

$$R\alpha(d) = \sum_{n=1}^{N_c} PN(n).PN(n - d) \quad (II.10)$$

Où  $d$  représente le nombre de bits décalés dans la deuxième séquence.

- Pour des bonnes séquences PN, l'autocorrélation a un maximum (**seulement**) pour une synchronisation parfaite de deux séquences identiques,



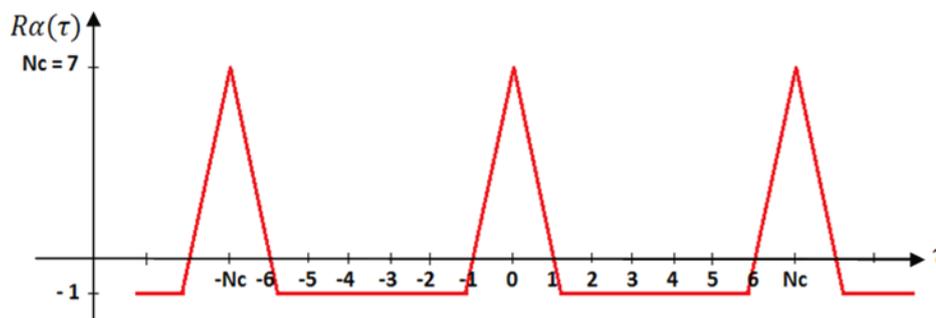
Exemple : Soit une séquence PN = 1 1 1 -1 1 -1 -1

- Autocorrélation de la séquence PN

$$\begin{array}{r}
 Pn(0) = +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ -1 \ -1 \\
 Pn(0) = +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ -1 \ -1 \\
 \hline
 +1 \ +1 \ +1 \ +1 \ +1 \ +1 \ +1 \quad \Sigma \Rightarrow R\alpha(0) = 7
 \end{array}$$

- Autocorrélation de la séquence PN décalé d'un bit

$$\begin{array}{r}
 Pn(0) = +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ -1 \ -1 \\
 Pn(0) = +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ -1 \ -1 \ +1 \\
 \hline
 +1 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1 \ -1 \quad \Sigma \Rightarrow R\alpha(0) = -1
 \end{array}$$



## Technique CDMA optique (OCDMA)

### ➤ Corrélation croisée :

La corrélation croisée décrit l'interférence entre les codes  $PN_i$  et  $PN_j$  :

$$R_c(\tau) = \int_{-N_c T_c}^{N_c T_c} PN_i(t) \cdot PN_j(t + \tau) dt \quad (II. 11)$$

Lorsque la corrélation croisée  $R_c(t)$  est nulle pour tout  $t$ , les codes sont dits orthogonaux.

### c) Types de code PN

#### ➤ Codes de longueur maximale (m-séquence)

Les codes de longueur maximale sont générés à l'aide d'un registre à décalage à rétroaction linéaire (Linear feedback shift register LFSR). Si le registre LFSR contient  $L$  bascules, le nombre de valeurs générées est de  $2^L - 1$ ,

(Période =  $2^L - 1$ ).

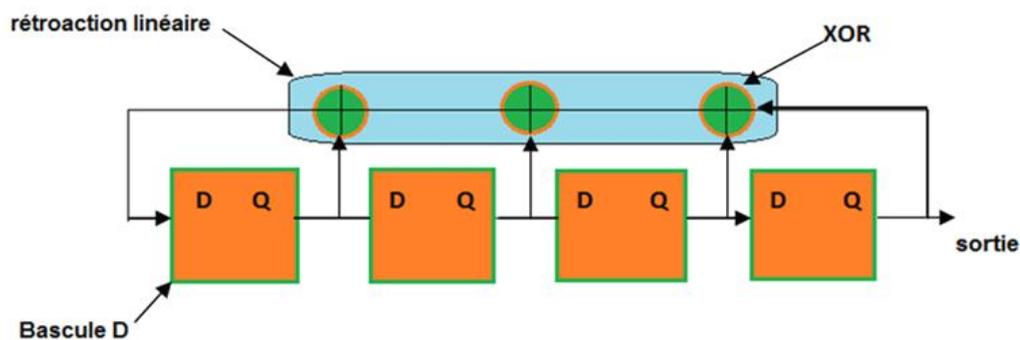


Figure II.6 Registre à décalage à rétroaction linéaire LFSR (L=4)

Après l'initialisation des différents états des bascules, le bit en sortie est calculé à chaque coupe d'horloge en appliquant une combinaison booléenne linéaire des états de certaines bascules définis par un polynôme  $P(x)$  de degré  $L$ . Ce dernier est nommé polynôme générateur et donner par l'équation suivant :

$$P(x) = \sum_{i=0}^L h_i \cdot x^i \quad (II. 12)$$

Les coefficients du polynôme générateur  $h_i$ , appelés les coefficients de connexion de LFBR, prennent la valeur 1 s'il y a une connexion et 0 sinon, Généralement ils sont donnés sous la forme binaire ou octale qui détermine les bascules impliqués dans la combinaison booléenne, Par exemple le polynôme  $P(x) = x^4 + x^2 + x + 1$  est représenté avec un vecteur binaire  $[1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1]_2 = [27]_8$ , comme on peut représenté directement par le vecteur (0,1,2,4). La figure II.7 représente le schéma de se registre.

## Technique CDMA optique (OCDMA)

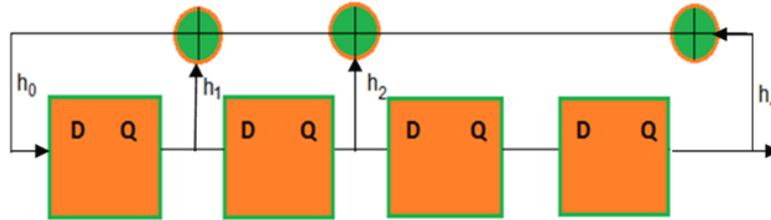
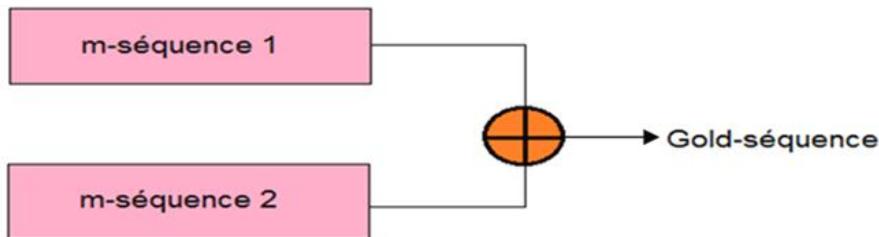


Figure II.7 exemple d'un LFSR pour L=4

### ➤ Code gold :

Tout générateur de code Gold à 2 registres de longueur L peut générer des séquences  $2^L - 1$  (longueur  $2^L - 1$ ) plus les deux m-séquences de base, ce qui donne un total de  $2^L + 1$  séquences.



### ➤ Codes orthogonaux : Code Hadamard-Walsh Codes

Les codes orthogonaux sont des séquences périodiques qui ont une autocorrélation élevée et une intercorrélation nulle.

Les codes de Hadamard-Walsh sont générés dans un ensemble de codes  $N = 2^L$  de longueur  $N = 2^L$ . L'algorithme générateur est simple :

$$H_N = \begin{bmatrix} H_{N/2} & H_{N/2} \\ H_{N/2} & -H_{N/2} \end{bmatrix} \quad \text{avec} \quad H_1 = [1]$$

Les codes de Walsh Hadamard sont construits à partir des lignes des matrices d'Hadamard

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad H_8 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

## II.4. CDMA dans les systèmes optiques

### II.4.1. définition

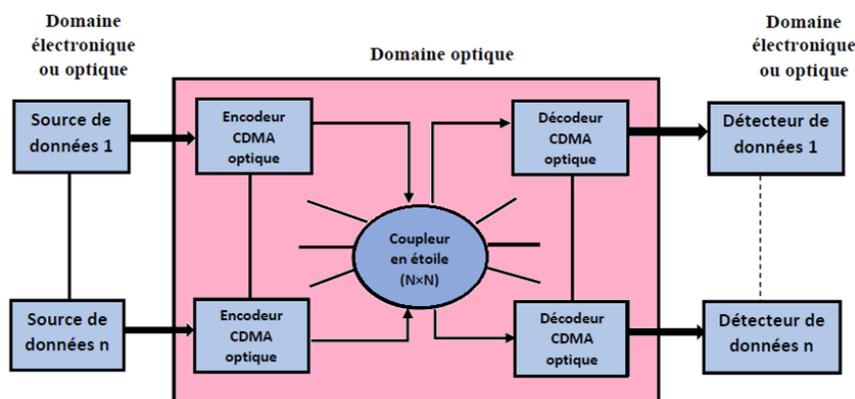
L'OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) est une technique, basée sur l'étalement de spectre qui consiste à attribuer à chaque utilisateur transmettant des données par la fibre optique un code d'étalement ou une signature propre à lui qui permet d'identifier le récepteur destinataire. [1]

### II.4.2. L'architecture d'OCDMA

La (figure II.8), représente schématiquement un dispositif CDMA optique dans un réseau en étoile. Une source de données, optique ou électronique active une source optique, alimente un encodeur optique qui transforme chaque bit de donnée en séquence optique : c'est la conception de l'encodeur optique qui détermine de manière matérielle le code utilisé.

La séquence est couplée avec l'ensemble des autres séquences venant des autres abonnés du système dans un coupleur en étoile, puis transmet via une fibre optique.

Côté récepteur, la totalité des signaux couplés est comparée au code correspondant à un émetteur donné (corrélation) et une détection à seuil détermine si un bit « 1 » ou « 0 » est reconnu [2].



La figure II.8: OCDMA avec émetteurs et récepteurs optiques en configuration en étoile

### II.4.3. Les différentes approches de l'OCDMA

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

#### II.4.3.1. Systèmes OCDMA cohérents

Dans un système cohérent le code d'un utilisateur donné est généralement réalisé par le codage de phase du champ de signal optique. Il est possible d'utiliser des codes bipolaires (comportant des 1 et -1), la bipolarité rend les différents codes strictement orthogonaux de la même manière

## Technique CDMA optique (OCDMA)

que pour le CDMA hertzien. La construction des séquences orthogonales a été faite grâce à des familles de codes bien connues tel que le code de Gold, Walsh, ...

Cependant, ce type de codage nécessite l'utilisation de composants qui rend le système plus complexe et donc une infrastructure plus coûteuse à mettre en œuvre [3].

### II.4.3.2. Systèmes OCDMA incohérent

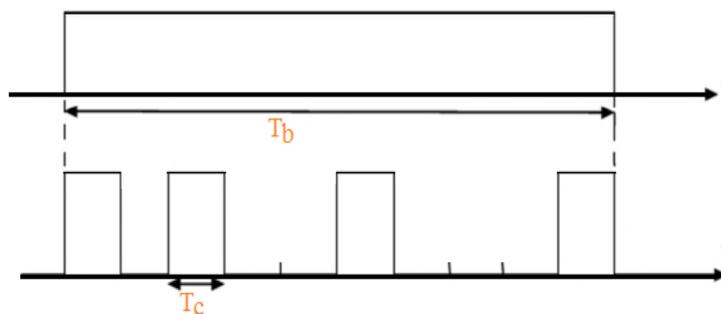
Le système incohérent se fonde typiquement sur le code modulé par amplitude. Le canal est donc unipolaire et les codes seront composés de 0 et de 1. La mise en œuvre des systèmes incohérents est moins coûteuse, mais ils présentent un inconvénient majeur qui est la non orthogonalité des codes unipolaires, ce qui altère les performances des systèmes [4].

### II.4.4. Les catégories d'OCDMA

En OCDMA, le code peut être implémenté de différentes manières qui seront présentés dans la suite du travail.

#### II.4.4.1. OCDMA par encodage temporel (DS-OCDMA)

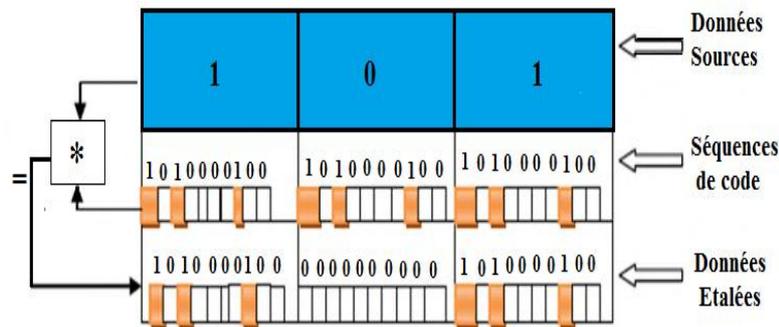
Dans le système DS-OCDMA (l'OCDMA à séquence directe ou Direct Sequence), le codage est achevé en multipliant les données de chaque utilisateur par sa séquence de code approprié. En effet, le temps d'un bit de données à transmettre  $T_b$  est divisé en  $L$  intervalles appelés chips (impulsions) de durée  $T_c$  avec  $T_b = L * T_c$  [5].



La figure II.9 Principe de l'étalement temporel.

Si le bit de données est égal à 1, il sera remplacé par la séquence de code. S'il est égal à 0, il sera remplacé par une séquence nulle de même longueur que la séquence de code. Le nombre de chips par bit de données correspond à la longueur de la séquence du code. Le nombre de chips ayant la valeur unitaire dans la séquence de code, présente le poids du code. La (figure II.10) montre un exemple de codage DS-OCDMA.

## Technique CDMA optique (OCDMA)



La figure II.10 Un exemple de codage DS-OCDMA.

En réception, le signal reçu est multiplexé avec la séquence du code du destinataire, et le signal est détalé. Tous les autres signaux qui n'ont pas la bonne séquence de signature, sont reconnus par le récepteur comme étant du bruit.

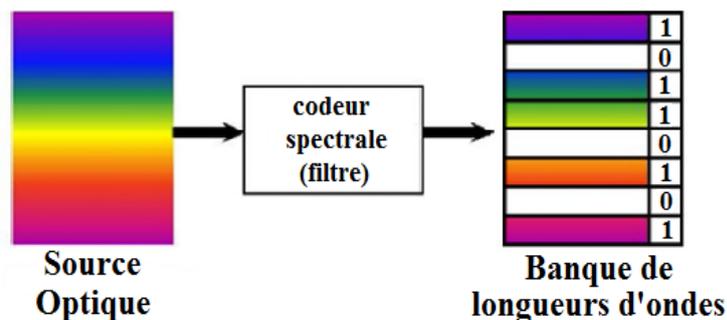
### II.4.4.2. L'OCDMA spectral

Dans l'encodage spectral, plusieurs longueurs d'ondes sont émises par un utilisateur à l'aide d'une batterie de filtres placés en sortie d'une source optique. Ce filtre doit se positionner à l'émission ainsi qu'à la réception. Chaque utilisateur est disposé d'un code propre à lui, ce dernier est défini grâce à une combinaison spécifique des composantes spectrales et qui doit être orthogonale aux autres codes des autres abonnés.

L'obtention des composants spectraux du code est faite à l'aide de fibres à réseaux de Bragg qui réfléchissent des longueurs d'onde différentes ou bien des dispositifs appelés « Spatial Light Modulator » (SLM) permettant un codage plus flexible [6].

La technique OCDMA par longueurs d'onde est limitée par différents point :

- Le poids des codes utilisés correspond au nombre de filtre mis en œuvre.
- Ce poids ne peut pas être unitaire sinon on se retrouve dans le cas WDM.
- L'utilisation d'un nombre important de raies implique un large domaine spectral, de ce fait les performances seront dégradés à cause de la présence de la dispersion et l'amplification.



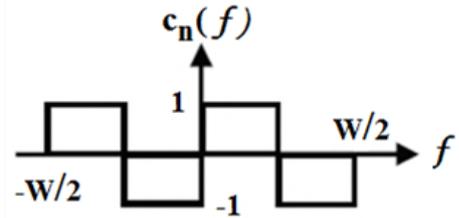
La figure II.11 Codage spectral OCDMA.

# Technique CDMA optique (OCDMA)

Il existe deux types d'encodage dans le domaine spectral :

## a) OCDMA par encodage spectral de phase (SPE-OCDMA : Spectral Phase Encoding OCDMA)

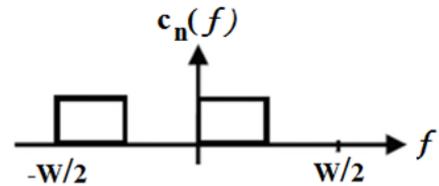
Consiste à effectuer une modulation de phase dans le domaine spectral des données [7]. Dans ce type d'encodage le code est bipolaire, il est unidimensionnel, certaines composantes spectrales des bits d'informations ne sont pas très transmises suivant les sauts de phase du code à implémenter [8].



La figure II.12 SPE-OCDMA.

## b) OCDMA par encodage spectral d'amplitude (SAC-OCDMA : Spectral Amplitude Coding OCDMA)

Codage spectral en amplitude. Cette méthode consiste à attribuer à chaque usager une partie du spectre optique comme code [7]. Ce dernier est unipolaire, la majorité des propositions SAC-OCDMA utilisent des sources incohérentes qui ont l'avantage d'avoir une large bande.



La figure II.13 SAC-OCDMA

Cette technique fait l'objectif de notre travail et nous la détaillerons bien dans la prochaine partie.

## III- SAC-OCDMA

### III-1- Définition

SAC -OCDMA c'est un codage spectrale en amplitude dans OCDMA, décrite et démontré par Zacarrin et KAVEHRAD [9]. Dans ce système, chaque usager se voit assigner son propre code spectral qui constitue sa signature ou son empreinte de façon à ce que cette dernière soit unique. Autrement dit, chaque code d'utilisateur se verra attribuer une combinaison de longueur d'onde bien spécifique [3-10].

La plupart des propositions SAC-OCDMA utilisent des sources incohérentes puisqu'elles ont la particularité d'avoir une large bande spectrale.

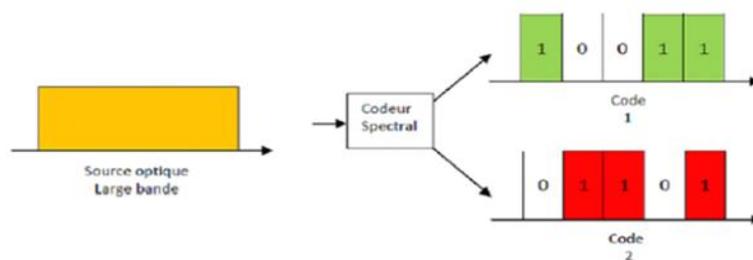


Figure II.14 : Technique de codage spectrale en SAC-OCDMA.

## Technique CDMA optique (OCDMA)

A titre d'exemple présenté dans la (figure II.14) : l'utilisateur 1 se voit attribuer le code «10011» représenté par la couleur verte et en rouge l'utilisateur 2 dont le code est «01101».

### III-2- Encodage et décodage d'un signal SAC-OCDMA

La procédure d'encodage de données avec la technique SAC-OCDMA consiste à assigner une empreinte spectrale unique aux données de l'abonné. Sachant bien que les systèmes fonctionnant à base du SAC-OCDMA partagent la même bande optique, c'est-à-dire que deux signatures spectrales distinctes ont des fréquences en commun.

Le décodage nous permet d'extraire le signal voulu parmi tous les signaux transmis en utilisant la signature spectrale identique à celui de l'encodage.

#### III-2-1- Encodage

Un spectre ayant une densité spectrale de puissance  $F(\nu)$  émit par une source incohérente large bande que nous pouvons subdiviser en  $L$  cases de fréquences, dont  $L$  désigne la longueur du code où la réalisation de l'encodage spectrale par le biais d'un encodeur (ENC) dont la composition est principalement un dispositif qui attribue une signature spectrale unique à chaque utilisateur en occupant  $W$  cases fréquentielles parmi les  $L$  disponibles où  $W$  désigne le poids du code.

Dans la technique SAC-OCDMA, le partage d'un certain nombre de cases fréquentielles entre deux codes différents implique l'apparition de deux autres paramètres  $\lambda$  et  $\lambda_c$  représentent respectivement le nombre de cases communes et l'intercorrélacion. On choisit deux codes spectraux, le premier « 0010110 » pour l'ENC de l'utilisateur 1 désigné comme l'usager désiré, le deuxième code « 0101100 » pour l'ENC de l'utilisateur 2 désigné comme l'usager interférent que nous présenterons dans la (figure II.15). Dans cette section nous allons présenter les codes des deux usagers avec la façon suivante :

- (a) : Vert utilisateur 1 usager désiré « 0010110 ».
- (b) : Rouge utilisateur 2 usager interférent « 0101100 ».

On a pris les valeurs suivantes pour les paramètres mentionnés ci-dessus :  $L = 7$ ,  $W = 3$ ,  $\lambda_c = 1$  pour illustrer le principe de fonctionnement. Une chose est sûre, chaque famille de code a ses propres paramètres [11].

## Technique CDMA optique (OCDMA)

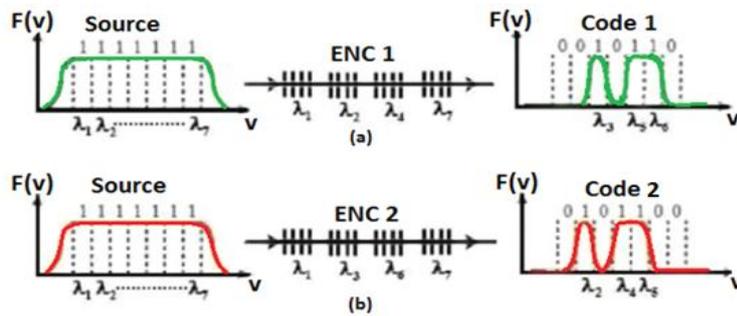


Figure II.15: principe de l'encodage spectral d'amplitude SAC-OCDMA.

### III-2-2- Technique d'encodage

#### III-2-2-1. Encodage avec masque d'amplitude

Cette technique est basé sur l'utilisation d'une modulation d'amplitude plutôt qu'une modulation en phase qui elle nécessite une source cohérente. La (Figure II.16) présentes le principe de fonctionnement de cette méthode. Le rôle du premier réseau de diffraction est de séparer angulairement les différentes composantes fréquentielles. Ce réseau est placé au point focal d'une lentille  $f_1$  afin de rejeter le point image à l'infini. Un masque d'amplitude est inséré dans un plan orthogonal à l'axe de propagation et permet de supprimer les composantes spectrales voulues. Une autre lentille  $f_2$  associée au deuxième réseau de diffraction recombine les composantes spectrales restantes dans la fibre.

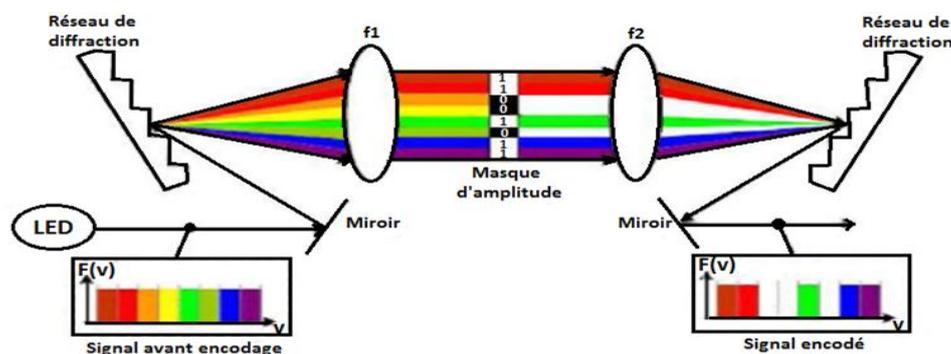


Figure II.16 : Encodage SAC-OCDMA effectué avec un masque d'amplitude.

Les avantages de cette technique	Les inconvénients de cette la technique
<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ L'utilisation d'un masque d'amplitude permet une bonne résolution spectrale.</li> <li>✚ ils permettent de découper le spectre en plusieurs centaines de tranches ,ce qui nous permet d'implémenter des codes avec une grande longueur.</li> <li>✚ la syntonisation de code spectral grâce au signal électronique de contrôle du masque d'amplitude.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ L'utilisation des réseaux de diffraction qui sont couteux et fragile, et on sait bien que le but de l'OCDMA est de réduire les coûts .</li> <li>✚ Les pertes non négligeables (11dB)</li> <li>✚ Réglages et alignement sont délicats .</li> </ul>

Tableau II.1 : Les avantages et les inconvénients de la technique masque d'amplitude

## Technique CDMA optique (OCDMA)

### III-2-2-2. Encodage avec un réseau sélectif planaire AWG (Arrayed Waveguide Grating)

La (figure II.17) montre le principe de cet encodage qui se résume de manière à utiliser une cascade de deux AWGs ( $1 \times N$ ). A la sortie de chaque branche du premier AWG, nous retrouvons une tranche spectrale déterminée. Le code spectral est obtenu en branchant uniquement quelques fibres aux N entrées du deuxième AWG.

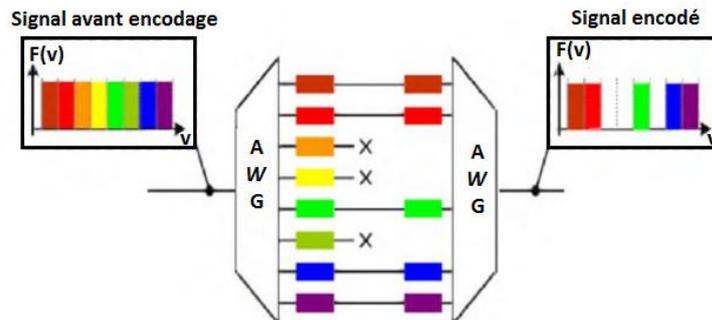


Figure II.17 : Encodage SAC-OCDMA à base d'AWG.

Cette technique a un grand intérêt dans les transmissions optique car elle utilise des composants déjà éprouvés sur le terrain, mais l'inconvénient majeure qu'elle présente c'est qu'elle nécessite d'utiliser deux AWGs à l'encodage de chaque utilisateur [3].

### III -2-2-3. Encodage avec un réseau de Bragg

#### a) Définition

Un réseau de Bragg ou réflecteur de Bragg distribué est un réflecteur de grande qualité utilisé dans des guides d'onde, par exemple dans des fibres optiques. Il s'agit d'une structure dans laquelle alternent des couches de deux matériaux d'indices de réfraction différents, ce qui provoque une variation périodique de l'indice de réfraction effectif dans le guide.

#### b) La compensation de la dispersion

Le principe simplifié de la compensation consiste à retarder les courtes longueurs d'onde du spectre de l'impulsion en référence aux grandes longueurs d'onde. Pour atteindre cet objectif, un réseau de Bragg particulier va être utilisé en réflexion. Il est donc possible de réaliser un montage SAC-OCDMA à base de réseaux de Bragg comme le montre la (Figure II.18). Différents capteurs fabriqués à partir de réseaux ayant une longueur d'onde spécifique peuvent être implémentés en série sur une même ligne optique .

## Technique CDMA optique (OCDMA)

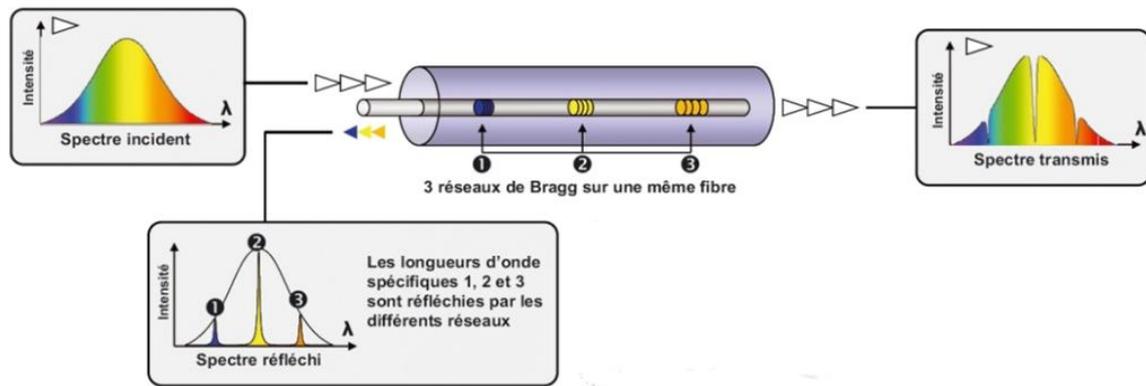


Figure II .18 : Réseaux de Bragg utilisés en transmission pour encodage SAC-OCDMA.

À la frontière entre deux couches, il se produit une réflexion partielle des ondes. Pour les ondes dont la longueur d'onde est égale à environ quatre fois l'épaisseur optique d'une couche. Les réflexions se combinent par interférences constructives, et les couches agissent comme un miroir de grande qualité.

En effet, la relation de Bragg donne :

$$\lambda_{\text{Bragg}} = 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \Lambda \quad (\text{II.13})$$

$$\Lambda = 2 \cdot L$$

$$\text{Nous obtenons : } \lambda_{\text{Bragg}} = 4 \cdot n_{\text{eff}} \cdot L$$

$n_{\text{eff}}$  : l'indice effectif du milieu. ( $n_{\text{gaine}} < n_{\text{eff}} < n_{\text{cœur}}$ )

$\Lambda$  : le pas du réseau.

$L$  : l'épaisseur d'une couche.

$n_{\text{eff}} \cdot L$  : l'épaisseur optique .

### III-2-2-4. Encodage à l'aide de démultiplexeurs et multiplexeurs et optiques

C'est la technique la plus utilisée à ce jour, son principe étant assez simple. Le spectre large bande de la LED est divisée en plusieurs longueurs d'ondes de largeur égale à la l'aide d'un démultiplexeur. A partir des sorties de ce dernier, chaque utilisateur pourra rassembler les longueurs d'onde qui constituent sa signature spectrale à la l'aide d'un multiplexeur comme l'illustre la (Figure II.19) (Le nombre d'entrées du multiplexeur est égal au nombre de longueurs d'onde qui constituent la signature spectrale) [12]. Cependant cette méthode impose une contrainte : aucune longueur d'onde ne doit être commune entre les utilisateurs.

## Technique CDMA optique (OCDMA)

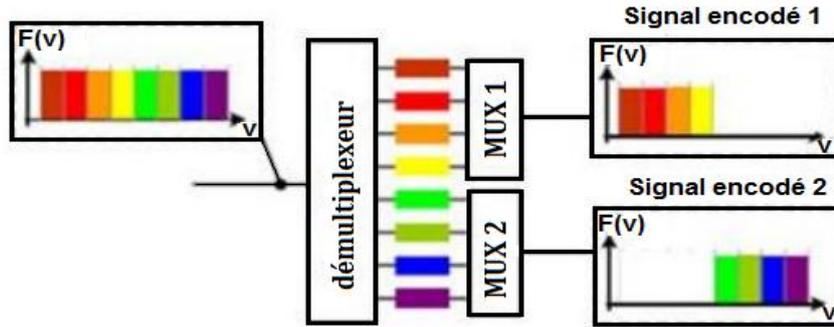


Figure II .19 : Encodage SAC-OCDMA à base d'un démultiplexeur et de multiplexeurs

### III-2-3- décodage

A la réception, les données de tous les usagers seront réunies. Pour cela le système de décodage SAC-OCDMA doit accomplir deux missions essentielles dont la première consiste à détecter les données qui lui sont destinées. La seconde mission se base sur le principe de rejeter tous les signaux des interférents. On trouve deux principales méthodes de détection qui seront présentées juste après.

#### III-2-3-1- Détection balancée par la méthode complémentaire

La (Figure II.20) illustre l'architecture d'un système SAC-OCDMA utilisant la détection balancée qui a comme rôle de détecter le signal de l'utilisateur  $i$ . La constitution de ce décodeur consiste à attribuer un coupleur  $1 \times 2$  à chaque utilisateur où le bras supérieur comporte le décodeur  $DEC_i$  de l'utilisateur  $i$  ayant la même réponse spectrale avec le  $i$  eme code utilisé à l'émission. Quant au bras inférieur, il comporte le décodeur complémentaire  $CDEC_i$  dont la réponse spectrale est complémentaire du décodeur  $DEC_i$ , c'est-à-dire que son code spectral sera le complément binaire de celui du décodeur  $i$ .

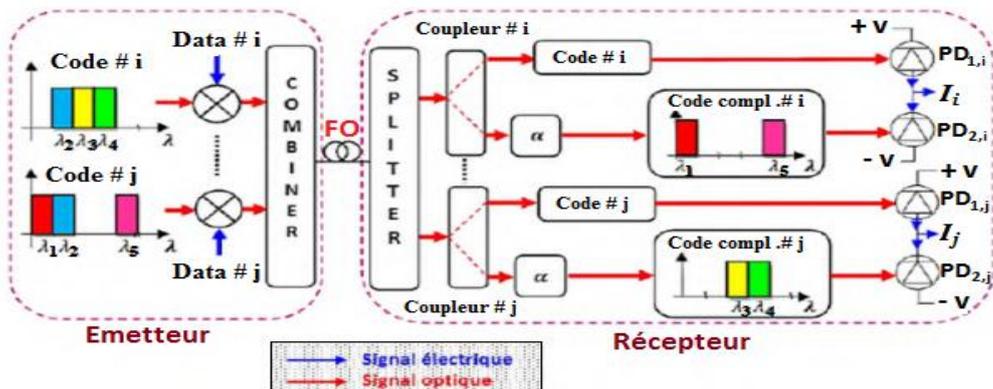


Figure II.20 : Architecture d'un système SAC-ODMA à détection balancée.

Une photodiode balancée est utilisée pour obtenir la soustraction des photo-courants issus des deux photodiodes distinctes. Dans le but d'ajuster la détection balancée, un atténuateur est inséré dans le bras inférieur du coupleur, caractérisé d'un facteur  $\alpha$  tel que :

## Technique CDMA optique (OCDMA)

$$\alpha = \frac{\lambda_c}{w-\lambda_c} \quad (\text{II.14})$$

W : Le poids du code (nombre de 1 dans le code).

$\lambda_c$  : L'intercorrrelation (nombre de 1 commun entre les codes).

De cette manière, les effets IAM seront étouffés au niveau du détecteur en produisant un signal de moyenne nulle, tout en favorisant l'utilisateur désiré. Dans l'intention de mieux expliquer le fonctionnement de cette méthode, un exemple est donné dans la (Figure II.21) en utilisant les paramètres et les valeurs indiqués dans le (Tableau II.2).

Paramètres	Valeur
W	3
$\lambda_c$	1
$\alpha$	$1/2$
Code i	01110 (utilisateur désiré)
Code complémentaire i	10001
Code j	11001 (utilisateur interférent)
Code complémentaire j	00110

Tableau II.2 : Paramètre de l'exemple donné.

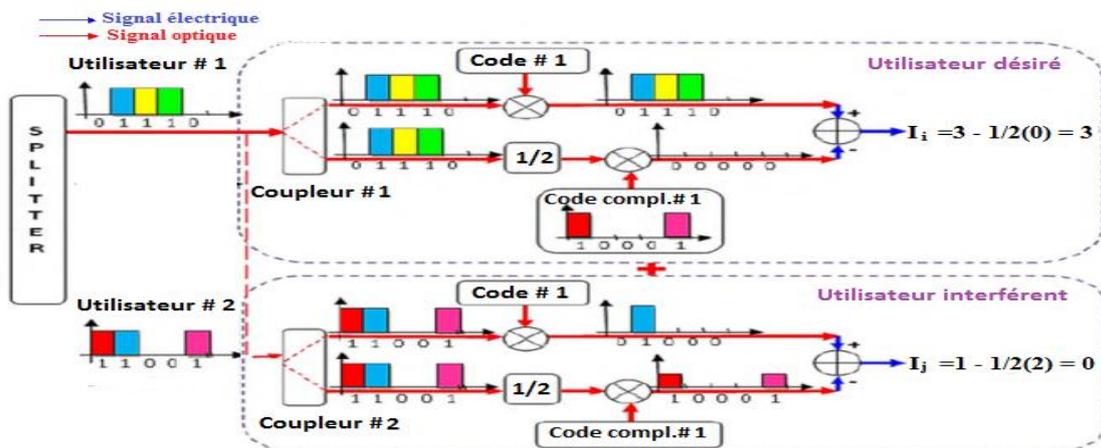


Figure II.21 : Exemple de fonctionnement de la détection équilibrée.

Dans le cas de l'utilisateur désiré, le code arrive au récepteur, la photodiode PD1 détecte la totalité du signal émis car DEC1 est identique à ENC1. Par contre la photodiode PD2 ne détecte aucun signal car une opération logique AND est réalisée entre le code et son complémentaire. Pour le cas de l'utilisateur interférent, nous allons montrer comment ce type de récepteur permet d'annuler son signal, afin de détecter le code de l'utilisateur désiré. Dans ce cas, la photodiode PD1 ne détecte qu'une seule longueur d'onde puisque le paramètre d'intercorrrelation est égal à 1 ( $\lambda_c=1$ ) entre les deux codes. La photodiode PD2 détecte le signal obtenu en effectuant l'opération logique AND réalisée entre le code 2 et le complémentaire du code 1 avec la moitié de l'amplitude par le fait d'avoir passé par l'atténuateur.

## Technique CDMA optique (OCDMA)

D'après les résultats obtenus, nous remarquons qu'avec ce type de détection seul le signal désiré sera récupérer avec la suppression des signaux interférents. Malgré ses bons résultats, cette technique présente une grande complexité au niveau du récepteur [7].

### III-2-3-2- Détection spectrale directe

C'est une technique similaire à la technique balancée, mais avec  $\lambda c = 0$  donc une seule branche de décodeur et de détecteur est nécessaire,  $\alpha = \frac{0}{\omega - 0} = 0$ , (voir équation II.4) suppression de la deuxième branche (Figure II.22) [7].

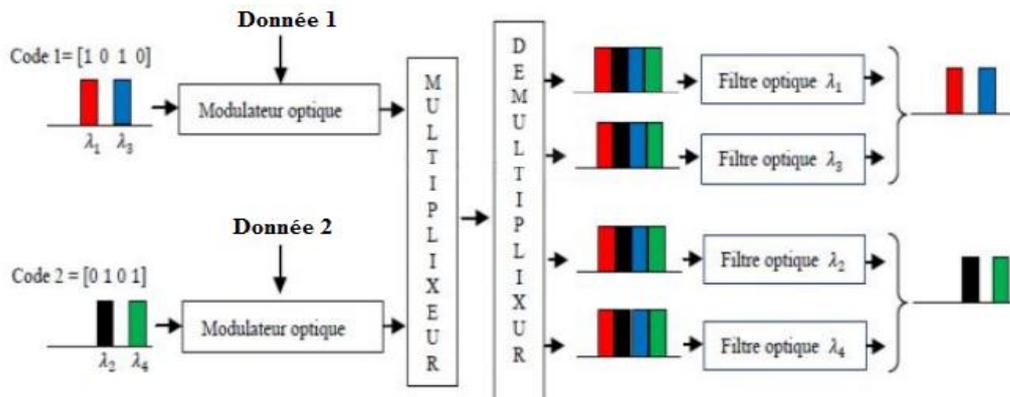


Figure II.22 : Méthode de détection spectrale directe.

### III-3- Bruit en SAC-OCDMA

Cette partie est consacrée pour la description des bruits que l'on observe lors de la détection d'un signal incohérent. Nous allons décrire les trois bruits principalement observés dans les systèmes utilisant les sources incohérentes soit :

#### III-3-1- Bruit thermique

L'agitation thermique des porteurs de charges dans la jonction de la photodiode est la cause principale de ce bruit. De ce fait, une variance  $\delta_{TH}^2$  sur la tension à la sortie du photodétecteur est introduite :

$$\delta_{TH}^2 = 4 \cdot k_B \cdot T \left( \frac{\Delta f}{R} \right) \cdot G_{PD}^2 \quad (II. 15)$$

$k_B$  : est la constante de Boltzman en [J.K<sup>-1</sup>].

$T$  : la température en [°K].

$\Delta f$  : la bande passante du récepteur en [Hz].

$R$  : la résistance de charge du système de photo-détection en [ $\Omega$ ].

$G_{PD}$  : La densité spectrale de puissance (DSP) à la photodiode.

## Technique CDMA optique (OCDMA)

---

Ce bruit est dominant lorsqu'on utilise des tensions basses autrement dit des basses puissances optiques [9].

### III-3-2- Bruit de grenaille (shot noise)

Ce bruit est dû au caractère aléatoire de la création de paires électron-trou dans la photodiode. La variance  $\delta^2_{SN}$  de ce bruit est définie par :

$$\delta^2_{SN} = e \cdot \Delta f \cdot V \cdot G_{PD} \quad (II.16)$$

$e$  : représente la charge de l'électron

$V$  : La tension moyenne.

La puissance de ce bruit est proportionnelle à la tension moyenne  $V$  et augmente donc de manière linéaire en fonction de la puissance optique reçue [9].

### III-3-2-Bruit d'intensité

A la réception, le photodétecteur fait la somme globale de tous les champs électriques présents et met le résultat de cette somme au carré. Cela engendre des changements aléatoires sur la valeur de  $V$  puisque des termes de battement entre les différentes composantes fréquentielles sont créés.

Puisque ce phénomène est de nature quadratique, il est important de noter que la puissance de ce bruit est proportionnelle au carré de la tension  $V$  [9].

## III-4- Les codes en SAC-OCDMA

Dans cette partie nous allons présenter les trois principaux codes qu'on a choisis pour étudier leurs performances dans les liaisons des systèmes SAC-OCDMA, tout en montrant leurs avantages et leurs constructions. Notre travail est basé sur ces codes suivant :

### III-4-1-Le code Cyclic Shift (CS)

Nous allons présenter dans cette section un code appelé code de décalage cyclique (CS : Cyclic Shift) a une grande cardinalité dans la sélection du poids du code et du nombre d'utilisateurs. Il a également une intercorrélation nulle, qui lui permet de supprimer les interférences d'accès multiple (IAM). Un autre avantage qui caractérise ce code est que les intervalles de fréquence du code se trouvent côte à côte, ce qui réduit le nombre de filtres nécessaire pour coder et décoder les données, et rendre la conception du récepteur simple avec un faible coût .

## Technique CDMA optique (OCDMA)

### La Construction du code CS

**Etape 1 :** en premier lieu, on doit choisir le nombre d'utilisateurs  $K$  et le poids du code  $W$  requis pour le système. Dans ce cas, nous allons fixer  $K=3$  et  $W=3$ .

**Etape 2 :** Par la suite, on va calculer la longueur du code  $L$  ( $L= K \times W$ ) alors on peut déduire la dimension de la matrice du code qui est  $(K \times L)$ . La longueur du code trouvé dans ce cas est  $L=3 \times 3= 9$  donc la matrice a la dimension suivante  $3 \times 9$ .

**Etape 3 :** Ensuite, on va déterminer les positions ( $P$ ) des « 1 » pour le premier code avec  $P= \{C1_i, \dots, C1_w\}$ , où  $i= \{1, \dots, W\}$ ,  $C1_i$  est le numéro de colonne de la première ligne de la matrice du code, elles sont pour ce cas  $\{C1_1, C1_2, C1_3\}$ .

$$[ 1 \quad 1 \quad 1 \quad \quad \quad ]$$

**Etape 4 :** Après avoir déterminer les positions des « 1 », on doit compléter la construction de la première séquence de code en remplissant les positions restantes par des zéros.

$$[ 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 ]$$

**Etape 5 :** Pour obtenir les séquences de code restantes, on va décaler de manière cyclique les bits de séquence du code précédent  $W$  bits.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Etape 6 : Enfin, on va construire le reste des séquences de code pour compléter la matrice du code [13].

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

### III-4-2- Le code MS (Multi-Services)

Le code Multi-Services est une version améliorée du code CS à poids unique déjà existant. Cette nouvelle version du code permet aux utilisateurs de poids ou de priorité différents de coexister dans un système unique tout en gardant la valeur de l'intercorrélacion à « 1 ».

Le code MS pour le système SAC-OCDMA est une matrice basée et caractérisée par quatre paramètres essentiels qui sont : le poids du code  $W= 2, 3, 4, \dots$ , le nombre d'utilisateurs  $K$ ,  $\lambda_c$  qui est l'intercorrélacion entre chaque paire de mots de code et en raison de la structure du code MS, la valeur idéale doit être inférieure ou égal à 1 ( $\lambda_c \leq 1$ ) afin d'éliminer

## Technique CDMA optique (OCDMA)

l'IAM. On trouve aussi la longueur du code L de la matrice de base qui peut se calculer comme suit :

$$L = \sum_{i=1}^W(i) \quad \text{si } K = W \quad (\text{II.17})$$

Dans le cas où le nombre d'utilisateur est inférieur à W, la longueur du code est obtenue avec la façon suivante :

$$L = \sum_{i=1}^W(i) - \sum_{i=1}^{W-K}(i) \quad (\text{II.18})$$

### La Construction du code MS

Nous allons montrer la construction de la matrice de base du code MS pour W=3 et avec une longueur L=6 calculée à partir de l'expression (II.17).

**Etape 1 :** Pour construire le premier mode de code, on doit calculer les positions des « 1 » dans le code. Soit  $P_w$  la position du  $w^{\text{ème}}$  « 1 » dans le code où  $w = \{1, \dots, W\}$ , on trouve  $P_w$  du premier utilisateur comme suit :

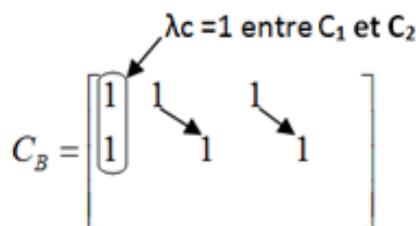
$$P_w = \begin{cases} 1, & w = 1 \\ P_{(w-1)} + (w - 1), & w > 1 \end{cases} \quad (\text{II.19})$$

Exemple : pour  $w=2$  on trouve  $P_2 = P_{(2-1)} + (2 - 1) = 2$  .  
 pour  $w=3$  on trouve  $P_3 = P_{(3-1)} + (3 - 1) = 4$  .

$$C_B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{bmatrix}$$

**Etape 2** Soit  $C_{ij}$  l'élément de la  $i^{\text{ème}}$  position dans le code, où  $i = \{1, 2, \dots, K\}$  et  $j = \{1, 2, \dots, L\}$ . Ainsi,  $C_i$  est défini comme  $C_i = \{C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{iL}\}$ .

Pour construire le deuxième mot de code à partir du premier code, on doit rechercher la position du premier «1» dans le mot de code précédent qui ne chevauche aucun mot de code généré, par la suite on place «1» dans la même position pour obtenir une inter-corrélation entre ces deux codes . Ensuite, les valeurs des bits pour les positions de repos de  $\{C_{i(j+2)}, C_{i(j+3)}, \dots, C_{iL}\}$  sont obtenue en décalant les bits du code précédent .



## Technique CDMA optique (OCDMA)

**Etape 3 :** Répéter l'étape 2 pour les codes suivants jusqu'au dernier code du dernier utilisateur.

$$C_B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & & & & \\ 1 & & 1 & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

$\lambda_c = 1$  entre  $C_1$  et  $C_3$   
 $\lambda_c = 1$  entre  $C_2$  et  $C_3$

**Etape 4 :** remplir les espaces vides avec des zéros.

$$C_B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### Technique de mappage pour augmenter le nombre d'utilisateurs

Afin d'augmenter le nombre d'utilisateurs à partir de la matrice de base  $C_B$ , on peut utiliser la technique de mappage. Si nous supposons que le nombre total d'utilisateurs requis est  $K_T$ , la matrice de base est répétée en diagonal  $M$  fois ( $M = K_T/k$ ). Comme le montre la matrice  $C(M)$  suivante :

$$C(M) = \begin{bmatrix} C_B(1) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_B(2) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_B(3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_B(M) \end{bmatrix}$$

Où les matrices  $C_B(1) \dots C_B(M)$  sont les mêmes que la matrice de base  $C_B$  situer à la même séquence de mappage ( $m=1, 2, \dots, M$ ).

Chaque « 0 » de la matrice de mappage représente une séquence de zéros ayant la même taille que  $C_B$ . Par conséquent, le nombre d'utilisateurs est étendu de  $M \times K$  où  $M$  est le nombre de la séquence de mappage et  $K$  est étendu en diagonal.

### III-4-3- Le code d'intercorrélation nulle (Zero Cross Correlation ZCC)

C'est un code proposé par M.S.Anuar et al, pour réduire les interférences d'accès multiple (IAM) dans le système d'accès par division de code optique (SAC-OCDMA). Ils ont montré que le système établi préserve non seulement la capacité de suppression d'IAM, mais améliore également les performances de taux d'erreur sur les bits et il prend en charge plusieurs utilisateurs par rapport aux codes conventionnels.

## Technique CDMA optique (OCDMA)

Parmi les avantages de ce nouveau code d'intercorrélation nulle on trouve :

- Une grande flexibilité dans le choix du nombre d'utilisateurs.
- La facilité de la construction du code.
- L'intercorrélation entre les codes égale à zéro.

### La construction du code ZCC

Le code ZCC est conçu dans la matrice  $K \times L$  où  $K$  c'est le nombre de lignes qui représente le nombre d'utilisateur et  $L$  c'est le nombre de colonnes qui représente la longueur du code. Ces matrices ont des coefficients binaires c'est-à-dire 0 et 1.

En code optique ZCC, le code de base est conçu pour le poids  $w=1$ , avec cette manière :

$$Z(w = 1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dans ce cas on a deux utilisateurs et la longueur minimale du code est également deux.

Afin d'augmenter le poids une formulation de transformation de code est nécessaire, elle est présentée sous cette forme :

$$Z(w = i) = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

Où :

A : représente la réplication de la matrice du code précédent où le poids égale à  $(w-1)$ .

B : est une matrice de taille  $(w \times 2w)$  qui est une combinaison d'une matrice des « 1 » en diagonale de taille  $(w \times w)$  avec une matrice des « 0 » de taille  $(w \times 1)$  en alternance entre eux .

C : représente la matrice de « 0 » de taille  $(1 \times w (w-1))$ .

D : représente la réplication de la matrice  $(1 \times [0 \ 1])$   $w$  fois.

Avec :  $w$  c'est le poids du code et  $i$  c'est un nombre entier  $\{1, 2, 3, \dots\}$ .

Le nombre d'utilisateurs et la longueur minimale du code sont calculés respectivement avec la manière suivante :  $K=w+1$  ;  $L=w (w+1)$ .

Le nombre d'utilisateur peut être augmenté sans modifier le poids par la technique du mappage qui est présenté comme suit :

$$Z_m = \begin{bmatrix} Z_{m-1} & 0 \\ 0 & Z_{m-1} \end{bmatrix}$$

Exemple : après avoir transformer le code de  $w=1$  en  $w=2$  en utilisant la formule de transformation du code, on obtient la matrice suivante :

## Technique CDMA optique (OCDMA)

$$Z_2 = \begin{array}{c} \begin{array}{cc} \text{A} & \text{B} \\ \downarrow & \downarrow \end{array} \\ \left[ \begin{array}{cc|ccc} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{array} \right] \\ \begin{array}{c} \uparrow \\ \text{C} \end{array} \quad \begin{array}{c} \swarrow \\ \text{D} \end{array} \end{array}$$

Dans ce cas on a trois utilisateurs et la longueur minimale du code est six.

Pour augmenter le nombre d'utilisateur  $w=2$ , la matrice du mappage est la suivante :

$$Z'_2 = \begin{bmatrix} Z_2 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Avec : } Z_2 = Z(w=2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pour notre cas, le code **ZCC** est appliqué pour trois utilisateurs avec un poids  $w=3$ , la matrice est la suivante :

$$Z(w=3) = \begin{array}{c} \begin{array}{cc} \text{A} & \text{B} \\ \downarrow & \downarrow \end{array} \\ \left[ \begin{array}{cccc|cccc} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{array} \right] \\ \begin{array}{c} \swarrow \\ \text{C} \end{array} \quad \begin{array}{c} \swarrow \\ \text{D} \end{array} \end{array}$$

### IV- Conclusion

Ce chapitre a regroupé toutes les informations nécessaires pour la compréhension et la récolte d'un bonus d'informations sur le CDMA optique. En premier lieu, nous avons donné un aperçu sur le CDMA en radiofréquence qui est la plateforme du CDMA optique, puis une description est faite sur ce dernier en citant ses différentes catégories ; DS-OCDMA et L'OCDMA spectral, par la suite on a évalué les performances des codes SAC-OCDMA avec la détection directe pour trois utilisateurs dont le but est de minimiser l'interférence d'accès multiples , où on a utilisé les codes suivants : ZCC, MS et CS .

# Technique CDMA optique (OCDMA)

---

## Références

- [1] LARIBI.H. Et AISSA MADAOUIS. Etude d'un système OCDMA avec les codes Hadamard pour les signaux optiques incohérents. Mémoire de Master. Tlemcen : Université ABOU BAKR BELKAD – TLEMCEN. 2016. 96 pages.
- [2] Benzerdjeb Choukri, Selka Soufyane "encodage de l'amplitude spectral pour OCDMA" mémoire de master en Photoniques Réseaux Optiques de Télécommunications, université abou bakr belkaid – TLEMCEN, le 26 Juin 2013
- [3] CHIRIFI, A. Analyse Et Evaluation Des Performance De la Modulation Multi Porteuses Dans La Transmission D'information. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Moustaghanem : Université ABDELHAMID IBN BADIS DE MOUSTAGHANEM. 2017. 137.
- [4] MEKIDICHE.H. Et BOUCHACHIA.O. Analyse des performances d'un système DSOCDMA. Mémoire de Master. Tlemcen : Université ABOU BAKR BELKAD – TLEMCEN. 2016.78.
- [5] NAUFALS.S. Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Limoges : Université de Limoges. 2005. 209.
- [6] ZOUINE.Y. Contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants optoélectroniques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Limoges : Université de Limoges. 2005.191.
- [7] DRIZ.S. Contribution à l'étude du système hybride SCM SAC-OCDMA. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Sidi-Bel-Abbès : Université DJILALI LIABES de Sidi- Bel-Abbes. 2018. 133.
- [8] ABDENOUR, H. Et BEN AOUMEUR.M. Etude et simulation du système SAC-OCDMA utilisant la technique SPD. Mémoire de Master. Saida : Université Dr. TAHAR MOULAY –SAIDA. 2018. 70.
- [9] J.P. Réduction du bruit d'intensité dans les systèmes SAC-OCDMA incohérents utilisant des réseaux de Bragg. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Laval : Université de Laval.2009. 180.
- [10] DJEFFAL.N. Marches quantiques généralisées pour l'algorithmique quantique appliquées à un routeur optique du type WDM. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Constantine : Université Frères Mentouri de Constantine. 2016.133.
- [11] J.P. Réduction du bruit d'intensité dans les systèmes SAC-OCDMA incohérents utilisant des réseaux de Bragg. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR. Laval : Université de Laval.2009. 180.
- [12] Aberrou Aicha, khelif Karima,|| Codage ZCC en 2 Dimensions (W/P) pour Les Systèmes de Communication Optique SAC-OCDMA||, Mémoire De fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en Télécommunication,2016
- [13] SALAWA.M. Et al. Cyclic shift code for SAC-OCDMA using Fiber Bragg-Grating. Vol. Menoufia University, Menouf, 32952, Egypt.16.2013.

## *CHAPITRE 3*

### *Simulations et interprétations des résultats*

## I. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'ensemble du travail de simulation que nous avons effectué afin d'évaluer les performances d'un système OCDMA à base de fibre à réseau de Bragg à l'aide de logiciel OptiSystem.

Nous commençons par une brève présentation du logiciel Optisystem ainsi que ses différentes caractéristiques et les diverses applications que propose logiciel.

Le but recherché dans ce chapitre est d'examiner les résultats de la simulation pour 3 usagers pour une longueur de la fibre, une puissance et un débit binaire fixe, et essayez d'obtenir un signal à la réception presque le même que ce lui à l'émission, à l'aide d'un compensateur de dispersion.

## II. Présentation du logiciel OptiSystem

La conception et l'analyse des systèmes de communications optique, comprennent des dispositifs non-linéaires et des sources de bruit non gaussiennes qui sont très complexes et couteuses en temps, il en résulte que ces tâches ne peuvent désormais être effectuées rapidement et efficacement qu'avec l'aide de nouveaux outils logiciel.

OptiSystem est un outil qui permet aux scientifiques et aux ingénieurs de modéliser, simuler, analyser et concevoir tout module de traitement du signal, allant du dispositif le plus élémentaire, au système complet de communication. OptiSystem est un environnement interactif qui allie des outils numériques efficaces à des fonctionnalités graphiques puissantes et une interface utilisateur conviviale.

La démarche à suivre se décompose en deux étapes :

- Construire le schéma bloc.
- Analyser le schéma.

### II.1. Interface de l'OptiSystem

L'interface OptiSystem contient une fenêtre principale réparti en plusieurs parties (figure III.1)

- Bibliothèque : une base de données de divers composants existants.
- Editeur du layout : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- Projet en cours : visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.

# Simulations et interprétations des résultats

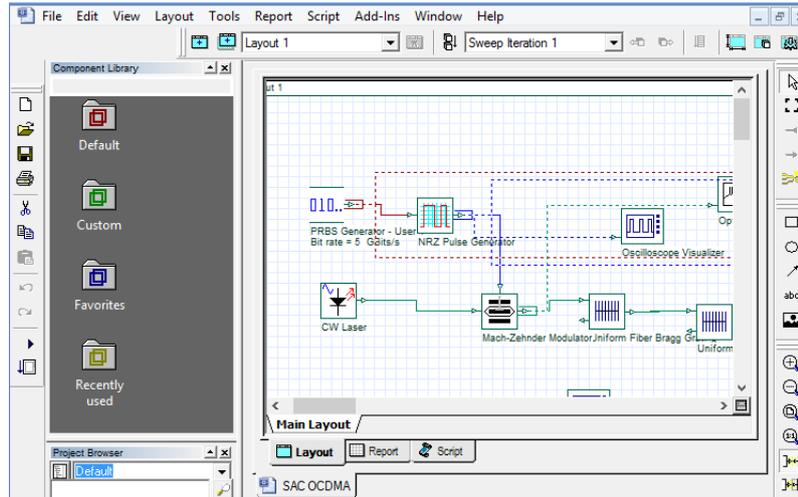


Figure III.1 Interface d'utilisateur graphique (GUI).

## II.2. Paramètres caractéristiques

Pour insérer un composant (photodétecteur) de la bibliothèque OptiSystem, il suffit d'accéder au bloc Default, Receivers Library et Photodetectors (Figure III.2).



Figure III.2 : Schéma d'un photodétecteur sous OptiSystem

Les caractéristiques du photodétecteur utilisé, sont obtenues par un clic sur le composant (Figure III.3).

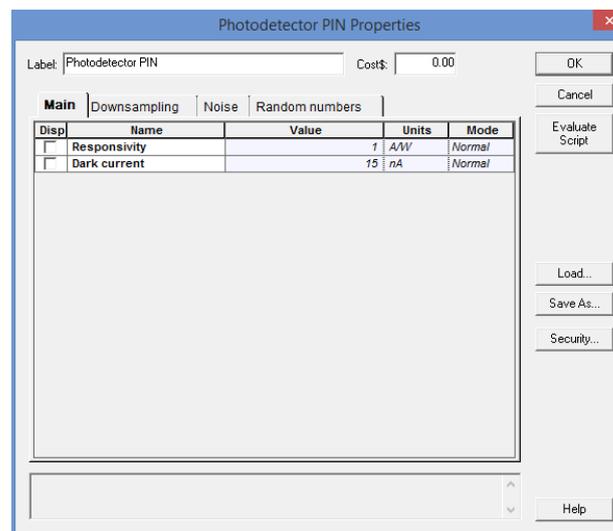


Figure III.3 : Interface de définition du photodétecteur.

## II.3. Application d'Optisystem

Parmi les diverses applications d'Optisystem nous allons citer les plus utilisées :

## Simulations et interprétations des résultats

- La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique.
- Le calcul du taux d'erreur binaire (BER) et le calcul du bilan de liaison.
- La conception des réseaux TDM/WDM et optiques passifs (PON).
- L'espace libre pour les systèmes optiques (OSA).
- La conception d'anneau SONET/SDH.
- La conception d'émetteur de canal et d'amplificateur.

### II.4. Principales caractéristiques du logiciel Optisystem

Les principales caractéristiques du logiciel sont :

- Les composants virtuels de la bibliothèque sont capables de reproduire le même Comportement et le même effet spécifique en fonction de la précision sélectionnée et leur efficacité reproduite par les composants réels.
- La bibliothèque des composants permet d'entrer les paramètres qui peuvent être mesurés à partir de périphériques réels, il s'intègre aux équipements de test et de mesure des différents fournisseurs (Figure III.4).
- Les outils de visualisation avancée produisent le SAOS Spectral, le signal sonore, les diagrammes de l'œil, l'état de la polarisation, la constellation schémas et beaucoup plus.
- Il est possible de joindre un nombre arbitraire de visualiser sur le moniteur au même port.
- L'état de l'art et le calcul de flux de données.
- Le calcul planificateur contrôle la simulation en déterminant l'ordre d'exécution des modules du composant selon les données sélectionnées.

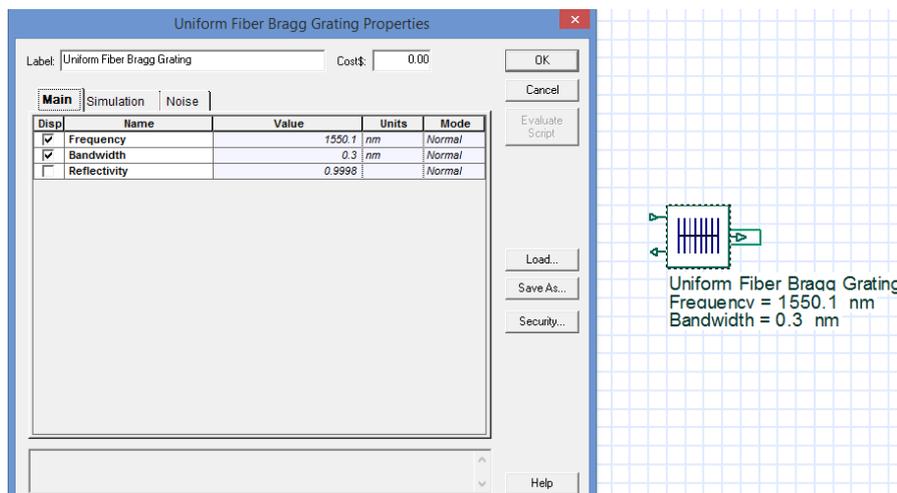
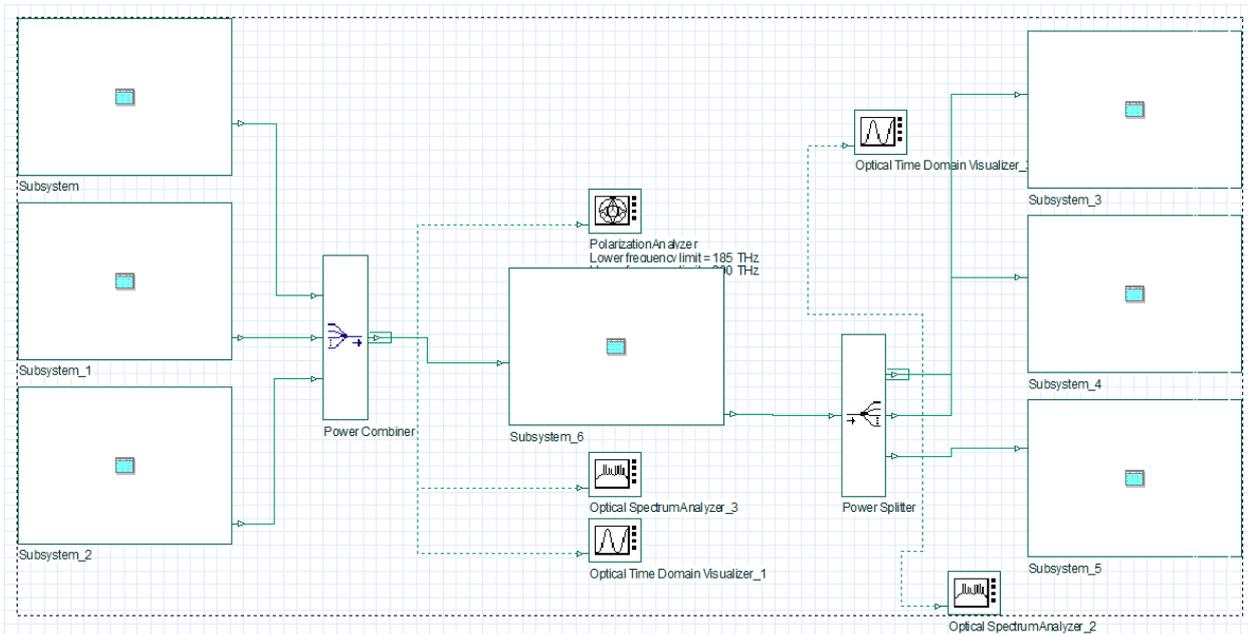


Figure III.4 : Modification du paramètre du composant FBG.

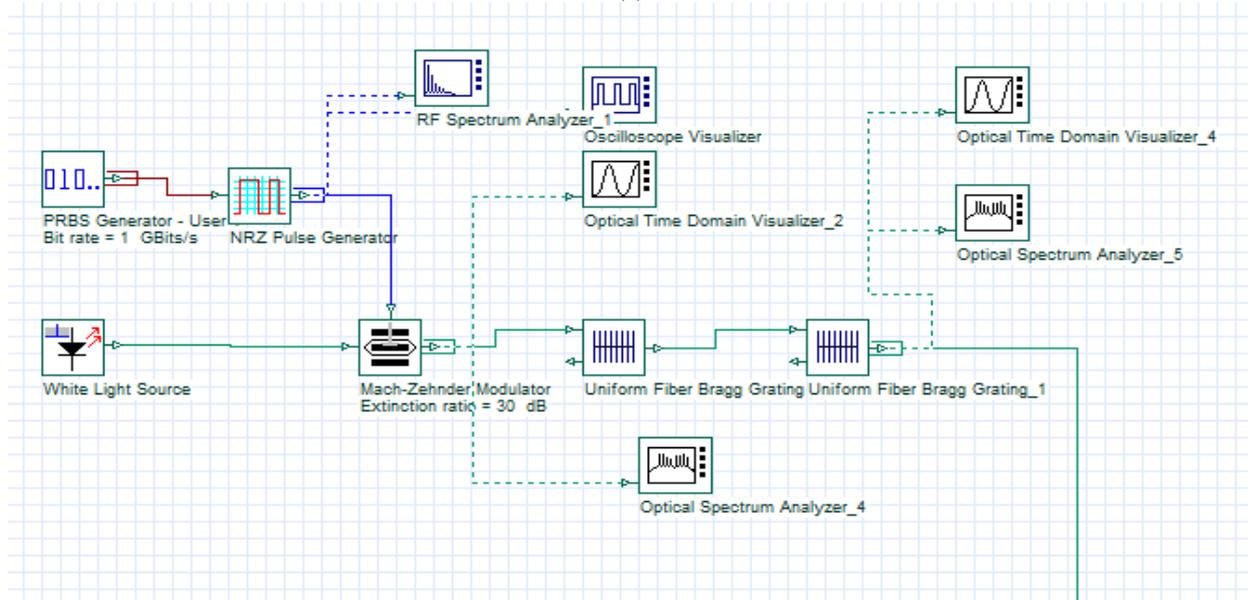
## III. La chaîne de transmission d'un système SAC-OCDMA

La conception illustre l'utilisation de trois utilisateurs avec la technique de codage de l'amplitude spectral de l'OCDMA en utilisant les réseaux de Bragg comme encodeurs/décodeurs pour le signal optique incohérent.

Dans un système OCDMA basé sur les réseaux de Bragg, chaque utilisateur a des bits d'information qui sont modulés grâce à la large bande porteuse optique incohérente pour effectuer la conversion. Une série de FBG sont introduits pour contrôler le spectre d'amplitude des signaux optiques incohérents à large bande.

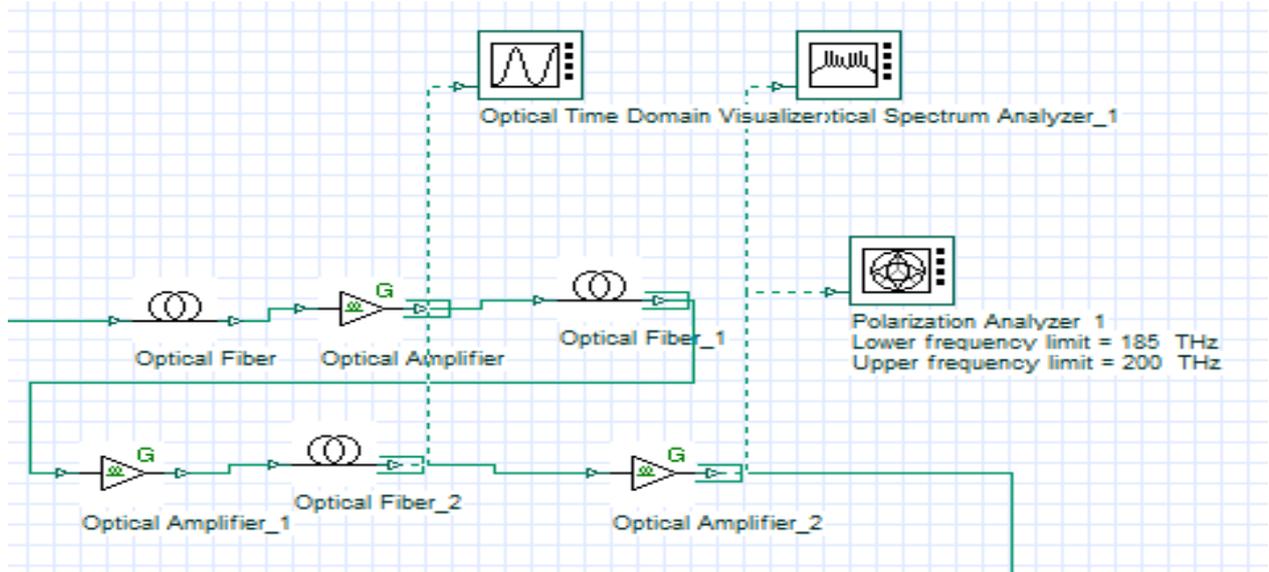


(a)

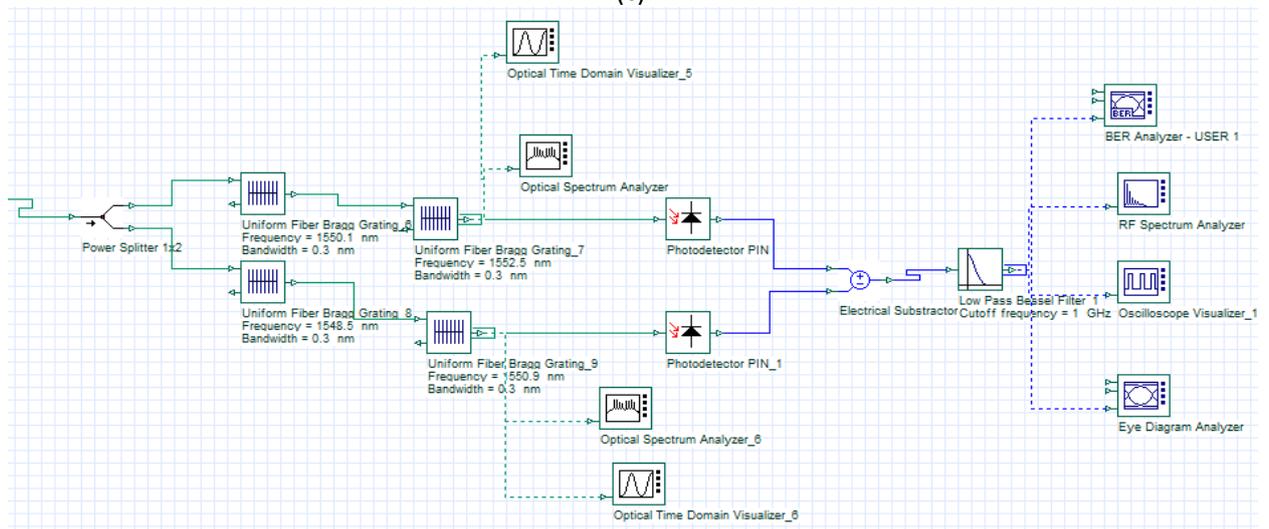


(b)

## Simulations et interprétations des résultats



(c)



(d)

Figure III.5 : (a) Schéma global d'un Emetteur / Récepteur optique, (b) partie émetteur, (c) Support de transmission, (d) Partie récepteur

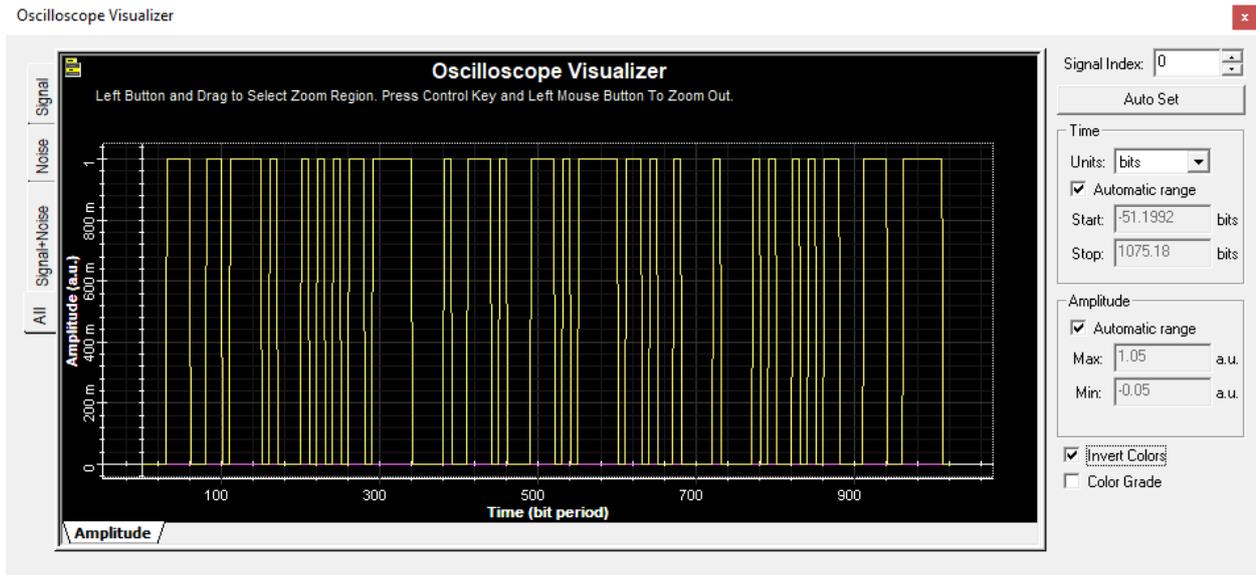
### IV. Simulation de la chaîne

#### ➤ débits binaires au niveau d'émetteur et le récepteur

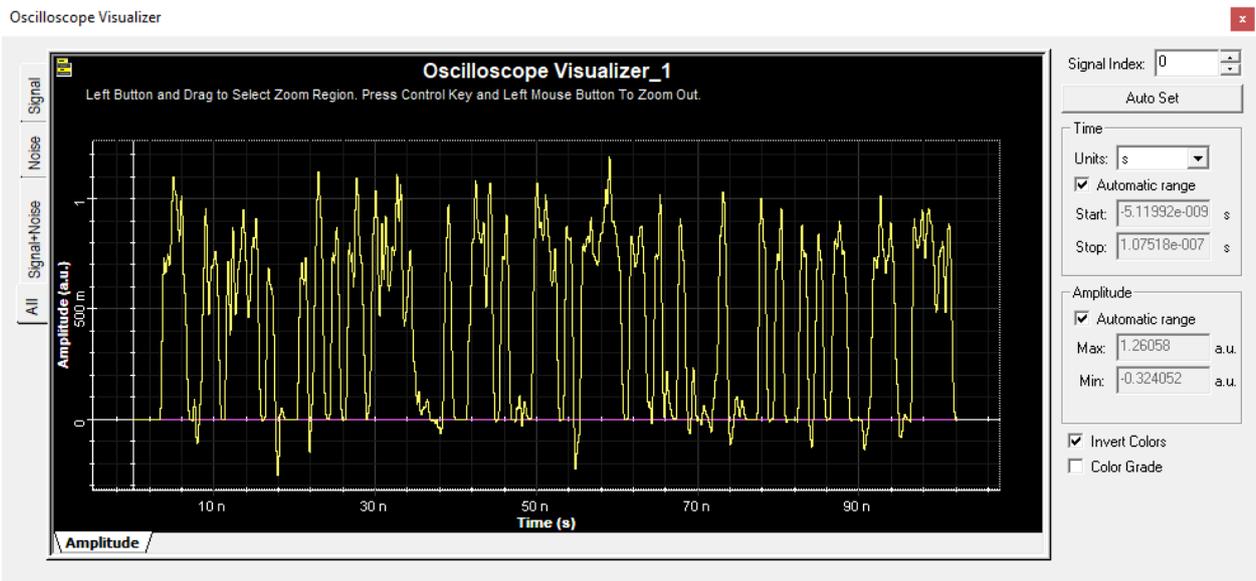
La (figure III.6) montre les débits binaires au niveau de l'émetteur à la sortie du codeur NRZ et du récepteur à la sortie du filtre électrique de Bessel qui sont affichés dans la figure ci-dessous figure III.6 (a) et figure III.6 (b) respectivement.

Les séquences de bits de débit,  $D_b = 1$  Gbit/s le temps bit est :  $T_b = 1 / D_b = 1$  ns, sont délivrées par le PRBS de façon aléatoire avec une équiprobabilité entre les '0' et les '1' ( $P(0) = P(1) = 1/2$ ) voir la (figure III.7).

# Simulations et interprétations des résultats



(a)



(b)

Figure III.6: Débit binaire 1 Gbit/s. (a) au niveau de l'émetteur (b) au niveau de récepteur

D'après les deux figures III.6.a et III.6.b on remarque bien qu'on peut récupérer l'information sans erreur. Seulement, les amplitudes des bits présentent certaines déformations et cela dus aux phénomènes d'interférences, d'atténuation, dispersion, diffusion et de retard introduites par l'ensemble des composantes optiques. Donc, pour un débit qui dépasse 1 Gbit/s il faut prendre en considération les effets non linéaires au niveau de la fibre optique, le bon choix de la photodiode, les paramètres au niveau du modulateur Mach-Zehnder, la source laser....

# Simulations et interprétations des résultats

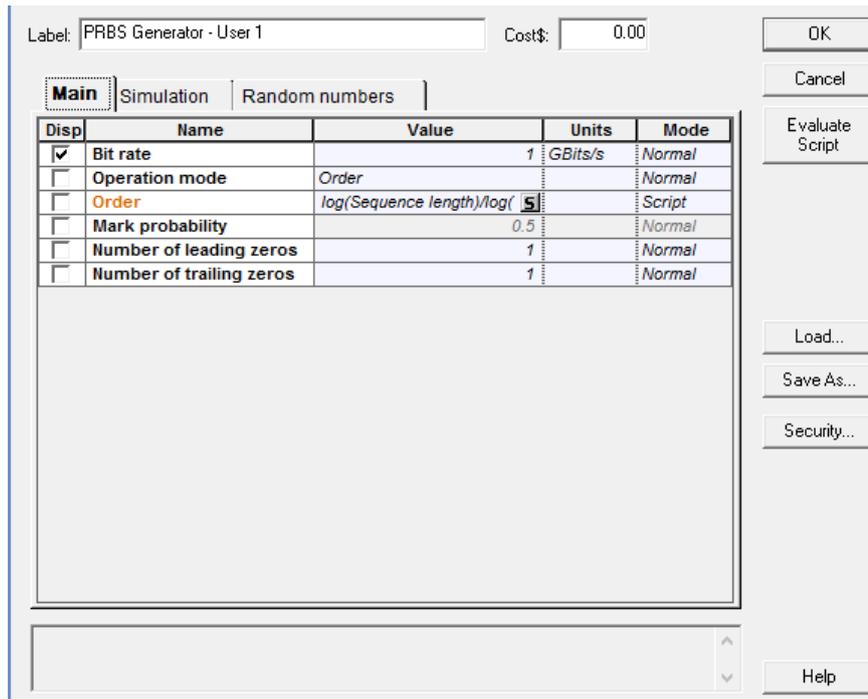
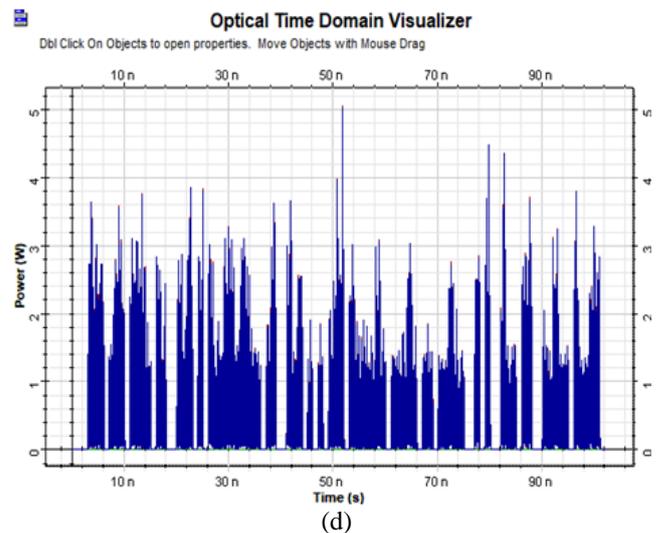
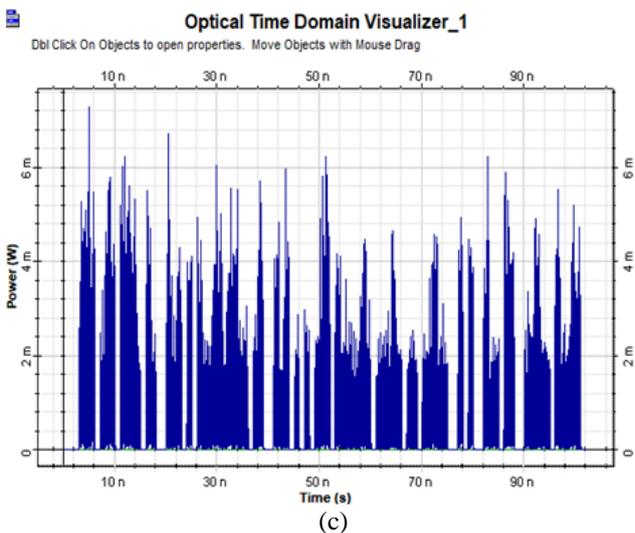
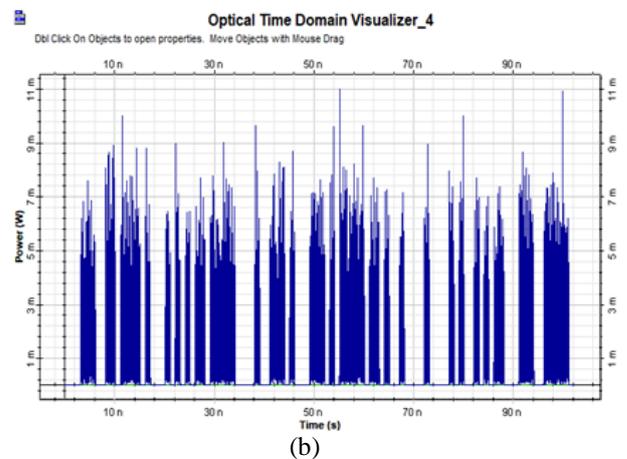
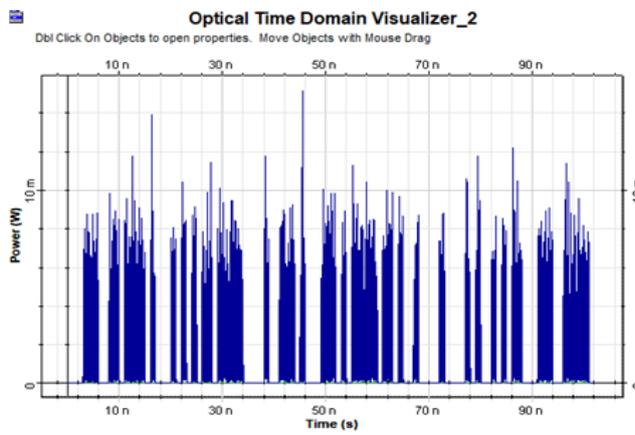


Figure III.7 : la configuration du générateur PRBS

## ➤ Débit binaire à la sortie des différents composants



## Simulations et interprétations des résultats

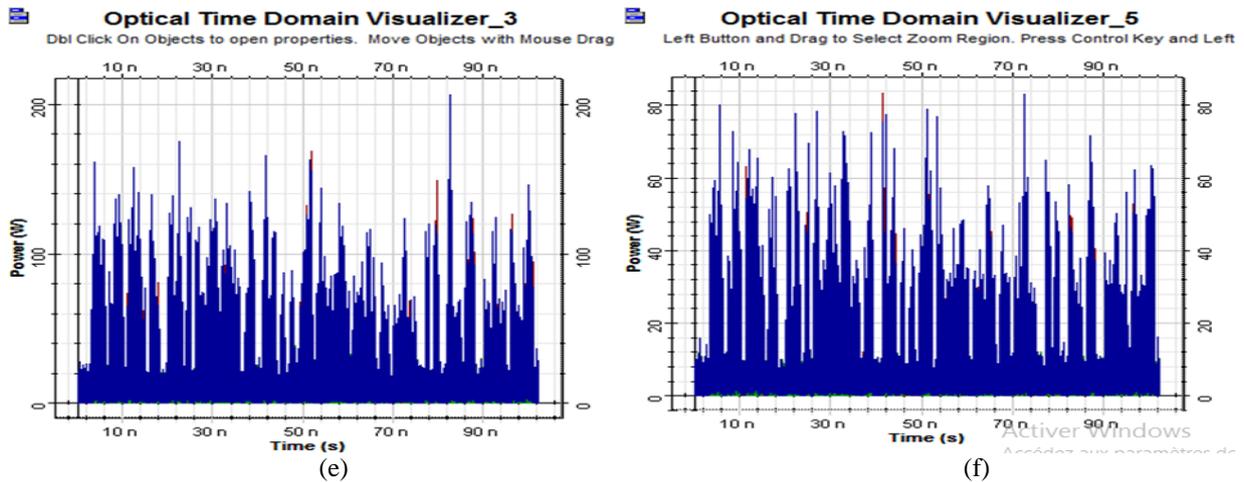


Figure III.8 débit binaire (a) Sortie du modulateur, (b) Sortie du réseau de Bragg  
(c) Sortie du multiplexeur, (d) Après propagation dans la fibre optique  
(e) Après le démultiplexeur, (f) Sortie du réseau de Bragg partie supérieure

La (figure III.8) représente les débits binaires des différentes sorties des composants utilisés lors de la simulation, dont les deux premières figures représentent le signal modulé avec la séquence de code figure III.8.a et après le passage dans le double réseau de Bragg figure III.8.b qui sont presque identiques. Par contre pour le cas du signal à la sortie du combineur figure III.8.c on observe une autre allure car c'est le signal de la combinaison des trois signaux émis par les trois usagers et après propagation dans la fibre optique de 60 km de longueur figure III.8.d, on remarque que les débits restent inchangés seulement il y a la présence de bruit introduites par la fibre optique et surtout les amplificateurs optiques. La figure III.8.e montre le débit binaire après passage du démultiplexeur. Le débit reste inchangé avec une amplitude maximum est de 247.89W. Après passage dans le réseau de Bragg partie supérieure figure III.8.f l'amplitude est diminué à 113.5 W est le débit ne présente aucune erreur.

### ➤ Spectre après modulation optique

La figure III.9 montre le spectre optique du signal après modulation optique. La modulation utilisée est de type Mach-Zehnder pour un rapport d'extinction est de 30 dB avec une puissance max de -42.0707 dBm et une puissance min de -76.514 dBm, la longueur d'onde  $\lambda = 1550.04$  nm.

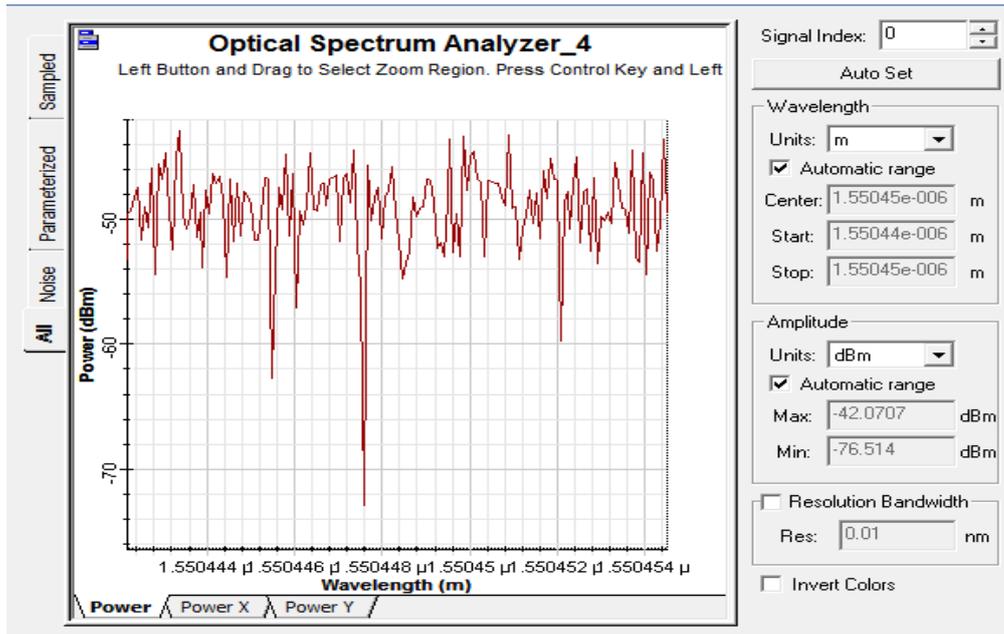


Figure III.9 : Spectre optique au niveau du modulateur Mach-Zehnder

### ➤ Spectre après le passage dans le double réseau de Bragg

La (figure III.10) montre le spectre optique au niveau de l'émetteur après le passage dans le double réseau de Bragg. On remarque la réflexion des deux longueurs d'ondes  $\lambda_1 = 1550,20 \text{ nm}$  ;  $\lambda_2 = 1552,6 \text{ nm}$ .

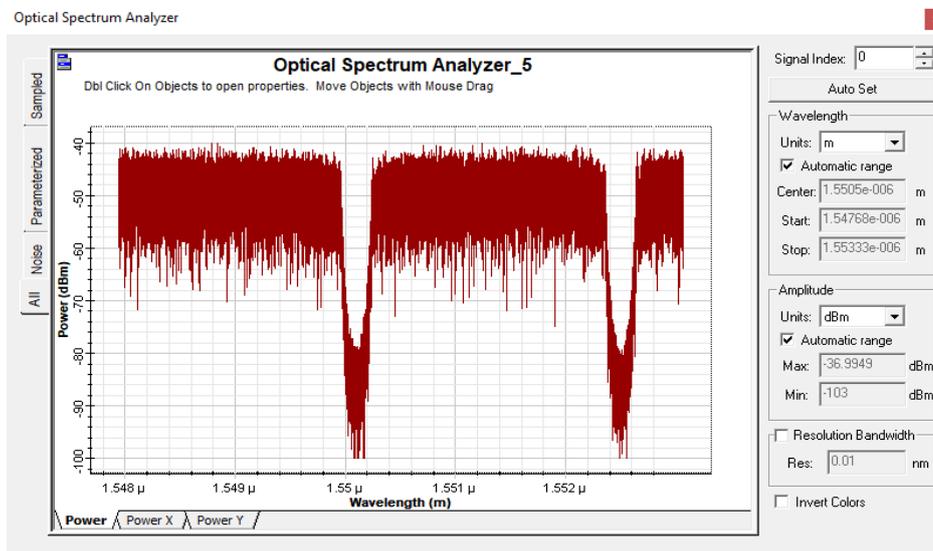


Figure III.10: Spectre optique après le passage dans le deuxième réseau de Bragg

### ➤ Spectre au niveau du multiplexeur

La (figure III.11) montre le multiplexage des 3 signaux optiques (user 1 ; user 2 ; user 3), en un seul signal composite, à l'aide d'un multiplexeur optique pour être ensuite transmis dans une fibre optique, et on remarque une réflexion à  $\lambda = 1550,57 \text{ nm}$ .

L'amplitude maximum est de  $-38,1938 \text{ dBm}$  et l'amplitude min est de  $-102,943 \text{ dBm}$

# Simulations et interprétations des résultats

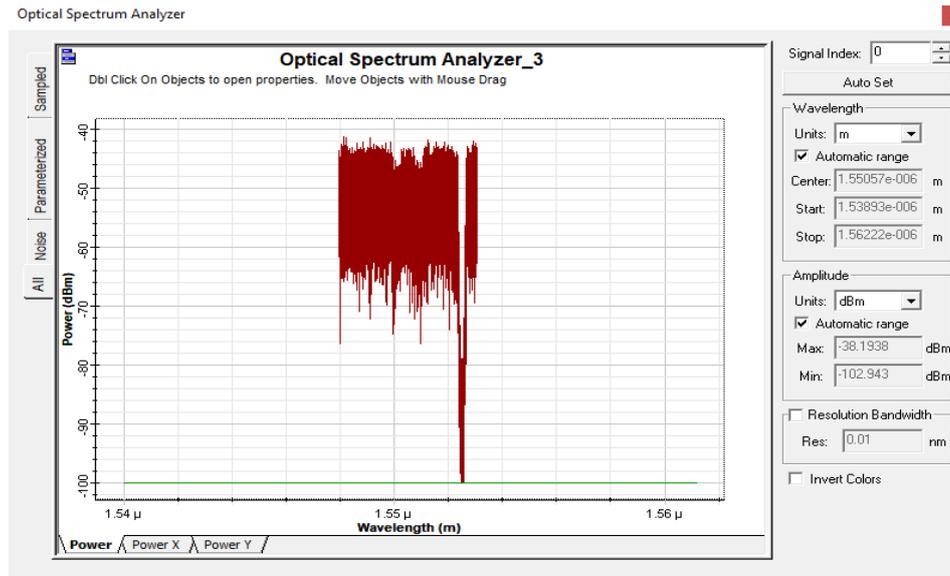


Figure III.11 : Spectre optique après le multiplexage

## ➤ Spectre après propagation dans la fibre optique

La (figure III.12) montre le spectre après le passage dans 3 tronçons de fibre, de longueur totale  $L=60$  Km, on remarque que la puissance du signal augmente (12.2 dBm à  $\lambda =1550.85$  nm) bien qu'il existe des influences externes sur la fibre, cela est dû aux effets des amplificateurs optiques.

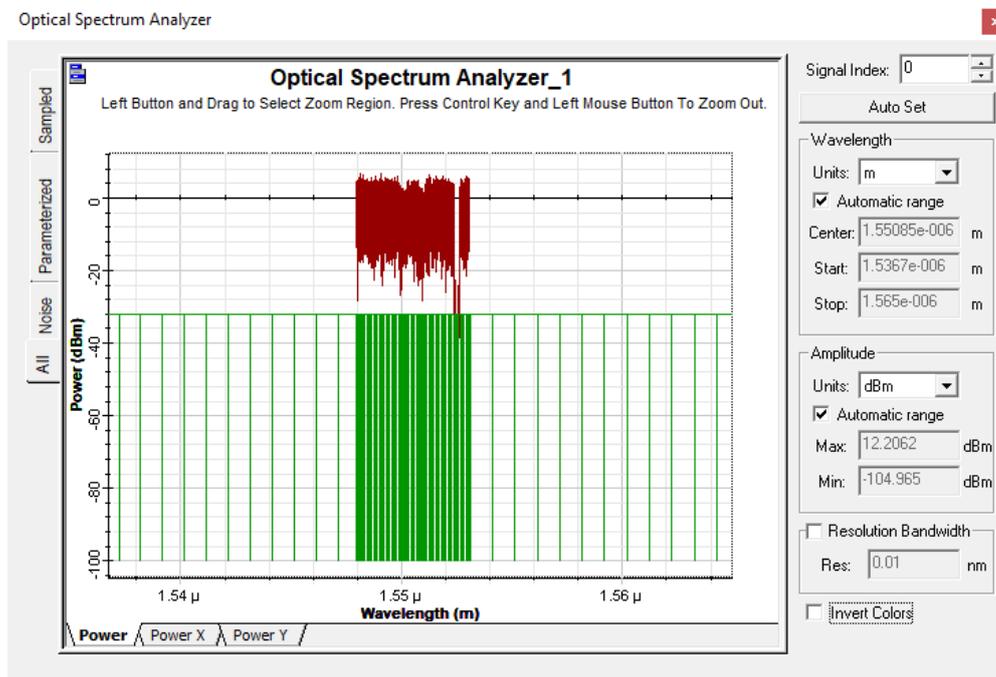


Figure III.12 : Spectre optique après propagation dans la fibre optique

Le signal en vert représente le bruit introduit par les amplificateurs optiques. Un filtrage optique est nécessaire au niveau du récepteur.

## Simulations et interprétations des résultats

### ➤ Spectre optique après le démultiplexage

La (Figure III.13) montre le spectre après le démultiplexage, on remarque bien la réflexion de la longueur d'onde  $\lambda = 1552,5$  nm qui a correspondant la longueur de deuxième réseau de Bragg pour User 1 à l'émission.

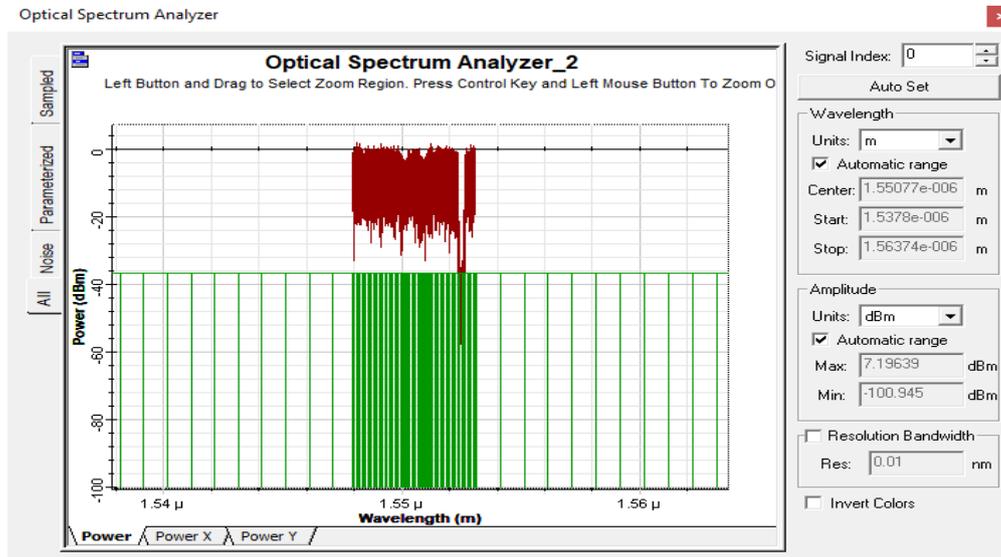
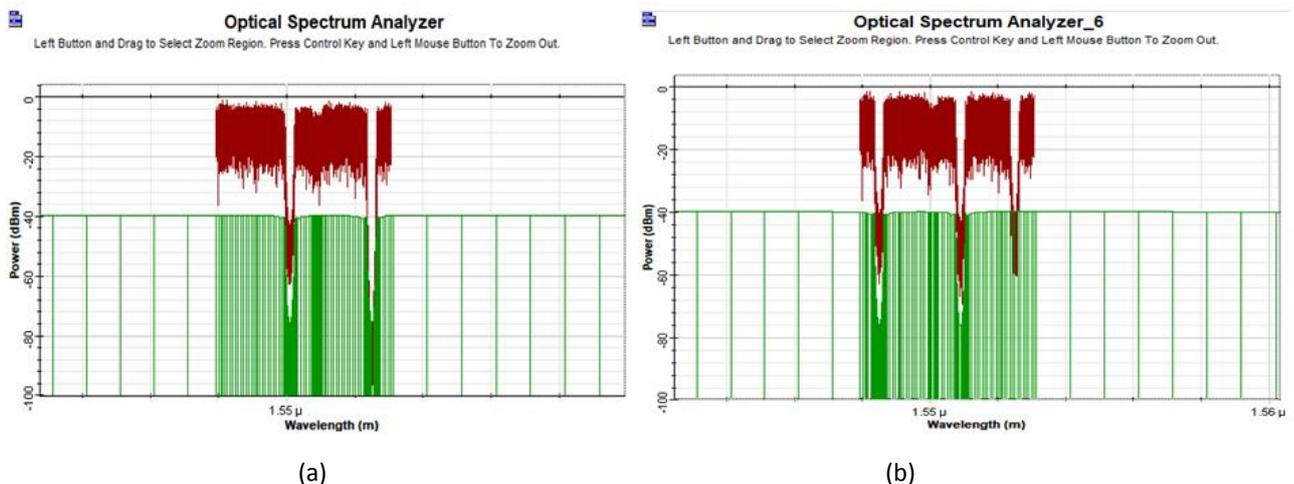


Figure III.13 : Spectre optique après le démultiplexage

### ➤ Spectre après le passage dans le réseau de Bragg la partie supérieure et inférieure

La (figure III.14) montre le spectre optique après le passage dans le réseau de Bragg partie supérieure figure III.14.a, on remarque la réflexion de deux onde  $\lambda_1 = 1550,1$  nm et  $\lambda_2 = 1552,5$  nm, la partie inférieure figure III.14.b, on remarque la réflexion de deux onde  $\lambda_1 = 1548,5$  nm et  $\lambda_2 = 1550,9$  nm et une troisième onde  $\lambda_3 = 1552,5$  nm qui a correspondant a la longueur d'onde de deuxième réseau de Bragg pour user 1 a la partie émission.



(a) (b)  
Figure III.14 : Spectre optique après le passage dans le réseau de Bragg  
(a) la partie supérieure (b) la partie inférieure

## ➤ Diagramme de l'œil

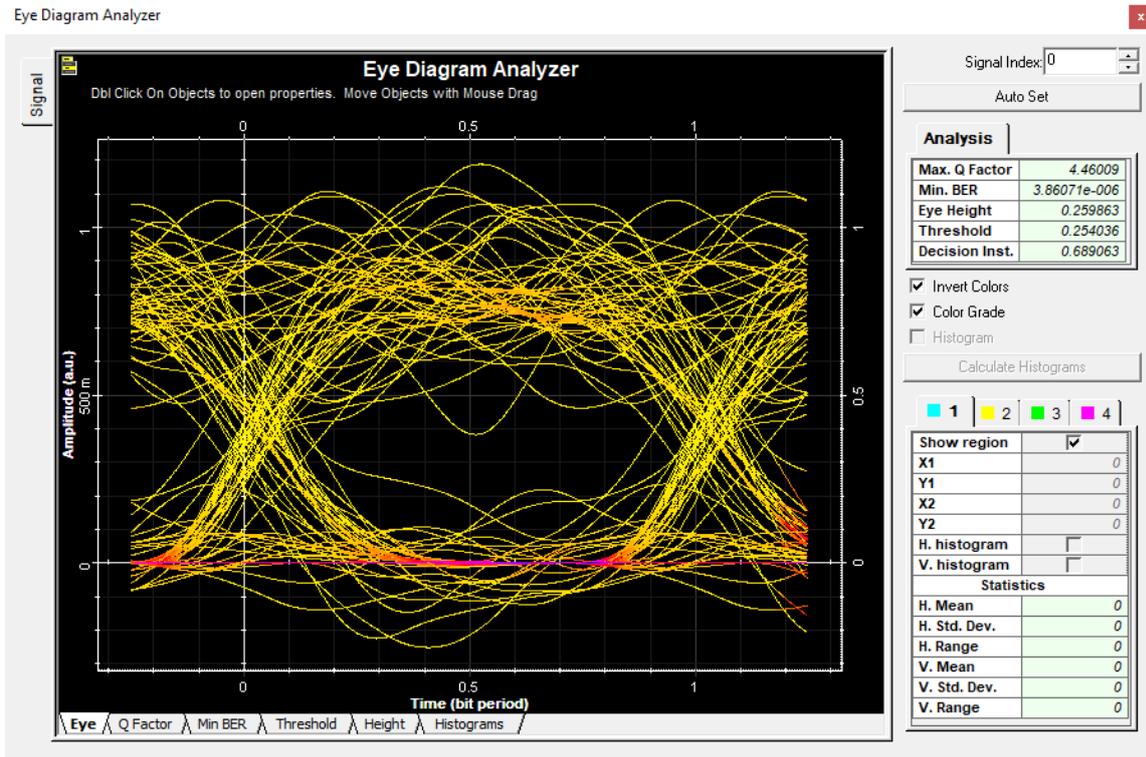


Figure III.15 diagramme de l'œil

La (figure III.15) représente le diagramme de l'œil ou bien la superposition synchrone de tous les symboles binaires de la séquence transmise. On remarque une ouverture pas assez mal dans le diagramme avec un facteur de qualité  $Q=4.46$  qui reste un facteur optimal et un  $BER=3.86 \cdot 10^{-6}$ , donc le débit de 1 Gbit/s permet de transmettre le maximum de données dans notre système.

## ➤ Spectre électrique

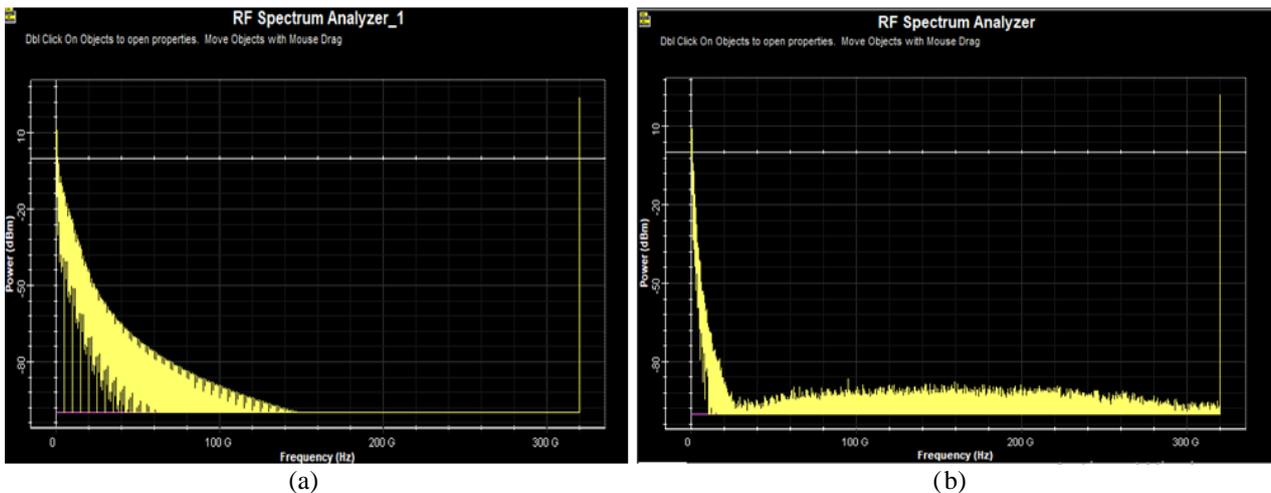


Figure III.16 Spectre électrique (a) au niveau de l'émetteur (b) au niveau du récepteur

## Simulations et interprétations des résultats

La figure III.16.a elle représente le spectre électrique au niveau du codeur NRZ. Figure III.16.a est le spectre électrique au niveau du récepteur. La simulation montre que le spectre est étalé jusqu'à 300 GHz.

### ➤ Affichage elliptique du signal échantillonné

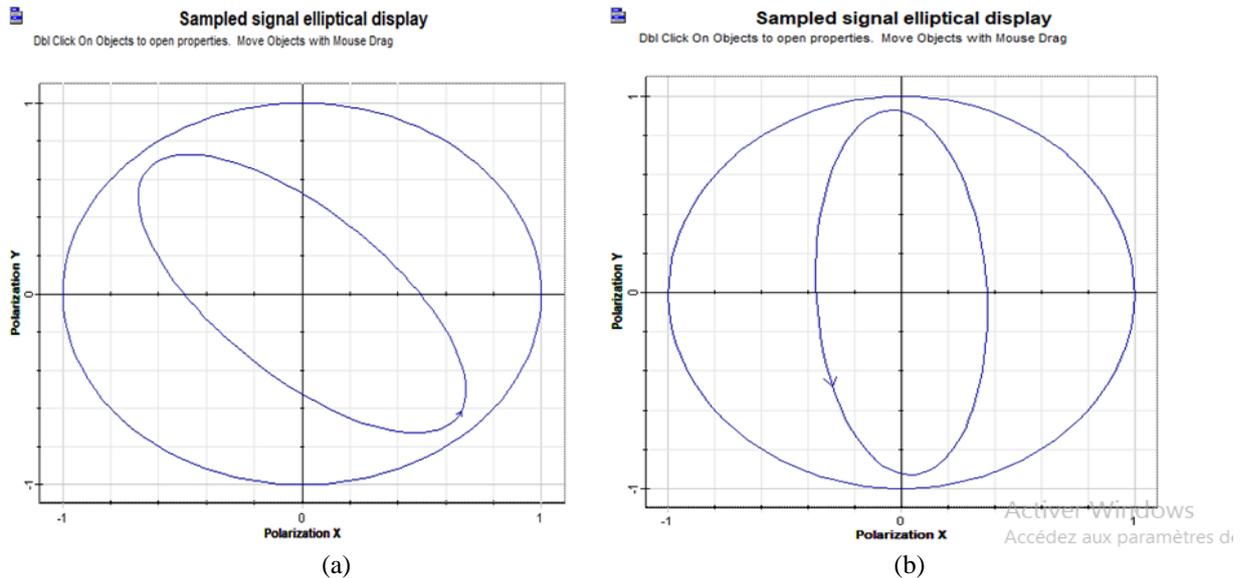


Figure III.17 affichage elliptique du signal échantillonné  
(a) au niveau du multiplexeur (b) après propagation dans la fibre optique.

La (figure III.17) représente l'affichage elliptique du signal échantillonner au niveau du multiplexeur figure III.17.a et l'affichage elliptique du signal échantillonner après propagation dans la fibre optique figure III.17.b. Ces deux représentations montrent que le signal présente une certaine polarisation qui qualifié par la biréfringence dans la fibre optique. Pour remédier ce genre de problème on doit insérer un contrôle de polarisation après la propagation dans la fibre optique. Cet effet de la dispersion de mode de polarisation (PMD) est très gênant pour le haut débit. Dans notre travail on a omis tous ces effets non linéaires à cause de leur complexité à mise en œuvre.

## V. Conclusion

Dans notre travail, nous avons mis au point un système OCDMA pour 3 usagers, nous avons prévisualisé chacun des signaux et des spectres en plusieurs points de la chaine. En outre, il s'est avéré que les performances du système sont limitées par plusieurs paramètres, à savoir la dispersion et l'atténuation dans la fibre, le débit binaire et la bande passante des FBGs.

## Conclusion générale

---

L'évolution des communications optiques a permis aux réseaux de télécommunications d'atteindre un niveau de performances extraordinaires et a ouvert les portes devant l'apparition de nouvelles disciplines qui visent l'amélioration de l'existant et la création de nouveaux dispositifs pour la transmission et le traitement du signal optique.

Dans un premier temps, on a fait une étude complète d'une chaîne de transmission optique, en détaillons en premier lieu la partie émission qui contient les sources optiques large spectre et spectre réduit (LEDs et les Lasers), les deux types de modulation interne et externe (modulation de Mach-Zehnder) par la suite on a entamé la partie du support de transmission qui est la fibre optique on citant la dispersion et l'atténuations, qui sont des phénomènes majeurs pour la transmission en général. Puis nous avons défini les méthodes d'inscription sur les réseaux de Bragg, les types de réseaux de Bragg droit à pas courts et les applications des réseaux de Bragg dans le domaine de télécommunications (Filtrage et multiplexage, filtre optique, amplificateur optique et compensateur de la dispersion chromatique). À la fin, nous avons vu comment les impulsions lumineuses sont interceptées et converties grâce au photodétecteur et un circuit de décision pour assurer au récepteur une qualité d'information parfaite.

En deuxième partie, nous avons entamé la technique OCDMA qui est la base de notre travail. En premier lieu, nous avons donné un aperçu sur le CDMA en radiofréquence qui est la plateforme du CDMA optique puis le principe d'étalement de spectre, ces deux différents techniques (saut de fréquence FHSS et séquence direct DS). Deuxièmement; on a met une description sur OCDMA en citant ces différentes approches ; cohérent et incohérent, ces catégories temporel (DS-OCDMA) et spectrale (SPE- OCDMA, SAC-OCDMA), et nous avons approfondie la technique d'encodage spectrale d'amplitude du système OCDMA, ces différentes techniques de codage (par masque d'amplitude, en utilisant un réseau AWG, des réseaux de Bragg, des démultiplexeurs/ multiplexeurs), Nous avons étudié aussi les différents bruits (thermique, de grenaille, d'intensité), quelques codes optiques adaptés au système SAC-OCDMA (Cyclic Shift, Multi-Services, d'intercorrélation nulle ZCC) avec leurs constructions et leurs avantages.

## Conclusion générale

---

Puis, Nous avons analysé les performances du système OCDMA en termes de débit binaire, en mettant au point ce système à base de fibre à réseau de Bragg à l'aide du logiciel OptiSystem avec 3 usagers, les résultats obtenus ont montré des limitations dans les performances du notre système OCDMA en ce qui concerne l'augmentation du débit binaire car pour transmettre un maximum de données dans notre système il faut : prendre en considération les effets non linéaires au niveau de la fibre optique, le bon choix de la photodiode, les paramètres au niveau du modulateur Mach-Zehnder, la source laser.

Le réseau OCDMA comprend les principaux éléments : le codeur, le décodeur, les types de codes et la nature des codes. Les systèmes de communication optique font généralement appel à des codes unipolaires car la puissance optique est indispensable pour transmettre l'information.

Nous avons étudié l'effet de l'augmentation du débit binaire en démontrant que le déploiement des amplificateurs et des compensateurs de dispersion joue un rôle important dans l'augmentation de la distance de transmission tout en préservant une bonne qualité de signal. Le choix de la famille de code et du nombre d'utilisateurs dans le réseau est un autre paramètre qu'il faut prendre en considération, car le bon choix d'une permutation de code améliore les performances du système face au bruit d'intensité et d'interférences du codage.

Enfin, les systèmes OCDMA imposent un choix judicieux des codes unipolaires, et une recherche des filtres optiques les plus performants pour la conception des encodeurs\décodeurs et des méthodes de détections.