



**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**



**Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued**

Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Télécommunication

Spécialité : Systèmes de Télécommunication

Thème

***Analyse des performances des systèmes de communications optiques
multiplexés employant des micro-résonateurs en anneau cascades***

Réalisé par :

SAOUD Abderrezzak

GADI Abdelkader

REDOUANI Mohammed

Soutenu en juin 2021 devant le jury composé de :

Mr. LEKHDER Nesreddine

Mr. GHENDIR Said

Mr. Abdelkader Medjouri

MCA

MCA

Président

Examineur

Rapporteur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection.

A mes très chers frères, source de bonheur.

A toute ma famille, source d'espoir et de motivation.

A ma petite famille, source d'heureux.

*A tous mes amis, tout particulièrement Abderrezzak et Mohammed, chers amis
avant d'être trinôme.*

A vous cher lecteur.

GADI Abdelkader

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

A la mémoire de mon profond père.

A ma chère mère.

A mes très chers frères.

A ma chère famille, Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A tous mes amis, tout particulièrement Abdelkader et Mohammed, chers amis.

A ceux qui ont eu un bel impact dans ma vie.

SAOUD Abderrezzak

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

A la mémoire de mon profond père.

A ma chère mère.

A mes très chers frères.

A ma chère famille, Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A tous mes amis, tout particulièrement Abdelkader et Abderrezzak, chers amis.

A tous mes collègue de travail.

REDOUANI Mohammed

Remerciement

Nous remercions tout d'abord Dieu le Tout Puissant qui nous a donné la force, le courage et la foi pour réaliser ce travail de recherche.

*Nous adressons aussi nos chaleureux remerciement à notre encadreur Monsieur **DR : MEDJOURI ABDELKADER** pour cette orientation et ces suggestions durant la réalisation de ce travail.*

MERCI ! On tient aussi à remercier tous les membres de jury qui ont accepté d'évaluer et de juger le présent travail.

Nous remercions également tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

L'évolution de la transmission des données par fibre optique s'est accélérée depuis l'apparition de la technique de multiplexage en longueurs d'ondes (WDM), qui permet d'atteindre des débits binaires de quelques Tbit/s transportés sur une seule et unique fibre. Comme tout système de communications, une liaison à fibre optiques est constituée d'un émetteur, une fibre (canal) et d'un récepteur. L'optimisation de la qualité de transmission est réalisée via un bon choix des composantes dans chaque partie de la liaison. Dans ce cadre, on s'intéresse à l'étude et l'analyse des performances des systèmes de communications optiques multiplexés. Ce projet porte, particulièrement, sur l'analyse des performances des systèmes de communications optiques multiplexés employant des micro-résonateurs en anneau cascades.

Mots clés

Systèmes de communication optiques, technique de multiplexage, micro-résonateur, fibre optique.

Abstract

The evolution of data transmission by optical fiber has accelerated since the appearance of the wavelength division multiplexing (WDM) technique, which makes it possible to achieve bit rates of a few Tbit / s transported on a single and single fiber. Like any communications system, a fiber optic link consists of a transmitter, a fiber (channel) and a receiver. The optimization of the transmission quality is achieved through a good choice of components in each part of the link. In this context, we are interested in the study and analysis of the performance of multiplexed optical communications systems. This project focuses in particular on the performance analysis of multiplexed optical communications systems employing cascaded ring micro-resonators.

Keywords

Optical communication systems, multiplexing technique, micro-resonator, optical fiber.

ملخص

تسارع تطور نقل البيانات بواسطة الألياف الضوئية منذ ظهور تقنية تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي (WDM)، مما يجعل من الممكن تحقيق معدلات بنات قليلة من Tbit / s تُنقل على ليف واحد ومفرد. مثل أي نظام اتصالات، يتكون ارتباط الألياف الضوئية من جهاز إرسال وليف (قناة) وجهاز استقبال. يتم تحقيق تحسين جودة الإرسال من خلال اختيار جيد للمكونات في كل جزء من الارتباط. في هذا السياق، نحن مهتمون بدراسة وتحليل أداء أنظمة الاتصالات الضوئية متعددة الإرسال. يركز هذا المشروع بشكل خاص على تحليل أداء أنظمة الاتصالات الضوئية متعددة الإرسال التي تستخدم رنانات دقيقة متتالية.

كلمات مفتاحية

ليف بصري، أنظمة الاتصالات البصرية، تقنية تعدد الإرسال، الرنان الصغير

SOMMAIRE

Table des matières

DEDICACE.....	3
DEDICACE.....	4
DEDICACE.....	5
Remerciement	6
Résumé	7
Abstract	8
SOMMAIRE	9
Liste de figures.....	13
Liste de tableaux.....	14
TABLE DES ACRONYMS	15
Introduction général.....	17
Chapitre I.....	19
Généralités sur les systèmes de communications optiques	19
1. Introduction	20
2. Architecture d'un système optique de transmission point à point	20
2-1. Schéma principe d'un système de transmission.....	20
2-2. Les composantes de système	21
3. Les tronçons de fibres optiques	22
3-1. La fibre optique.....	22
3-1-1. Structure de la fibre optique.....	22
3-2. Propriétés	23
3-2-1. L'onde optique.....	23
3-2-2. L'indice de réfraction.....	23
3-2-3. Le rayon optique	23
3-3. Propagation dans la fibre	23
3-3-1. La réflexion.....	23
3-3-2. La réfraction.....	24

3-4. Classification des fibres optiques	25
3-4-1. Fibres à saut d'indice (SI).....	25
3-4-1-1. Les fibres monomodes.....	26
3-4-1-2. Les fibres multimodes	26
3-4-2. Fibres à gradient d'indice (GI).....	26
3-5. Les effets de propagation optique	27
3-5-1. L'effet linéaire.....	27
3-5-1-1. Définition.....	27
3-5-1-2. L'atténuation de la fibre (perte).....	27
3-5-1-3. La dispersion chromatique.....	28
3-5-1-4. La dispersion modale de polarisation	28
3-5-2. L'effet non linéaire.....	28
3-5-2-1. Définition.....	28
3-5-2-2. L'effet Kerr.....	28
3-5-2-3. Les effets Raman et Brillouin.....	29
4. Conclusion.....	30
Chapitre II.....	31
Les réseaux optiques et techniques de multiplexage	31
1. Introduction	32
2. Réseaux sur fibres optiques	32
2-1. Structure des réseaux	32
2-2. Les types des réseaux.....	33
2-2-1. Le réseau longue distance (WAN).....	33
2-2-2. Le réseau métropolitain (MAN).....	34
2-2-3. Le réseau local (LAN)	35
4. Technique de multiplexage optique	36
4-1. Le multiplexage temporel optique (OTDM).....	36
4-2. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)	38
4-2-1. Principe.....	38

4-2-2. Description.....	38
4-3. Accès Multiple par Répartition de Code en Optique (OCDMA)	40
4-4. SCM (Sub Carrier division Multiplexing)	41
5. Conclusion.....	41
Chapitre III.....	42
Résultats de simulation et discussion.....	42
1. Introduction	43
2. Structure de micro-résonateur	43
3. Principe de fonctionnement.....	44
3-1. Couplage de micro-résonateur	45
4. Applications	45
5. Résultats de simulation	45
5-1. Présentation du système.....	45
* Description des composants de système	46
PRBS Generator	46
NRZ Pulse generator	46
CWL.....	46
OSC (Oscilloscope).....	46
OSA (Optical Spectrum analyser).....	46
PIN (Photodetector) :	46
LPF (LP Bessel filter)	46
EYE (Eye Diagram)	46
5-2. Cas d'une seul porteuse	46
5-3. Cas de deux porteuses	48
5-4. Cas de 04 porteuses.....	51
5-5. Cas de 08-1 porteuses	54
5-6. Cas de 08-2 porteuses	59
5-7. Cas de 08-3 porteuses	61

6. Conclusion	64
Conclusion générale	66
Annexe	67
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE	70
Résumé	72
Abstract	72

Liste de figures

Figure I- 1. Liaison point à point sur fibre optique.....	19
Figure I-2 : Schéma principe d'un système de transmission optique à une seule longueur d'onde.....	20
Figure I- 3 : Représentation schématique d'une fibre optique.....	22
Figure I- 4 : Propagation des rayons contenus dans le cône d'acceptance.....	23
Figure I- 5 : le phénomène de réfraction.....	24
Figure I-6 : Distribution radiale d'indice de réfraction dans une fibre.....	24
Figure I-7 : Distribution radiale d'indice de réfraction dans une fibre à G-I.....	25
Figure I- 8 : Propagation de la lumière dans les trois types de fibres optiques.....	26
Figure II-1 : Architecture typique du réseau de télécommunications.....	32
Figure II-2 : Réseau métropolitain structurant et réseau métropolitain d'accès.....	33
Figure II-3 : Le réseau local.....	34
Figure II-4 : Synoptique d'un multiplexage OTDM.....	36
Figure II-5 : Réseau local à répartition temporelle.....	36
Figure II-6 : Modèle d'une liaison WDM.....	37
Figure II-7 : Schéma de principe du multiplexage WDM dans les communications par fibre optique (avec 3 longueurs d'ondes).....	37
Figure II-8 : Exemple d'allocation en longueur d'onde pour le DWDM.....	38
Figure II-9 : Exemple d'allocations en longueur d'onde pour le CWDM.....	39
Figure III-1 : Représentation schématique d'un micro-résonateur.....	42
Figure III- 2 : image d'un micro-résonateur.....	43
Figure III- 3 : Principe de fonctionnement d'un micro-résonateur.....	43
Figure III- 4 : Principe de couplage.....	44
Figure III-5 : Schéma de système d'une seule porteuse.....	47
Figure III-6 : diagramme d'œil d'une seule porteuse.....	47
Figure III-7 : spectre d'amplitude par rapport à la fréquence.....	47
Figure III- 8 : variation d'amplitude avec le temps.....	48
Figure III-9 : Schéma de système de deux porteuses.....	49
Figure III-10 : diagramme d'œil de la première porteuse (a) et la deuxième (b).....	50
Figure III-11 : spectre d'amplitude à partir la fréquence de deux porteuses.....	50
Figure III-12 : Schéma de système de 04 porteuses.....	51
Figure III-13 : diagramme d'œil de 04 porteuses (a, b, c, d).....	52

<i>Figure III-14 : Spectre d'amplitude des signaux en fonction de fréquence de 04 porteuses.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure III-15 : Schéma de système de 08-1 porteuses.....</i>	<i>55</i>
<i>Figure III-16 : diagramme d'œil de 08 porteuses (a, b, c, d, e, f, g, h).....</i>	<i>56-57</i>
<i>Figure III-17 : spectre de 08-1 porteuses.....</i>	<i>57-58</i>
<i>Figure III-18 : Schéma de système de 08-2 porteuses.....</i>	<i>59</i>
<i>Figure III-19 : diagramme d'œil de 08-2 porteuses.....</i>	<i>60-61</i>
<i>Figure III-20 : spectre d'amplitude de 08-2 porteuses.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure III-21 : Schéma de système de 08-3 porteuses.....</i>	<i>62</i>
<i>Figure III-22 : diagramme d'œil de 08-3 porteuses.....</i>	<i>62-63</i>
<i>Figure III-23 : spectre d'amplitude de 08-3 porteuses.....</i>	<i>64</i>

Liste de tableaux

<i>Tableau I-1 : Résumé des réseaux.....</i>	<i>30</i>
--	-----------

TABLE DES ACRONYMS

<i>Acronyms</i>	<i>Signification Anglo-Saxons</i>	<i>Signification française</i>
MHz	Megahertz	Mégahertz
Thz	Tera hertz	Téra hertz
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	Amplificateur à fibre dopée à l'erbium
FEC	Forward Error Correction	Correction d'erreur directe
GI	index gradient	gradient d'indice
SI		saut d'indice
PMD	Polarization Mode Dispersion	Dispersion en mode de polarisation
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	Ligne d'abonné numérique asymétrique
FTTH/FTTO	Fiber To The Home / Fiber To The Office	Fibre à la maison / Fibre au bureau
FTTB	Fiber To The Building	Fibre jusqu'au bâtiment
FTTC/FTTCab	Fiber To The Curb / Fiber To The Cabinet	Fibre à la bordure / Fibre à l'armoire
MRs	micro-resonators	les micro-résonateurs
NRZ	no return to zero.	non-retour à zéro.
TDM	Time division multiplexing	Multiplexage temporel
WDM	Wavelength division multiplexing	Multiplexage par division de longueur d'onde
RF	radio frequency	radiofréquence

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction général

Le développement des moyens de télécommunications a toujours été un souci majeur pour l'homme. En effet, l'évolution sociale et économique de notre société est intrinsèquement liée à l'amélioration des dispositifs permettant d'échanger des informations.

Dans le sens large de l'expression, les communications optiques ont été utilisées depuis l'antiquité. La plupart des civilisations humaines ont utilisé les miroirs, des balises de feu et signaux de fumée pour transmettre des courts messages (victoire dans une guerre, par exemple). C'est, pratiquement, la même idée derrière l'utilisation des lampes ou les drapeaux, vers la fin de 18ème siècle. En 1792, les frères Chappe ont proposé de transmettre des informations, codées mécaniquement, sur des longues distances (100 km environ). Le sémaphore est un moyen de communication optique. Il devait exister des relais placés les uns après les autres, chacun étant dans le champ de vision du précédent et du suivant. Un message était constitué de plusieurs symboles et traduits par des formes prises par une structure mobile. Le système ne pouvait être utilisé que de jour.

L'ère des communications sur fibres optiques a été commencée depuis l'an 1975. Pendant 25 ans du développement (jusqu'à 2000), beaucoup de développements ont vu la lumière.

Les communications optiques est une méthode de transmission d'informations d'un endroit à un autre en envoyant des impulsions de lumière à travers une fibre optique. La bande passante potentielle des systèmes de communication optique est la force motrice derrière le développement et le déploiement mondial du système d'ondes lumineuses. La première étape de la conception d'un système de communication optique consiste à décider comment le signal électrique serait converti en un train de bits optiques. Normalement, la sortie d'une source optique telle qu'un laser à semi-conducteur est modulée en appliquant le signal électrique directement à la source optique ou à un modulateur externe.

Les flux d'informations sont combinés dans un signal unique à l'aide d'un multiplexeur..

Par définition, le multiplexage est un système de communication. C'est une technique qui permet de transmettre plusieurs informations en même temps via un support de transmission unique.

Notre sujet concerne l'étude des systèmes de communications optiques multiplexés.

Dans le premier chapitre, on a représenté une introduction sur les systèmes de communications optiques dans laquelle nous avons parlé sur l'architecture et les propriétés de la fibre optique ainsi les effets de propagations.

Dans le deuxième chapitre, on va détailler les différents types des réseaux de télécommunication par fibre optique et les techniques de multiplexage de données.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons le micro-résonateur, ses caractéristiques et son principe de fonctionnement. En plus de cela, nous re-simulerons en fonction des données de localisation pour connaître l'efficacité du micro-résonateur.

Finalement, on termine avec une conclusion générale et d'éventuelles améliorations.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes

de communications

optiques

1. Introduction

Un système de communication a pour objectif de transmettre des informations entre deux points séparés par une distance pouvant être quelques kilomètres ou même transocéaniques. Les informations (d'origine électrique) modulent, souvent, une porteuse électromagnétique ayant une fréquence allant de quelques mégahertz (1 MHz = 10^6 Hz) jusqu'à des dizaines de Téra hertz (1 Thz = 10^{12} Hz). Un système de communication optique emploie des porteuses de très haute fréquence correspondante aux bandes visible et infrarouge du spectre électromagnétique [1]. Dans le contexte de ce chapitre, on s'intéresse généralement aux systèmes de communication sur fibre optique.

2. Architecture d'un système optique de transmission point à point

Les systèmes de transmission optique point à point constituent l'ossature des réseaux optiques. Leur conception relève des principes généraux d'ingénierie de transmission. Des petites variations sont à apporter afin de prendre en compte les caractéristiques particulières de la fibre optique. [9]

2-1. Schéma principe d'un système de transmission

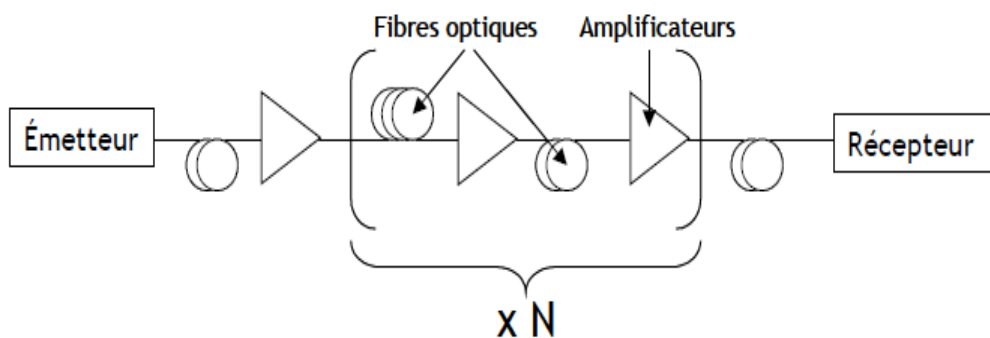


Figure I- 1. Liaison point à point sur fibre optique [5].

2-2. Les composantes de système

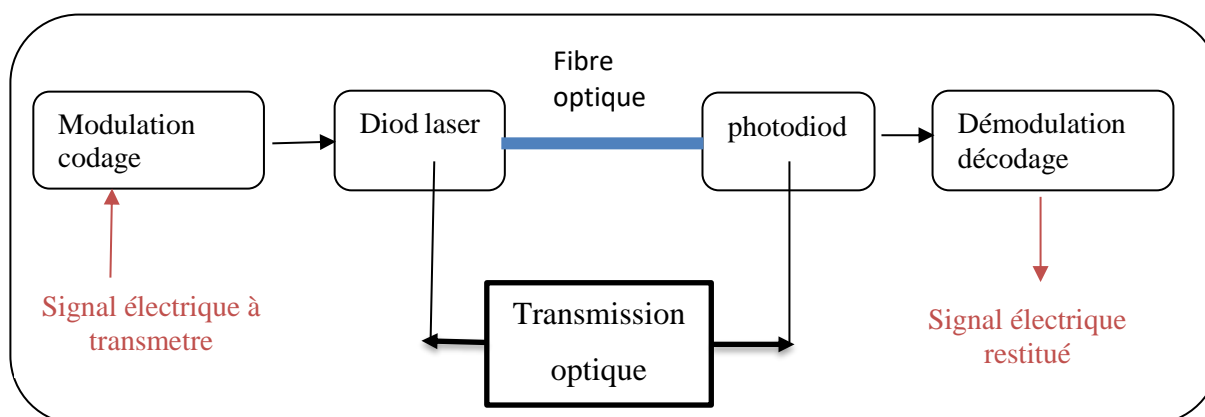


Figure I-2 : Schéma principe d'un système de transmission optique à une seule longueur d'onde [4.2].

Le bloc d'émission a pour rôle de convertir le signal électrique portant l'information en un signal optique. Pour ce faire, une diode laser génère un signal optique qui peut être modulé directement par modulation du courant à son entrée (cas du DML), ou de manière externe en utilisant des modulateurs à sa sortie (cas de la modulation externe).

Le signal est ensuite injecté dans la ligne de transmission qui est composée d'une succession de fibres optiques suivies d'amplificateurs optiques EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) afin de transmettre des informations sur de longues distances. Dans le cas des systèmes d'accès, un seul tronçon de fibre sera employé, sans amplificateur.

Dans le bloc de réception, le signal optique est reçu, puis converti en un signal électrique par le biais d'une photodiode [3]. Ensuite, après filtrage, le signal électrique est séparé en deux voies : la première est utilisée à la récupération d'horloge, et la seconde au circuit de décision. Ce dernier compare l'amplitude du signal reçu avec un seuil à chaque instant de décision fourni par l'horloge. A la sortie du circuit de décision, le signal électrique est ainsi remis en forme et contient l'information reçue. Une correction éventuelle des erreurs est effectuée par les codes correcteurs d'erreurs (FEC, Forward Error Correction).

Les opérateurs demandent aux équipementiers de fournir un système de télécommunication présentant un taux d'erreur binaire environ inférieur à 10^{-12} suivant la norme de l'UIT (Union International des Télécommunication) [4.2].

a. L'émetteur

A pour fonction de transformer les données sous forme électronique en signal optique. L'émetteur comporte une source de lumière (typiquement une diode laser ou une LED) et éventuellement un modulateur. [9]

En plus, Afin de transmettre les données dans les systèmes optiques, il faut les mettre sous une forme adéquate. Pour cela, on doit réaliser une conversion des données électriques en données optiques. C'est ce que l'on appelle la modulation. La modulation est généralement une modulation d'intensité lumineuse interne (directe) ou une modulation externe. [2]

b. Canal de transmission

Qui véhicule les impulsions optiques entre les points de départ et d'arrivée. [9]

c. Le récepteur

Qui réalise la fonction inverse de celle de l'émetteur, c'est à dire transforme les signaux optiques en leur équivalent électronique afin de restituer les données de départ. Pour ce faire, des sous-systèmes de traitement du signal et de synchronisation sont nécessaires. [9]

Après propagation le long d'une série de tronçons de fibres optiques et d'amplificateurs, le signal arrive au niveau du récepteur [5]. Donc, il y a deux types de détection : directe et autres méthodes dites cohérentes (détecteurs hétérodyne et homodyne)

3. Les tronçons de fibres optiques

3-1. La fibre optique

Dans le domaine des télécommunications, la fibre optique peut être considérée comme un vecteur physique pouvant transporter, via un signal optique, des données numériques d'un point à un autre de la planète [5.2].

3-1-1. Structure de la fibre optique

Une fibre optique est un guide d'onde diélectrique cylindrique qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Comme illustrée à la figure 3, elle est constituée de plusieurs couches concentriques d'axe de symétrie z qui sont [5] :

- Un diélectrique interne : le cœur d'indice de réfraction n_1 .
- Un diélectrique externe : la gaine d'indice de réfraction n_2 légèrement inférieure à celui du cœur.

- Couche protectrice : permet le contact de la fibre avec des supports sans perturber le fonctionnement de la partie optique. Généralement en plastique, le tube n'intervient pas dans la transmission de la lumière. Il assure la protection mécanique de la fibre ; il sert à la flexibilité de la fibre et facilite sa manipulation [2].

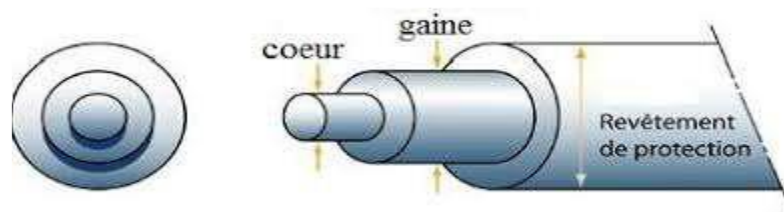


Figure I- 3 : Représentation schématique d'une fibre optique [5.2].

3-2. Propriétés

3-2-1. L'onde optique

C'est une onde électromagnétique qui se propage dans la fibre caractérisé par :

- Un champ électrique E.
- Un champ magnétique H.
- Une direction de propagation [2].

3-2-2. L'indice de réfraction

Un milieu de propagation quelconque est caractérisé par un indice de réfraction [2].

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (1)$$

ϵ_r : la permittivité relative de milieu.

μ_r : la perméabilité relative de milieu.

Il conditionne le chemin parcouru par le signal dans la fibre optique et est obtenu en divisant la vitesse de la lumière dans le vide, c ($c= 3.10^8$ m/s), par la vitesse de cette même onde v dans le matériau. [2]

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

3-2-3. Le rayon optique

C'est la trajectoire de l'onde électromagnétique correspondant à la direction du vecteur d'onde. [2]

3-3. Propagation dans la fibre

3-3-1. La réflexion

La propagation des rayons optiques se fait par la réflexion successive sur l'interface cœur-gaine

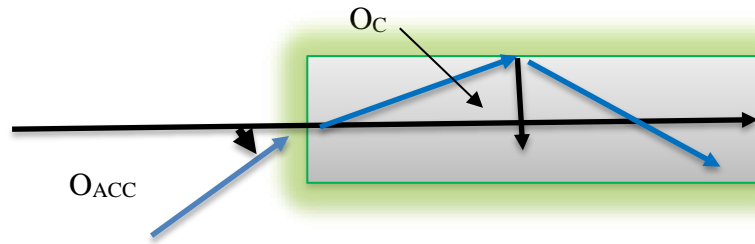


Figure I- 4 : Propagation des rayons contenus dans le cône d'acceptance [5].

Pour que les rayons injectés dans la fibre soit totalement réfléchis par l'interface cœur-gaine, il est nécessaire que l'angle d'incidence soit supérieur à l'angle critique, cette condition impose l'existence à l'entrée de la fibre d'un cône d'acceptante, à l'intérieur du quel tout rayon injecté se propage par réflexion totale :

$$\theta_{acc} = \sqrt{(n_1)^2 + (n_2)^2} \quad (3)$$

• **Ouverture numérique** : c'est un paramètre important qui nous renseigne sur la capacité qu'a une fibre pour propager les rayons optiques [2].

$$ON = \sin(\theta_{acc}) \quad (4)$$

θ_{acc} : angle d'acceptance [2].

3-3-2. La réfraction

La figure I-5 illustre un autre phénomène optique : La réfraction. Elle agit lors du passage d'un rayon lumineux incident d'un milieu 1, par exemple de l'air, vers un milieu 2 différent, par exemple de l'eau. Ce rayon incident va subir une déviation lors de la traversée dans le second milieu. L'angle de réfraction « r » du rayon réfracté sera différent de l'angle d'incidence « i » par rapport à l'axe d'incidence déjà défini ci-dessus. Les relations mathématiques qui en résultent sont indiquées à côté de la figure. Dans notre exemple, le milieu 2 est plus réfringent que le milieu 1. Son indice de réfraction n_2 est plus grand que l'indice de réfraction du milieu 1 n_1 [10].

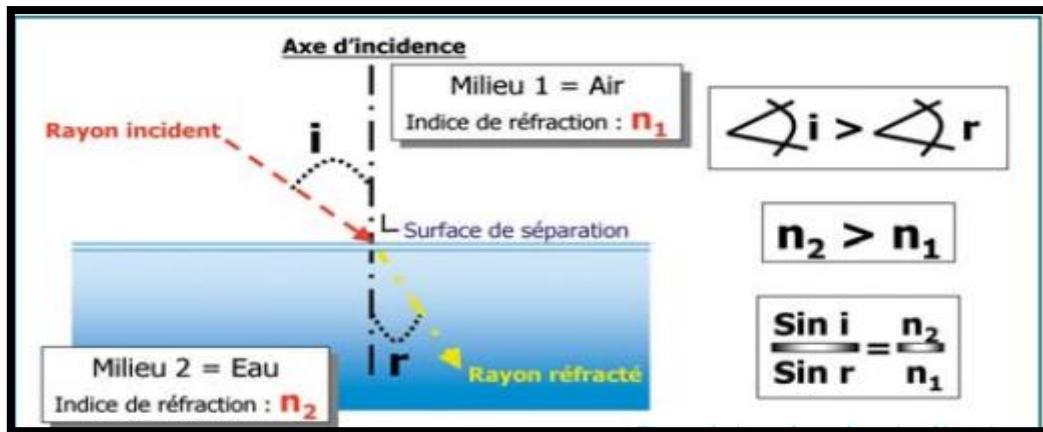


Figure I-5 : le phénomène de réfraction [10].

3-4. Classification des fibres optiques

En fonction de distribution radiale d'indice de réfraction du cœur, nous pouvons classer les fibres en deux catégories [6] :

3-4-1. Fibres à saut d'indice (SI)

Dans ce type de fibres, le cœur est homogène son indice de réfraction est donné par :

$$n = \begin{cases} n_1 & \text{si } r < a \\ n_2 & \text{si } r > a \end{cases} \quad (5)$$

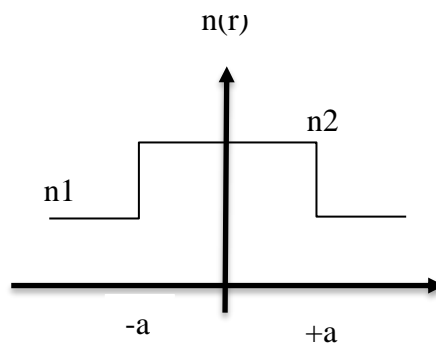


Figure I-6 : Distribution radiale d'indice de réfraction dans une fibre [6].

Pour une fibre à SI, le nombre de modes qui se propagent dépend du rapport entre le rayon du cœur et la longueur d'onde de fonctionnement, nous pouvons donc classer ce genre de fibres en deux types :

3-4-1-1. Les fibres monomodes

Ce sont des fibres dans lesquelles ne se propage que le mode fondamentale, ce type est très intéressant du point de vue de la dispersion et de la bande passante [2].

3-4-1-2. Les fibres multimodes

Dans ce type chaque mode de propagation correspond un rayon optique qui possède sa propre trajectoire avec des vitesses identiques. Ils arrivent à l'extrémité de la fibre dans un ordre dispersé (celui qui parcourt la plus petite distance arrive le premier), cette dispersion limite la bande passante du signal à transmettre. La fibre multimode présente un certain nombre d'avantages :

- La facilité de couplage avec la source (le diamètre du cœur relativement grand par rapport à celui de la monomode).
- L'utilisation des connecteurs qui ne demande pas une grande dispersion [2].

3-4-2. Fibres à gradient d'indice (GI)

Ce principe consiste à réduire la dispersion présentée à l'extrémité de la fibre multimode à SI. Dans ce type tous les rayons optiques arrivent en même temps à l'extrémité de la fibre.

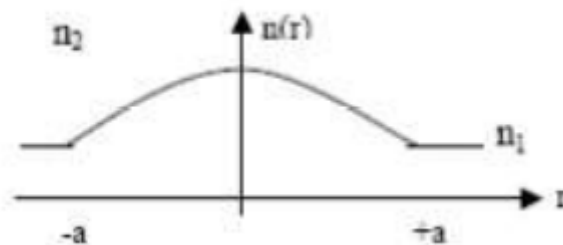


Figure I-7 : Distribution radiale d'indice de réfraction dans une fibre à G-I [6]

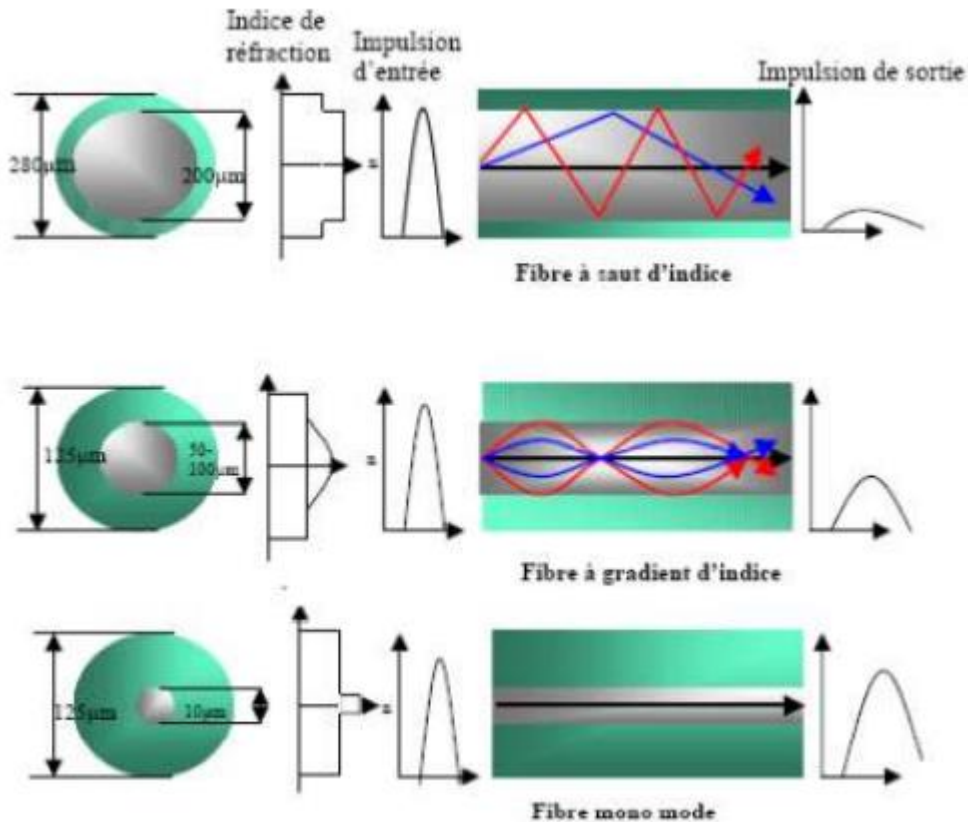


Figure I- 8 : Propagation de la lumière dans les trois types de fibres optiques [6.2].

3-5. Les effets de propagation optique

Même si comparativement aux autres milieux de transmission tels que les câbles de cuivre ou les canaux radioélectriques, la fibre optique s'avère être le meilleur support de transmission sur câble à haut débit (au-delà de 100 Mbit/s) qui existe actuellement, elle n'est pas pour autant exempte de perturbations. Des phénomènes linéaires et non-linéaires perturbent la transmission des signaux[9].

3-5-1. L'effet linéaire

3-5-1-1. Définition

Les effets de propagation linéaires sont consécutifs à une réponse linéaire du matériau de la fibre à l'excitation électromagnétique induite par le signal, via la susceptibilité[5].

3-5-1-2. L'atténuation de la fibre (perte)

L'atténuation dans les fibres optiques résulte de plusieurs mécanismes. D'abord, l'absorption intrinsèque du matériau constitutif provoque une augmentation très rapide des pertes aux basses longueurs d'onde. La présence d'impuretés peut aussi

créer diverses bandes d'absorption. Dans le cas de la silice pure, le minimum théorique d'atténuation devrait descendre à 0,14 dB/km vers $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$. De plus, les irrégularités involontaires de structure provoquent des pertes par diffusion (diffusion Rayleigh). Il y a ensuite les pertes dues aux conditions d'utilisation des fibres. Toute courbure trop serrée crée des pertes par rayonnement. Les micro-courbures sont des courbures très faibles, mais répétées et pratiquement incontrôlables, dues au conditionnement des fibres dans les câbles. Ces pertes s'ajoutent directement aux pertes intrinsèques. Elles sont toutefois négligeables pour la fibre standard des télécommunications dans des conditions d'emploi normales. Enfin, les fibres sont toujours utilisées par tronçons de longueur finie, raccordés entre eux. Chaque jonction peut provoquer une perte de raccordement [3].

3-5-1-3. La dispersion chromatique

La dispersion chromatique de la fibre optique, comme de tout milieu transparent, caractérise la dépendance de son indice de réfraction, et donc de la constante de propagation du signal β , à la longueur d'onde ou à la fréquence du signal optique qui s'y propage[5].

La dispersion chromatique résulte de la contribution de deux sources : la dispersion du matériau (D_m) et la dispersion de guide[1].

$$(D_g) : D_c = D_m + D_g \quad (6)$$

3-5-1-4. La dispersion modale de polarisation

La dispersion modale de polarisation est consécutive à la biréfringence de la fibre, c'est-à-dire à la dépendance de son indice de réfraction à la polarisation du signal[5].

3-5-2. L'effet non linéaire

3-5-2-1. Définition

Les systèmes de télécommunications sur fibre sont conçus dans l'hypothèse d'une transmission linéaire et les effets non-linéaires sont alors des effets parasites qui en dégradent les performances quand les puissances véhiculées deviennent élevées [3].

3-5-2-2. L'effet Kerr

L'effet Kerr, en optique géométrique, est une extension des lois de la réfraction de la lumière lors de la propagation de cette lumière dans des milieux d'indice variable.

L'indice de réfraction peut alors s'exprimer sous la forme d'une équation non linéaire, proportionnellement à la puissance optique :

$$n = n_0 + n_2 \quad (7)$$

Avec n_0 : une constante et n_2 une fonction quadratique de la puissance.

Cet effet prend une importance considérable dans l'industrie des télécommunications[3].

3-5-2-3. Les effets Raman et Brillouin

L'effet Raman est le plus connu des effets non-linéaires. Il s'agit d'une interaction photon-phonon, c'est-à-dire d'échange d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau.

L'effet Brillouin est de même nature que la diffusion de Raman, mais l'interaction se fait avec des phonons acoustiques, c'est-à-dire avec les vibrations d'ensemble du matériau, se propageant à la vitesse des ondes acoustiques.

Ces effets sont sensibles dès que la puissance injectée dépasse un certain seuil. Une solution mise en œuvre pour les combattre consiste à moduler en amplitude à très basse fréquence le courant d'injection du laser par un signal sinusoïdal, ce qui provoque une modulation de fréquence du signal optique émis et élargit le spectre jusqu'à quelques GHz [24.3].

4. Conclusion

Nous avons présenté, au cours de ce chapitre, les notions indispensables à la compréhension de la physique des télécommunications optiques et du travail qui a été effectué tout au long de ce thème.

Nous avons ainsi présenté les systèmes de transmission optiques qui seront étudiés, les effets de propagation que subit un signal optique lorsqu'il se propage le long d'une fibre, les notions principales nécessaires à la conception d'un système optique.

Chapitre II

Les réseaux optiques et techniques de multiplexage

1. Introduction

Bien que la large bande passante de la fibre optique permette de transporter une très grande quantité d'informations, son utilisation optimale se heurte à divers problèmes, dont le traitement électronique avant modulation et après détection pour les très hauts débits. C'est pourquoi différentes techniques de multiplexage ou de codage ont été imaginées pour augmenter le nombre de canaux dans la fibre. Elles seront présentées dans une seconde partie [3].

Dans la hiérarchie des réseaux les besoins en bande passante augmentent au fur et à mesure que les réseaux desservent une ville, un pays ou relient des pays ou des continents différents. C'est ainsi que le débit d'accès à Internet auparavant limité à 56 Kbit/s avec les modems analogiques peut atteindre plusieurs Mbit/s avec les technologies ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).

2. Réseaux sur fibres optiques

2-1. Structure des réseaux

Un réseau est un ensemble d'équipements reliés entre eux, grâce à des lignes physiques (câble, fibre optique,) ou des ondes hertziennes dans le but d'échanger des données selon des règles (protocoles) bien définies. Si le lien est physique (câble, fibre,), le réseau est dit fixe. Si le lien est sous forme d'ondes hertziennes, on parle de réseau sans fil. On distingue un réseau d'un autre selon le nombre d'éléments qui le constituent, sa disposition géographique, et le (les) protocole (s) qu'il utilise.

Généralement, on distingue trois types de réseau fixe : le réseau local (LAN), le réseau métropolitain (MAN), le réseau longue distance (WAN). Les caractéristiques des trois types de réseau fixe sont résumées dans le tableau ci-dessous[1].

	Réseau LAN	Réseau MAN	Réseau WAN
Nombre d'éléments	Un ensemble d'équipements, appartenant à une même société.	Interconnecté plusieurs LANs.	Interconnecté plusieurs LANs ou MANs.
Dispersion géographique	Les machines sont situées sur un périmètre géographiquement restreint.	Réseau LANs géographiquement proches.	Très grandes distances.
Protocoles utilisés	Ethernet, Token Ring, FDDI, etc.	FDDI, ATM, SDH, etc.	SDH, SONET, WDM, etc.

Tableau I-1 : Résumé des réseaux[1].

2-2. Les types des réseaux

Selon la nature du réseau dans lequel il se situe, le système optique peut légèrement différer. Nous allons donc présenter succinctement les caractéristiques de ces trois niveaux du réseau [3].

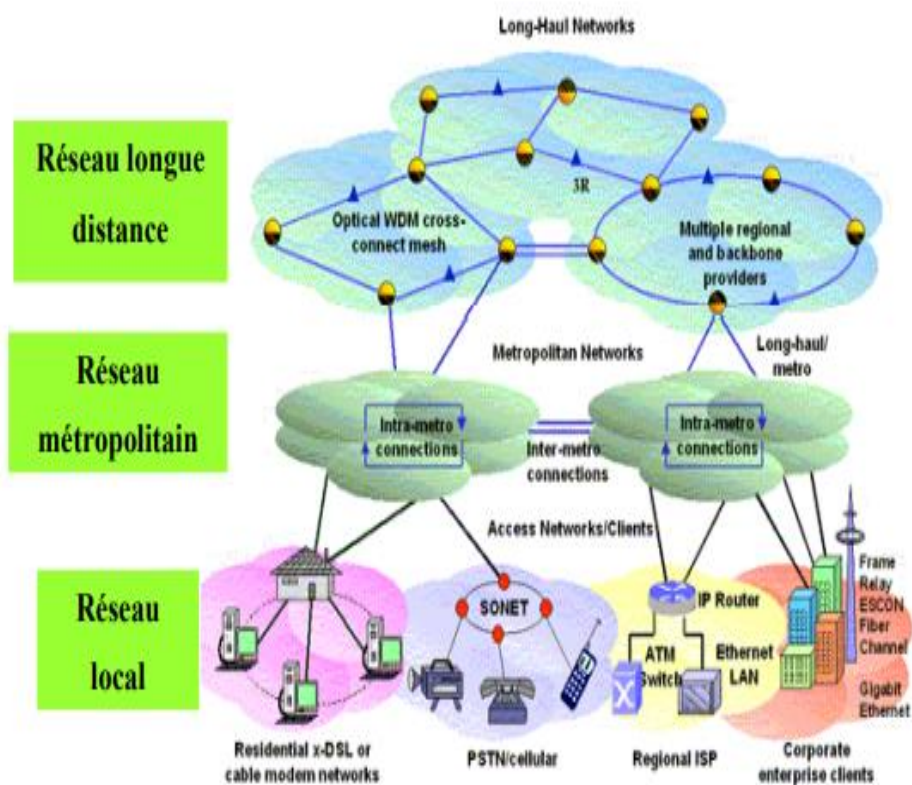


Figure II-1 : Architecture typique du réseau de télécommunications [3].

2-2-1. Le réseau longue distance (WAN)

Cette partie du réseau, parfois également appelée réseau structurant, représente la couche supérieure du réseau de télécommunications. Elle est comprise entre deux autocommutateurs à autonomie d'acheminement, qui ont pour rôle d'aiguiller les informations d'une région à une autre, de la zone de l'expéditeur vers celle du destinataire. La transmission de ces informations se fait désormais sur fibre optique à une longueur d'onde de $1,55\mu\text{m}$ et à un débit élevé qui ne cesse de s'accroître (les débits 2,5 Gbits/s et 10 Gbits/s sont déjà installés et le 40 Gbits/s le sera très prochainement) [3].

Les liaisons longue et très longue distances sont en général de type ‘point à point’ où une fibre permet de relier un point à un autre par opposition à une liaison dite ‘en anneau’ où l’architecture de la liaison est plus complexe [4].

2-2-2. Le réseau métropolitain (MAN) [2]

Encore appelé réseau intermédiaire, le réseau métropolitain connaît en ce moment un véritable essor. Déployé entre le dernier autocommutateur à autonomie d’acheminement du réseau longue distance et une zone plus précise (arrondissement, campus, petite ville, ...), il possède un environnement souvent très complexe et divers. Fondamentalement, on peut distinguer les réseaux métropolitains structurants et métropolitains d’accès [3].

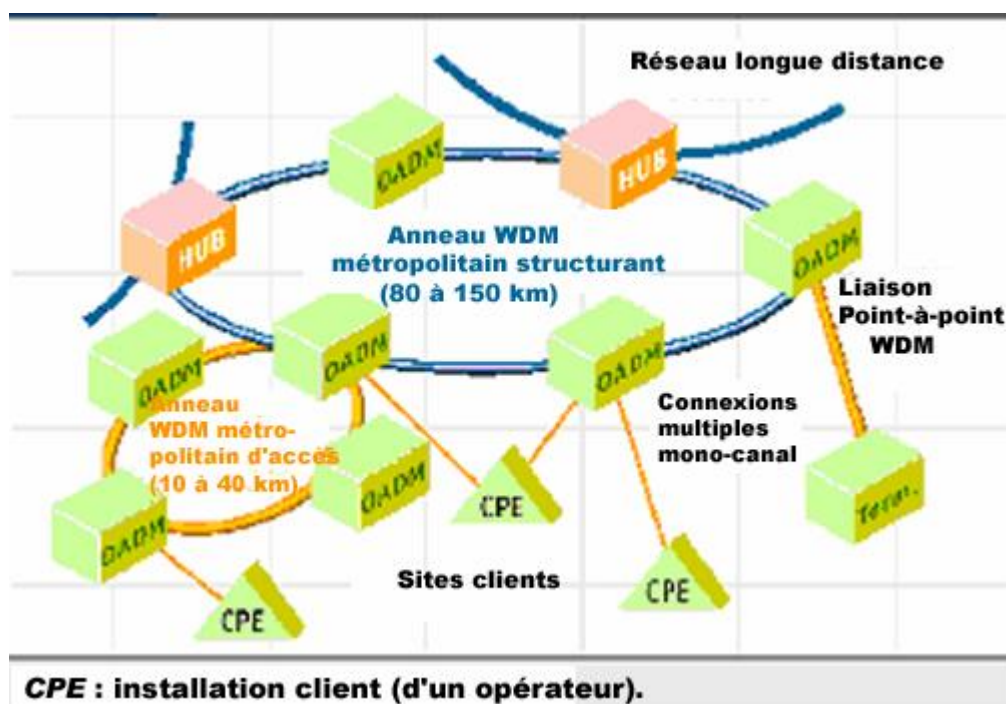


Figure II-2 : Réseau métropolitain structurant et réseau métropolitain d'accès [3].

Les réseaux métropolitains structurants sont généralement constitués d'anneaux de 80 à 150 km de circonférence avec six à huit nœuds. En revanche, les réseaux métropolitains d'accès sont des anneaux de 10 à 40 km de circonférence dotés de trois ou quatre nœuds avec des embranchements vers des sites distants. Suivant les réseaux ou les pays, ces chiffres peuvent varier considérablement. En particulier, il existe des différences notables entre les zones très peuplées d'Europe et d'Asie, où les distances seront inférieures, et les Etats-Unis où les applications métropolitaines s'apparentent à de véritables réseaux régionaux [3].

2-2-3. Le réseau local (LAN) [3]

Il est également nommé réseau de distribution ou d'accès. C'est la dernière partie du réseau de télécommunication, celle qui relie l'abonné et le dernier autocommutateur. Sa longueur varie de 2 à 50 km et sa capacité est au plus du même ordre de grandeur que celle du réseau métropolitain.

Il est toujours constitué par une partie en fibre optique entre l'autocommutateur et la terminaison de réseau optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné. Cependant, il est de plus en plus envisagé dans l'avenir de réduire la contribution de l'électrique pour aller vers le tout optique dans le but d'augmenter le débit disponible chez l'abonné.

Selon la localisation de la terminaison optique, différentes configurations sont envisageables :

- FTTH/FTTO (Fiber To The Home / Fiber To The Office) : la terminaison de réseau optique, qui est propre à un abonné donné, est implantée dans ses locaux. La fibre va donc jusqu'à son domicile ou son bureau, et la partie terminale en cuivre est très courte.
- FTTB (Fiber To The Building) : la terminaison de réseau optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique généralement situé en sous-sol, soit dans une armoire ou un conduit de palier. Elle est partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre.
- FTTC/FTTCab (Fiber To The Curb / Fiber To The Cabinet) : la terminaison de réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique, soit dans un centre de télécommunications, soit sur un poteau. Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radioélectrique [3].

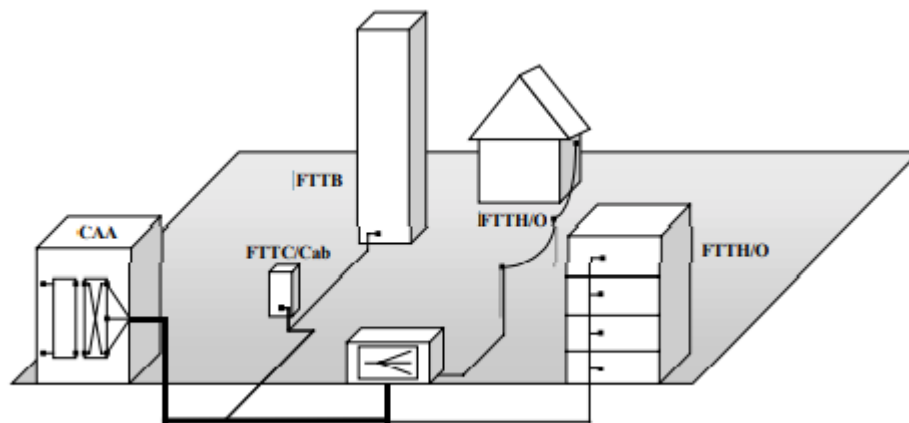


Figure II-3 : Le réseau local [3].

4. Technique de multiplexage optique

Actuellement des technologies de multiplexage ont utilisé plusieurs dimensions afin d'accroître la capacité du système de transmission optique sur une bande passante fixe.

Les fibres optiques possèdent, dans la fenêtre spectrale généralement utilisée, une bande utilisable très importante (environ 15 THz autour de la longueur d'onde 1,55 μm : Bande C et L).

Théoriquement, les débits qui peuvent être transmis sont extrêmement élevés. C'est d'autant plus intéressant qu'aujourd'hui le nombre et la taille des informations échangées sont de plus en plus importants. Néanmoins, actuellement, le traitement électronique des signaux électriques avant modulation et après détection n'atteint pas de telles fréquences. C'est pourquoi diverses solutions ont été imaginées pour profiter des capacités de la fibre optique et augmenter le transfert d'informations sur un même canal. Dans la plupart des cas, le principe reste identique : utiliser N signaux au débit d'équivalent en termes de capacité à un signal au débit $N \cdot D$. C'est ce qu'on appelle le multiplexage, et les débits transportés seraient plus importants. Pour conserver l'intégrité de chaque signal sur le canal, le multiplexage introduit, entre les signaux, une séparation temporelle, spatiale ou fréquentielle [20.21.8].

4-1. Le multiplexage temporel optique (OTDM)

Le multiplexage temporel peut être réalisé optiquement (OTDM, Optical Time Division Multiplexing). L'émetteur est constitué de N sources optiques en parallèle modulées au débit D_b bits/s (Figure II-4). Cette technique nécessite que les signaux

optiques soient ensuite codés de type RZ pour que les impulsions codées aient désormais une durée inférieure à T_b/N et que le multiplexage optique puisse se faire sans recouvrement optique [3].

Par exemple, un signal modulé à 40 Gbits/s peut être obtenu par multiplexage des sorties codées RZ de 4 modulateurs optiques attaqués par des trains à 10 Gbits/s.

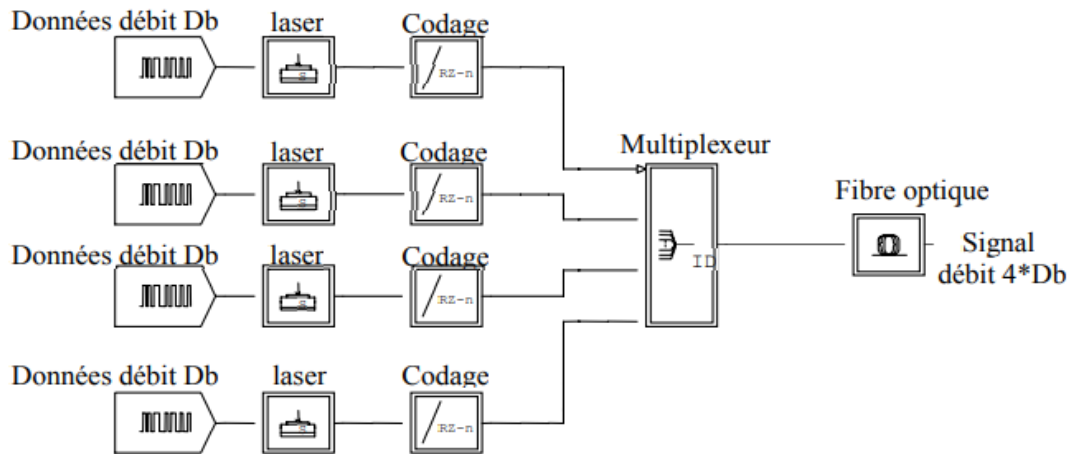


Figure II-4 : Synoptique d'un multiplexage OTDM[3].

Le multiplexage optique temporel n'est pas utilisé uniquement pour accroître les débits transmis. Il fournit aussi une technique d'accès utilisable dans les réseaux locaux. Le temps est partagé entre les différents utilisateurs : chacun d'eux dispose d'une tranche temporelle pour émettre. Les différents signaux sont « assemblés » pour être transmis sur une porteuse optique unique (Figure II-5) [3].

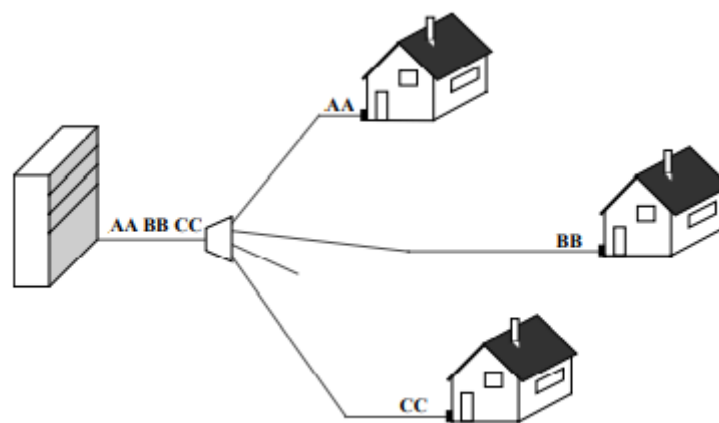


Figure II-5 : Réseau local à répartition temporelle [3].

4-2. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)

4-2-1. Principe

Le multiplexage en longueur d'onde consiste à juxtaposer plusieurs signaux de longueurs d'onde différentes sur la même fibre optique. Afin de mettre en œuvre cette technique, un système WDM utilise deux terminaux interconnectés par une liaison optique. Le premier terminal est un multiplexeur et le second terminal est un démultiplexeur. La Figure II-6 illustre le modèle d'une liaison WDM entre deux terminaux [6].

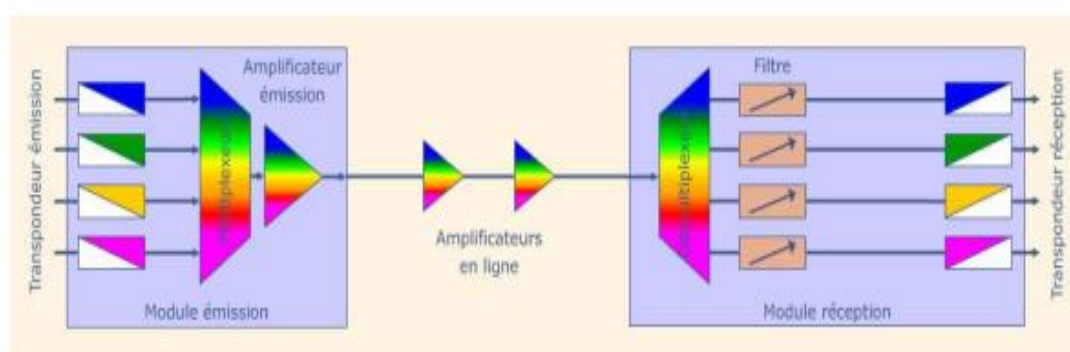


Figure II-6 : Modèle d'une liaison WDM[6].

Le multiplexeur a un double rôle. Il s'agit d'abord de changer les longueurs d'onde des signaux entrants en utilisant des transpondeurs, et ensuite les multiplexer sur un seul support physique. Lorsque des signaux clients arrivent au niveau du multiplexeur, il est possible qu'ils aient la même longueur d'onde, même s'ils proviennent d'émetteurs différents (c'est le cas de SDH ou tous les signaux sont envoyés sur une seule longueur d'onde de 1300 nm ou 1550 nm) [6].

4-2-2. Description

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à des longueurs d'ondes différentes mais assez proches (dans le voisinage des 1550 nm), et de multiplexeur/démultiplexeur optiques pour combiner/séparer l'ensemble des signaux optiques dans/de la fibre. La Figure II-7 représente un exemple d'une liaison utilisant le multiplexage WDM [3].

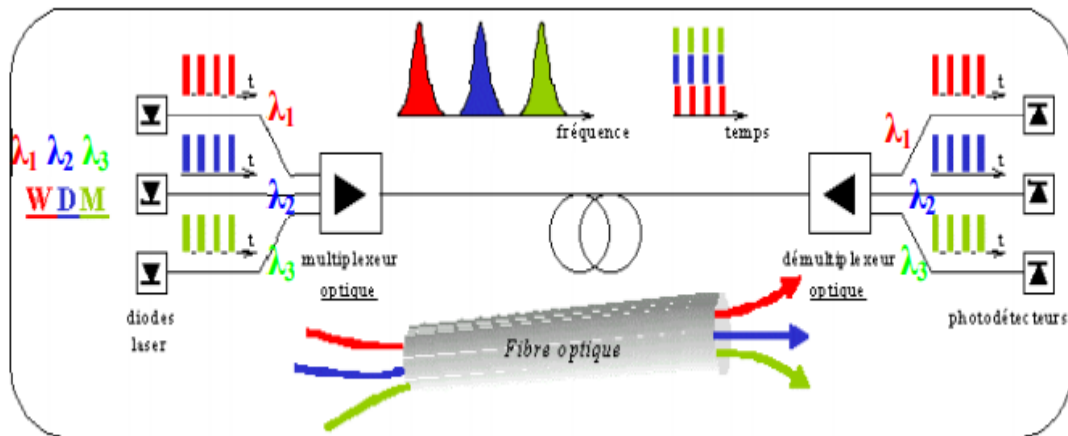


Figure II-7 : Schéma de principe du multiplexage WDM dans les communications par fibre optique (avec 3 longueurs d'ondes)[3].

Afin d'assurer une bonne qualité de transmission du multiplex dans la fibre, il est important de déterminer l'espacement minimum à respecter entre les longueurs d'onde émises par chacune des sources. Cette grandeur dépend de plusieurs choses : qualité de la fibre, qualité des multiplexeur/démultiplexeur, longueur de transmission, qualité des sources, débit des données de chaque source ... La fibre optique transporte alors un débit numérique égal à $N * D_b$. Cette dernière est souvent définie comme la capacité du système [3].

Le multiplexage WDM est caractérisé par l'intervalle entre deux longueurs d'onde minimum à considérer. On peut distinguer les catégories suivantes :

Le multiplexage dense (DWDM) :

On parle de Dense WDM lorsque l'espacement entre canaux est inférieur à 1.6nm. De ce fait, le nombre de canaux qui peuvent être véhiculés dans une fibre optique est important (jusqu'à 32 canaux sur la bande C et 128 sur l'ensemble des bandes : C, S et L. C'est pour ce type de liaison que l'engouement est le plus grand, le débit proposé étant très important.

Cependant la liaison DWDM nécessite une technologie très coûteuse. Il est nécessaire d'avoir des sources lasers et des récepteurs stabilisés en température, et des composants multiplexeurs/démultiplexeurs aussi stables que possible à cause du faible espacement entre canaux. Ce système est essentiellement utilisé pour le déploiement de réseau très longue distance [8].

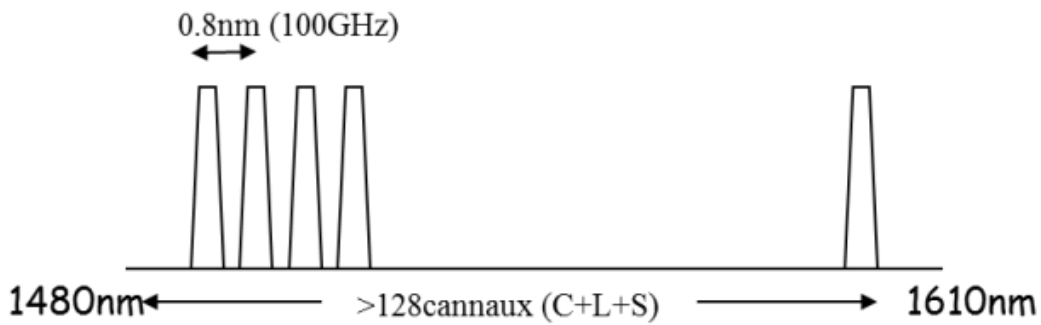


Figure II-8 : Exemple d'allocation en longueur d'onde pour le DWDM [8].

Le multiplexage de canaux largement espacés (Coarse WDM) :

On parle de CWDM lorsque l'espacement entre les canaux est important, soit 10 nm ou 20nm. Le nombre de canaux disponibles sur la bande C n'est plus que de 4 ou 8 au maximum. Par contre pour chaque canal ayant une bande plate suffisamment large, il n'est plus nécessaire d'utiliser des composants émetteurs et récepteurs stabilisés en température. Ceci réduit considérablement le coût. Ce système est adapté aux réseaux d'accès et métropolitain qui nécessitent un grand nombre de composants et relativement peu de bande passante [8].

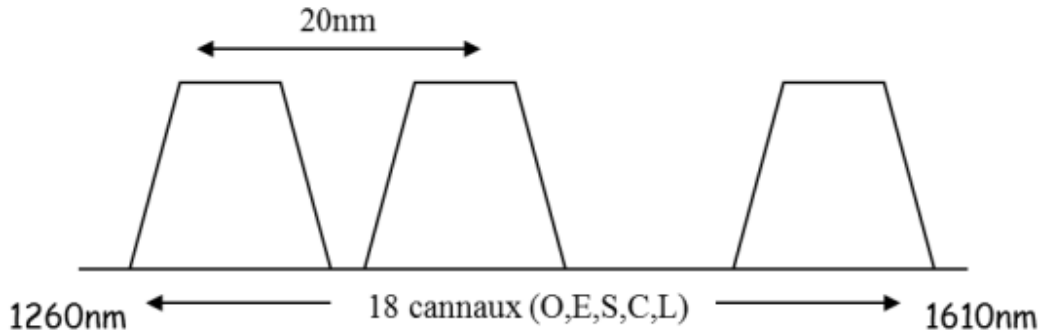


Figure II-9 : Exemple d'allocations en longueur d'onde pour le CWDM [8].

4-3. Accès Multiple par Répartition de Code en Optique (OCDMA)

Une troisième méthode de multiplexage est l'Accès Multiple à Répartition par Code (AMRC ou CDMA, Code Division Multiple Access). Le signal correspondant au 1 est remplacé par une séquence de code qui est une clé caractéristique du destinataire du message. Les codes utilisés ont des propriétés de corrélation particulière afin que les différents flux de données codées puissent être transmis simultanément sur la même longueur d'onde. Cette technique nécessite un niveau de synchronisation élevée, ce qui

augmente la complexité du système et par conséquent le coût et qui fait qu'elle n'a pas été retenue par les opérateurs à ce jour [9.24.8].

4-4. SCM (Sub Carrier division Multiplexing)

Pour le multiplexage à sous-porteuse, plusieurs signaux sont multiplexés dans le domaine radiofréquence (RF) puis transmis sur une porteuse optique unique. L'atout majeur de cette technique comparée aux autres est que la technologie des composants en micro-ondes est bien plus mature que celle des composants optiques, comme par exemple la stabilité des oscillateurs microondes, la sélectivité des filtres, en comparaison de leurs homologues en optique [26]. Mais pour des débits élevés, des largeurs de bandes électriques élevées sont nécessaires (composants à grande vitesse donc plus coûteux). C'est l'un des inconvénients majeur de la SCM, qui entraîne de sévères restrictions à son application aux réseaux d'accès [24]. Ces techniques de multiplexage décrites peuvent être combinées afin d'accroître la capacité du réseau et utiliser efficacement les ressources de la fibre. Plusieurs approches hybrides peuvent être élaborées, la plus fréquente étant de combiner le TDM et le WDM en raison de son potentiel et de sa simplicité de mise en œuvre, et c'est une des méthodes retenue pour les réseaux optiques passifs de 2ème génération (NGPON2) [1.24.8].

5. Conclusion

Ce chapitre a résumé les différentes strates du réseau de télécommunication par fibre optique. Les techniques de multiplexage de données pour une transmission optimisée ont été présentées. Les configurations des données sur le support optique ont été décrites et la détection a été brièvement abordée.

Chapitre III
Résultats de simulation et
discussion

1. Introduction

Depuis plusieurs années, les micro-résonateurs (MRs) suscitent un fort intérêt de par leurs propriétés optiques, indispensables pour une large gamme d'applications et d'études. Ceux-ci sont ainsi mis à contribution dans de nombreux domaines tels que l'élaboration de filtres en télécommunication pour le démultiplexage en longueur d'onde, le développement de nouvelles sources laser et de biocapteurs ou encore pour l'étude d'effets optiques non linéaires. De tels composants ont pu se développer parallèlement à une évolution récente des processus micro technologiques et des mises en forme de matériaux pour la réalisation de microstructures 2D et 3D variées (disques, anneaux, tores, sphères, stades...) [1].

Dans ce travail toutes les simulations sont réalisées avec le logiciel "INTERCONNECT de la société Lumerical".

2. Structure de micro-résonateur

Un micro-résonateur type est constitué de 2 guides d'ondes parallèles et d'une cavité (anneau, cylindre, sphère, etc.) Schématiquement :

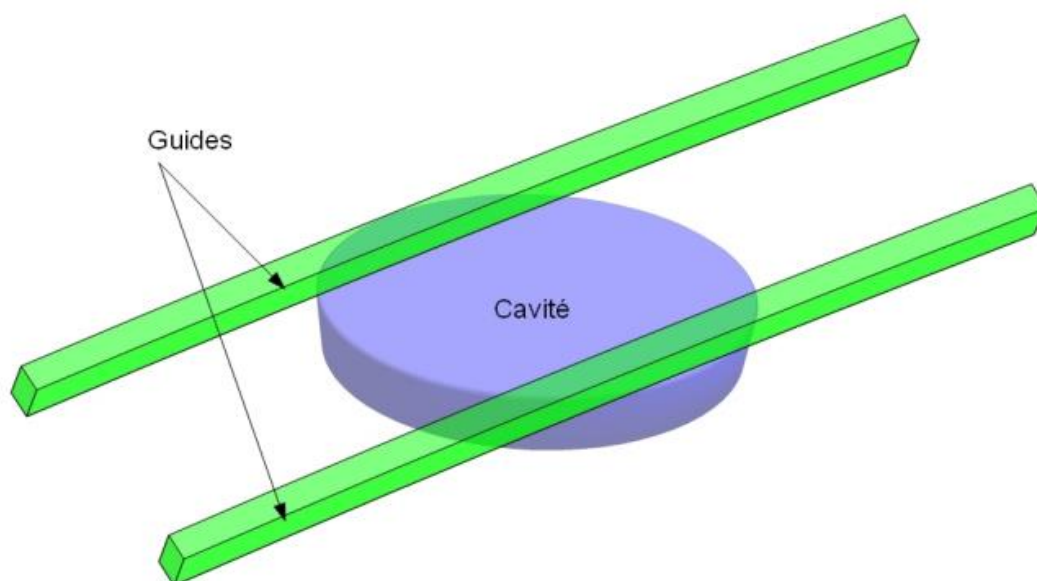


Figure III-1 : Représentation schématique d'un micro-résonateur [11].

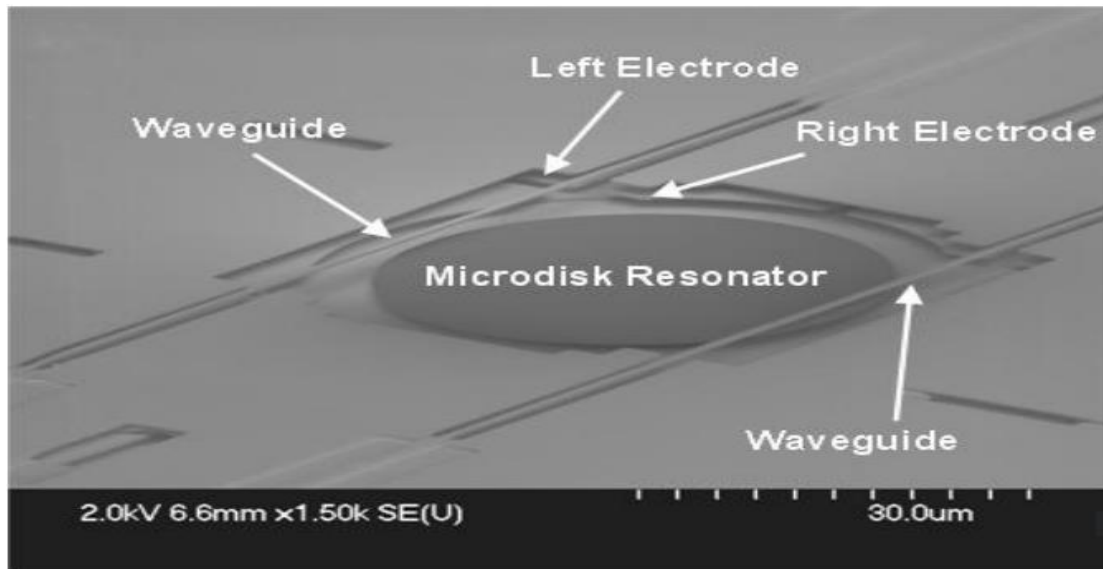


Figure III- 2 : image d'un micro-résonateur[11].

3. Principe de fonctionnement

Dans le principe, on injecte un signal incident I_{in} par le port 1 d'entrée qui comporte plusieurs longueurs d'onde dont une seule correspond à une résonance de la cavité. Seule cette partie du signal sera extraite et couplée au deuxième guide (port 3 de sortie I_t). Le signal I_r au niveau du port 2 va comporter toutes les longueurs d'onde incidentes, sauf la longueur d'onde de résonance qui est extraite et couplée dans le port 3 (fonction d'extraction). La structure étant symétrique on peut faire transiter cette même longueur d'onde du deuxième (port 4) au premier guide et ainsi l'insérer dans le signal de sortie au port 3 (fonction d'insertion) [13].

Nous considérons dans cet exemple un seul sens de parcours et la matrice de transfert M prend la forme particulière :

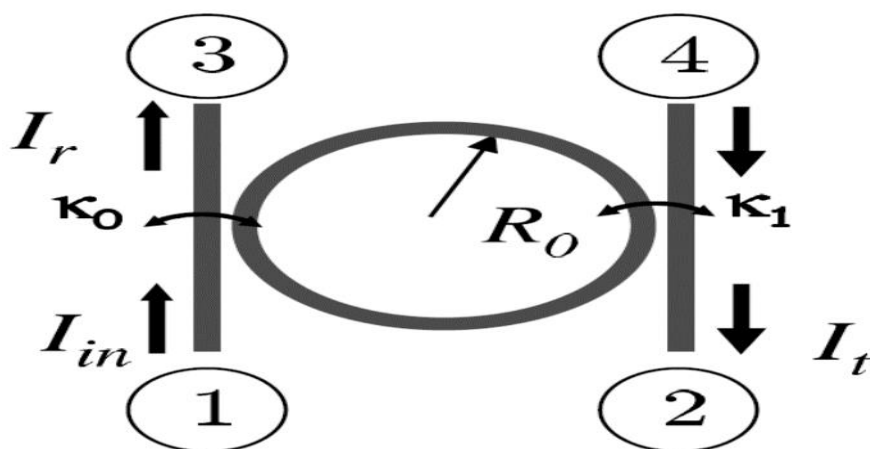


Figure III- 3 : Principe de fonctionnement d'un micro-résonateur [13].

Selon les caractéristiques du micro-résonateur, une onde monochromatique est envoyée dans l'un des guides d'ondes (in port). Dans des conditions de résonance, une partie (évanescence) de cette onde passe dans la cavité. Elle peut à nouveau être couplée avec l'autre guide d'onde et ressortir [11].

3-1. Couplage de micro-résonateur

Pour certaines applications, plusieurs micro-résonateurs peuvent être associés :

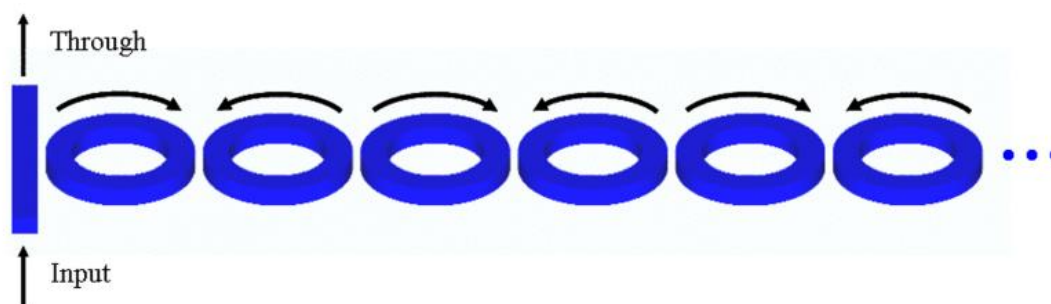


Figure III- 4 : Principe de couplage [11].

4. Applications

Un des composants devant permettre de passer des réseaux de communication optiques basés sur des dispositifs électroniques (nécessitant la conversion du signal optique en signal électrique et vice-versa) vers des réseaux de communication tout optique. Les micro-résonateurs peuvent être utilisés dans la conception :

- D'amplificateurs optiques.
- De modulateurs optiques.
- De filtres optiques.
- De commutateurs optiques ...

Mais aussi :

- Pour la création d'effets laser.
- Comme portes logiques.
- Dans la conception de lignes de retard de la lumière ... [11].

5. Résultats de simulation

5-1. Présentation du système

Le but de ce travail est de tester l'efficacité du micro-résonateur, nous avons donc re-simulé sur la base des données sur le site "<https://support.lumerical.com/hc/en-us/articles/360042322774-Wavelength-division-multiplexing>."selon les termes du programme de simulation " INTERCONNECT", ou ce dernier nous permet d'utiliser le

micro-résonateur comme filtre optique et il s'agit de faire différents cas pour enregistrer les résultats et connaître l'efficacité du micro-résonateur à chaque fois.

L'objectif est de pouvoir concevoir un système WDM à 8 canaux utilisant 25 Gbps par canal, en utilisant un laser en peigne comme entrée, des modulateurs en anneau en cascade avec une plage spectrale libre (FSR) d'environ 1,1 THz pour moduler le signal et multiplexer; et résonateurs en anneau en cascade pour démultiplexer. Les exemples suivants commencent avec un système à canal unique et fonctionnent jusqu'à 8 canaux [12].

* Description des composants de système

PRBS Generator : un générateur de séquences de bits pseudo-aléatoires pourrait générer un train de bits avec le format selon le réglage.

NRZ Pulse generator : un générateur d'impulsions NRZ crée une séquence d'impulsions de non-retour à zéro codées par un signal numérique d'entrée.

CWL : un modèle laser CW génère un signal optique à onde continue (CW).

OSC (Oscilloscope) : Permet l'observation de signaux constante dans la variation de domaine temporel.

OSA (Optical Spectrum analyser) : Mesure l'amplitude d'un signal optique d'entrée par rapport à la fréquence.

PIN (Photodetector) : Le photo-détecteur PIN est une photodiode avec une large région semi-conductrice intrinsèque entre les régions semi-conductrices de type p et de type n.

LPF (LP Bessel filter) : Filtre de Bessel passe-bas électrique (LP).

EYE (Eye Diagram) : Permet l'observation et l'analyse des diagrammes d'œil.

5-2. Cas d'une seule porteuse

Cet exemple montre le fonctionnement de base d'un multiplexeur par répartition en longueur d'onde (WDM) avec un seul canal dont la fréquence est 193.062THz. Cet exemple utilise la primitive du modulateur en anneau de la bibliothèque d'éléments, nous examinons donc la réponse en régime permanent du modulateur en anneau.

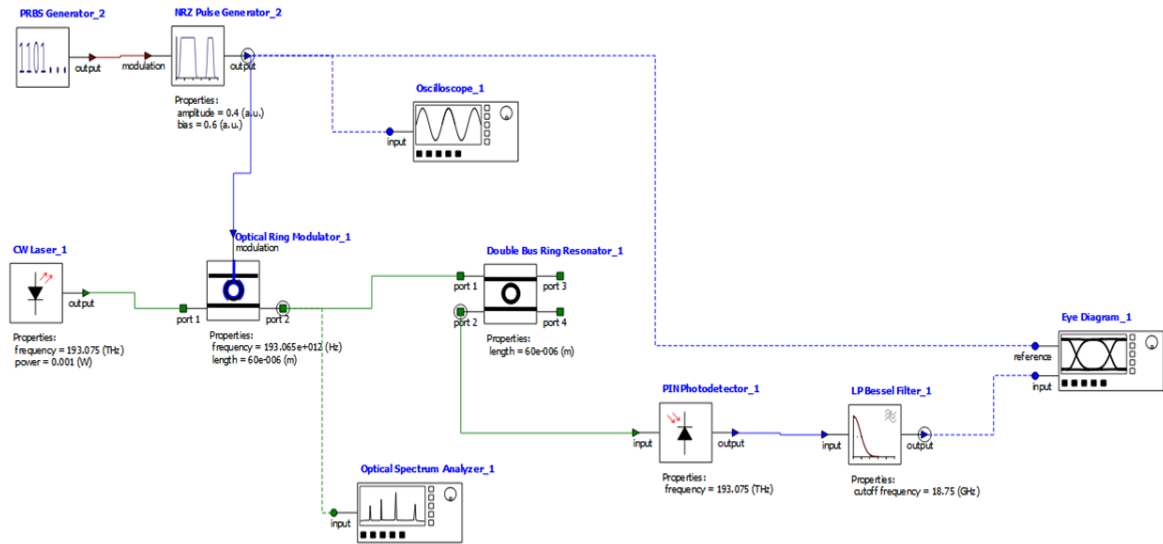


Figure III-5 : Schéma de système d'une seule porteuse [12].



Figure III-6 : diagramme d'œil d'une seule porteuse.

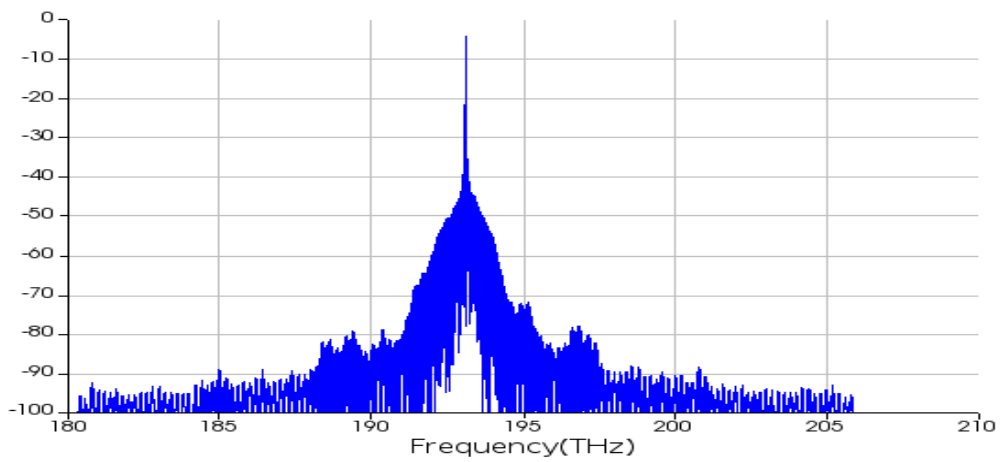


Figure III-7 : spectre d'amplitude par rapport à la fréquence.

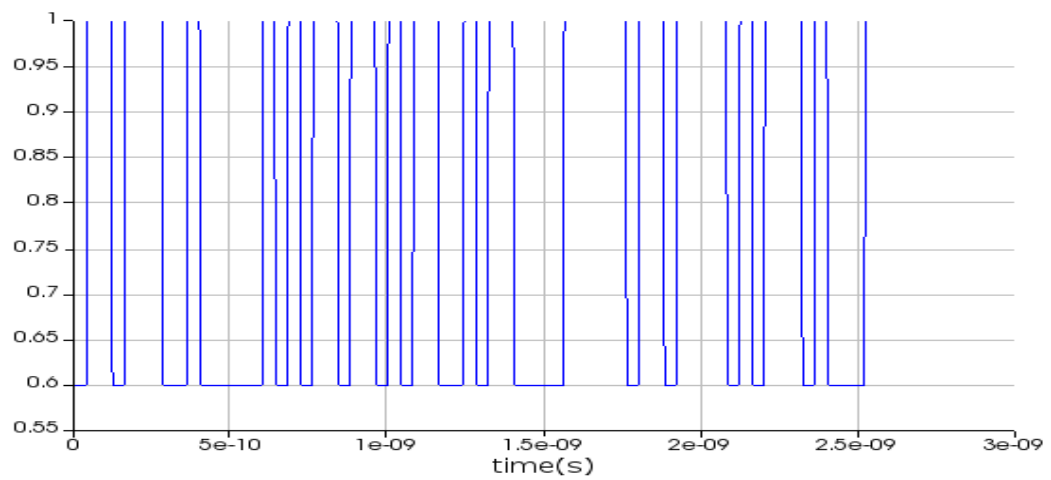


Figure III- 8 : variation d'amplitude avec le temps.

Le diagramme de l'œil montre une excellente intégrité du signal, pour un seul canal, le signal est exempt de toute source de diaphonie.

5-3. Cas de deux porteuses

Cet exemple simule un circuit WDM à 2 canaux dont les fréquences sont 193.075 THz et 193.275 THz.

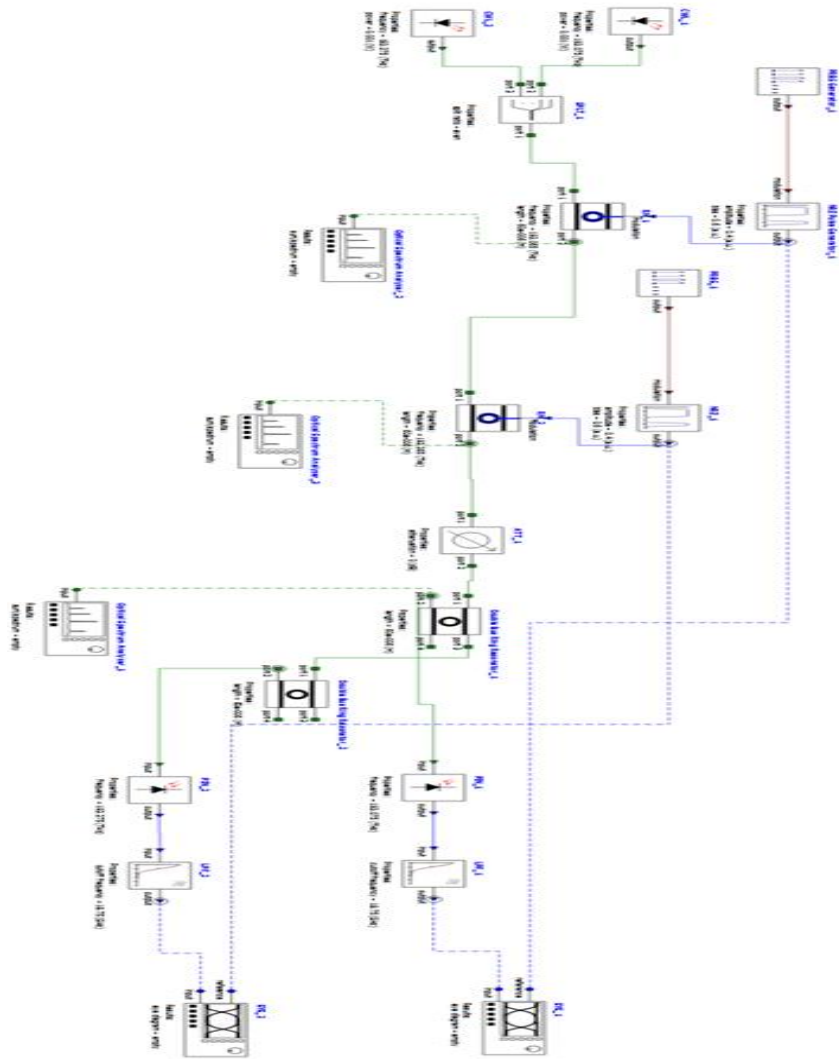


Figure III-9 : Schéma de système de deux porteuses [12].

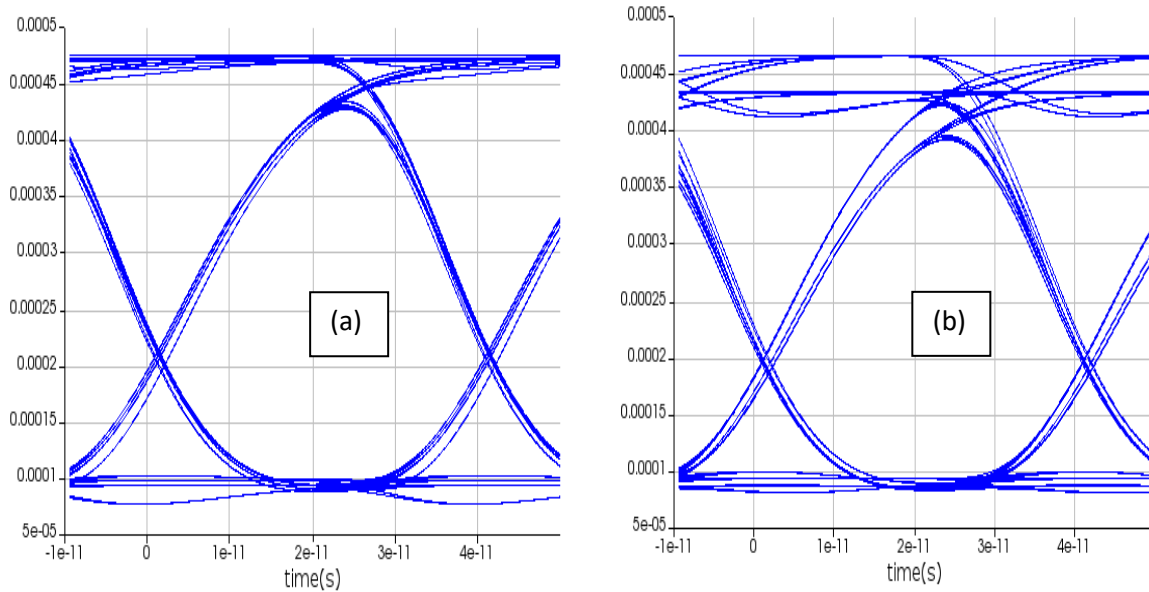


Figure III-10 : diagramme d'œil de la première porteuse (a) et la deuxième (b).

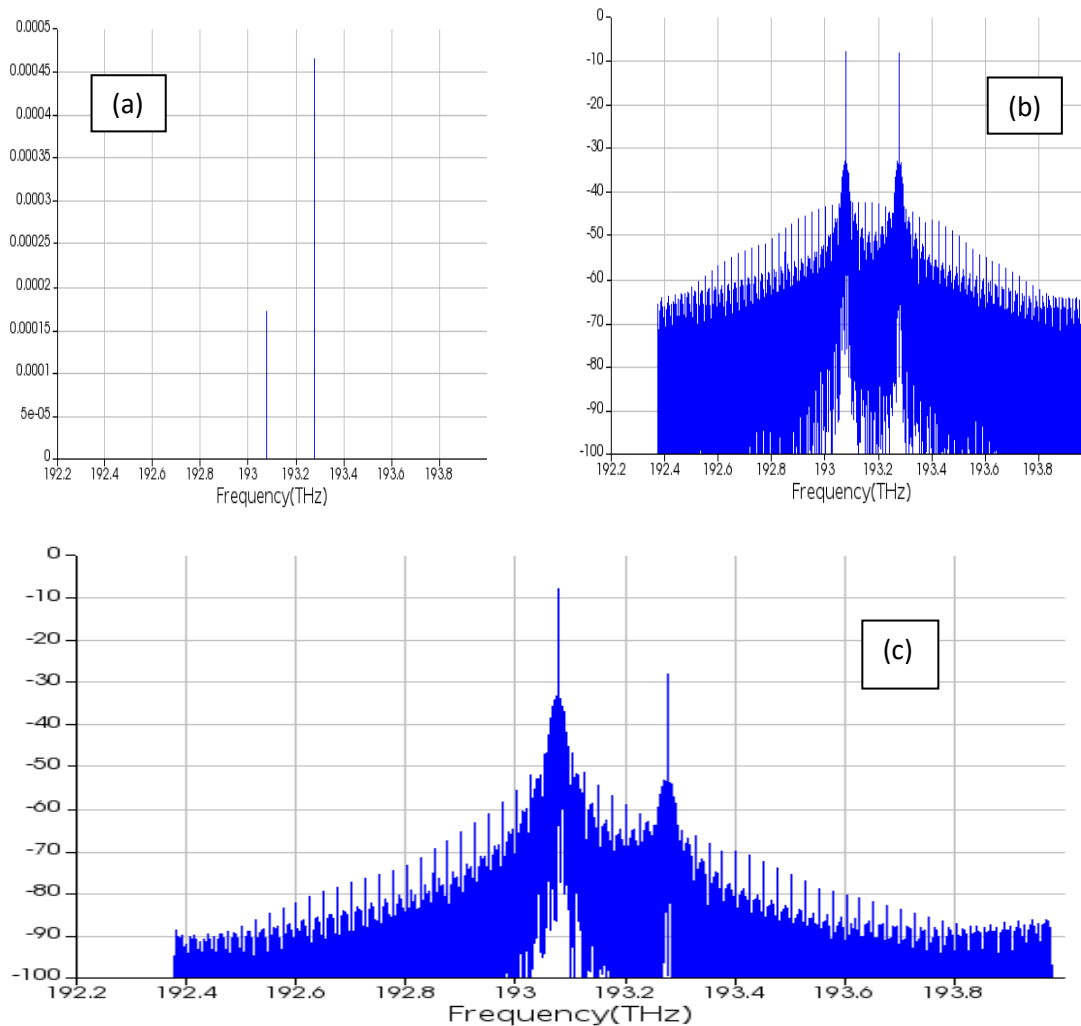


Figure III-11 : spectre d'amplitude à partir la fréquence de deux porteuses.

A partir des diagrammes d'œil, nous pouvons voir qu'il y a une certaine diaphonie entre les deux canaux, mais le diagramme d'œil peut être considéré comme ouvert, en supposant que le signal est déterministe.

5-4. Cas de 04 porteuses

Cet exemple simule un circuit WDM à 4 canaux dont les fréquences sont 193.065THz et 193.275THz et 193.475THz et 193.675THz.



Figure III-12 : Schéma de système de 04 porteuses[12].

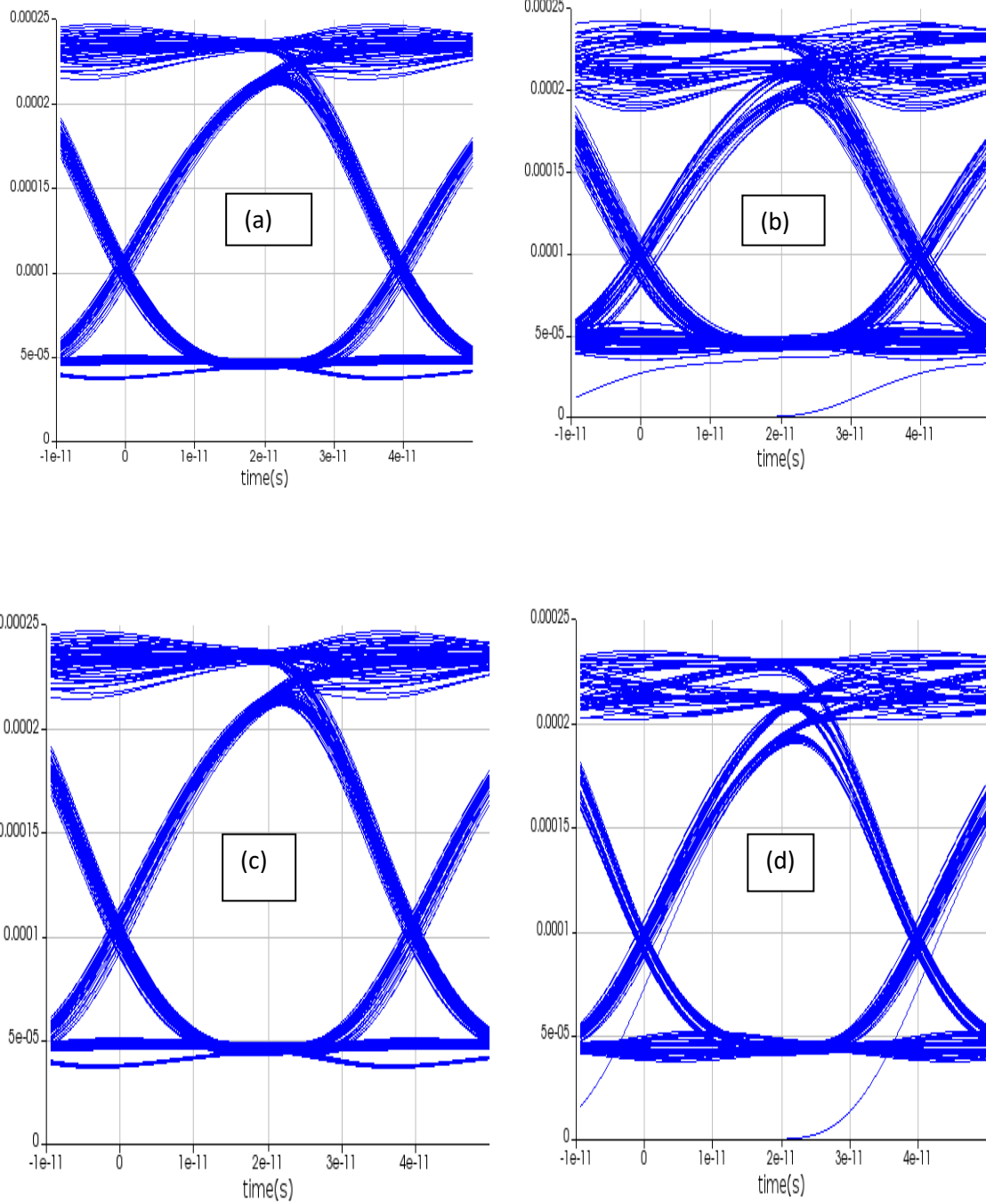


Figure III-13 : diagramme d'œil de 04 porteuses (a, b, c, d).

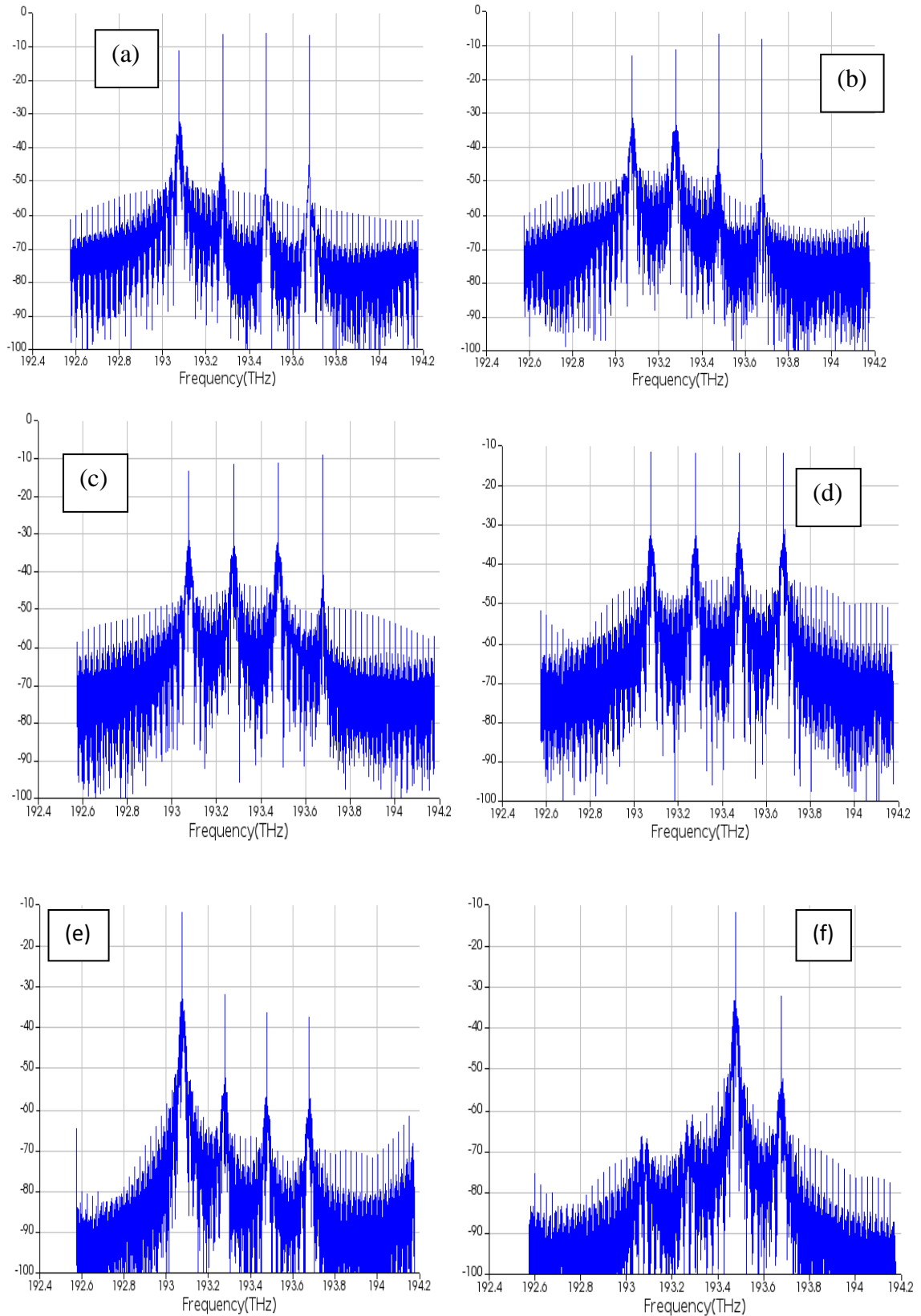


Figure III-14 : Spectre d'amplitude des signaux en fonction de fréquence de 04 porteuses.

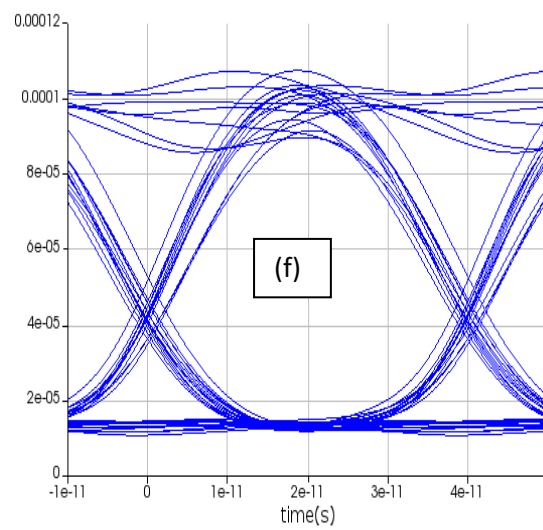
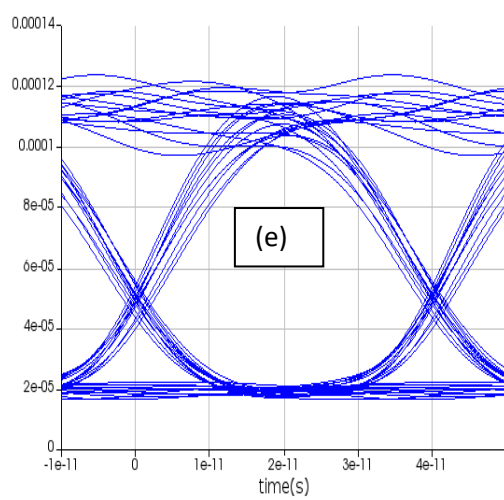
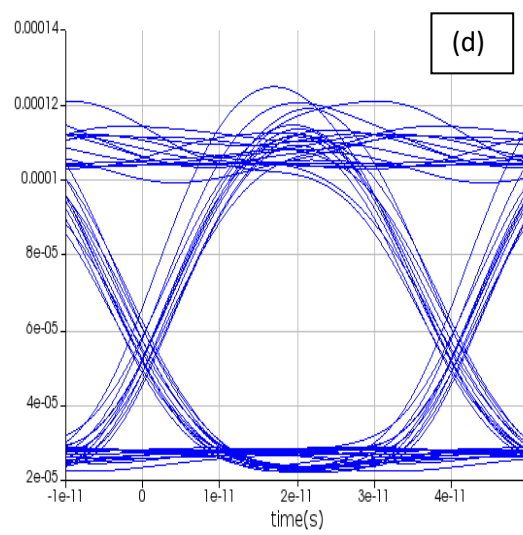
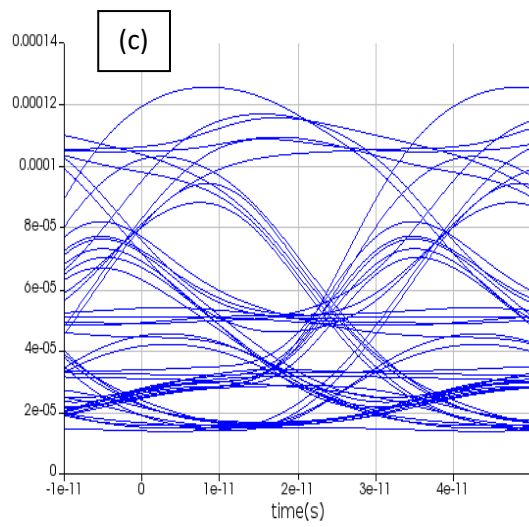
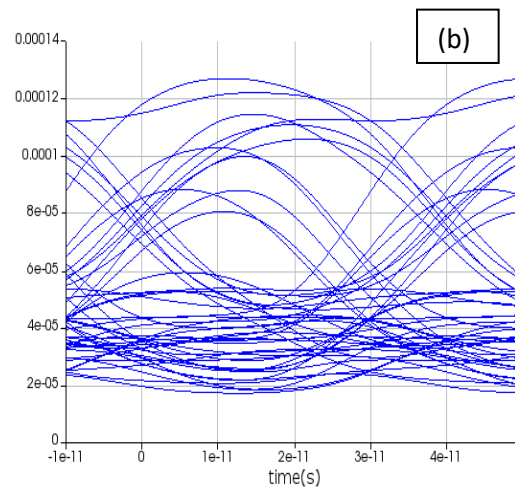
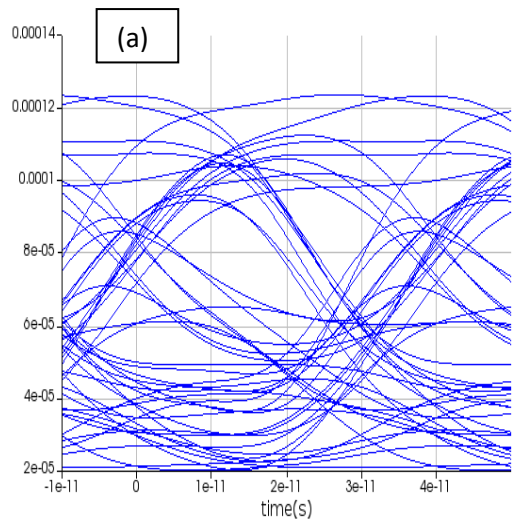
Pour ce système, il y a une certaine diaphonie entre les canaux, et les résultats peuvent être améliorés en modifiant les modulateurs/résonateurs en anneau pour avoir un plus grand FSR et en augmentant la bande passante de chaque canal.

5-5. Cas de 08-1 porteuses

Cet exemple passe par la conception d'un WDM à 8 canaux dont les fréquences sont 193.075THz et 193.275THz et 193.475THz et 193.675THz et 193.875THz et 194.075THz et 194.275THz et 194.475THz. Notre objectif est de concevoir un système WDM à 8 canaux avec un laser en peigne comme entrée, des modulateurs en anneau en cascade pour moduler et multiplexer les signaux, et des résonateurs en anneau en cascade pour démultiplexer. Donc, nous commençons avec tous ces composants et vérifions le diagramme d'œil à la sortie.



Figure III-15 : Schéma de système de 08-1 porteuses[12].



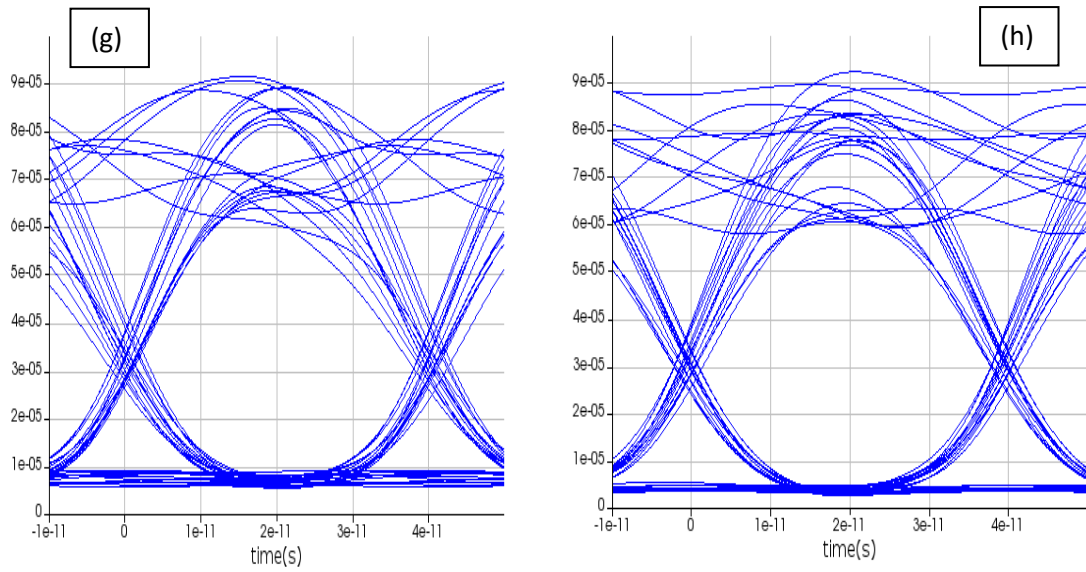
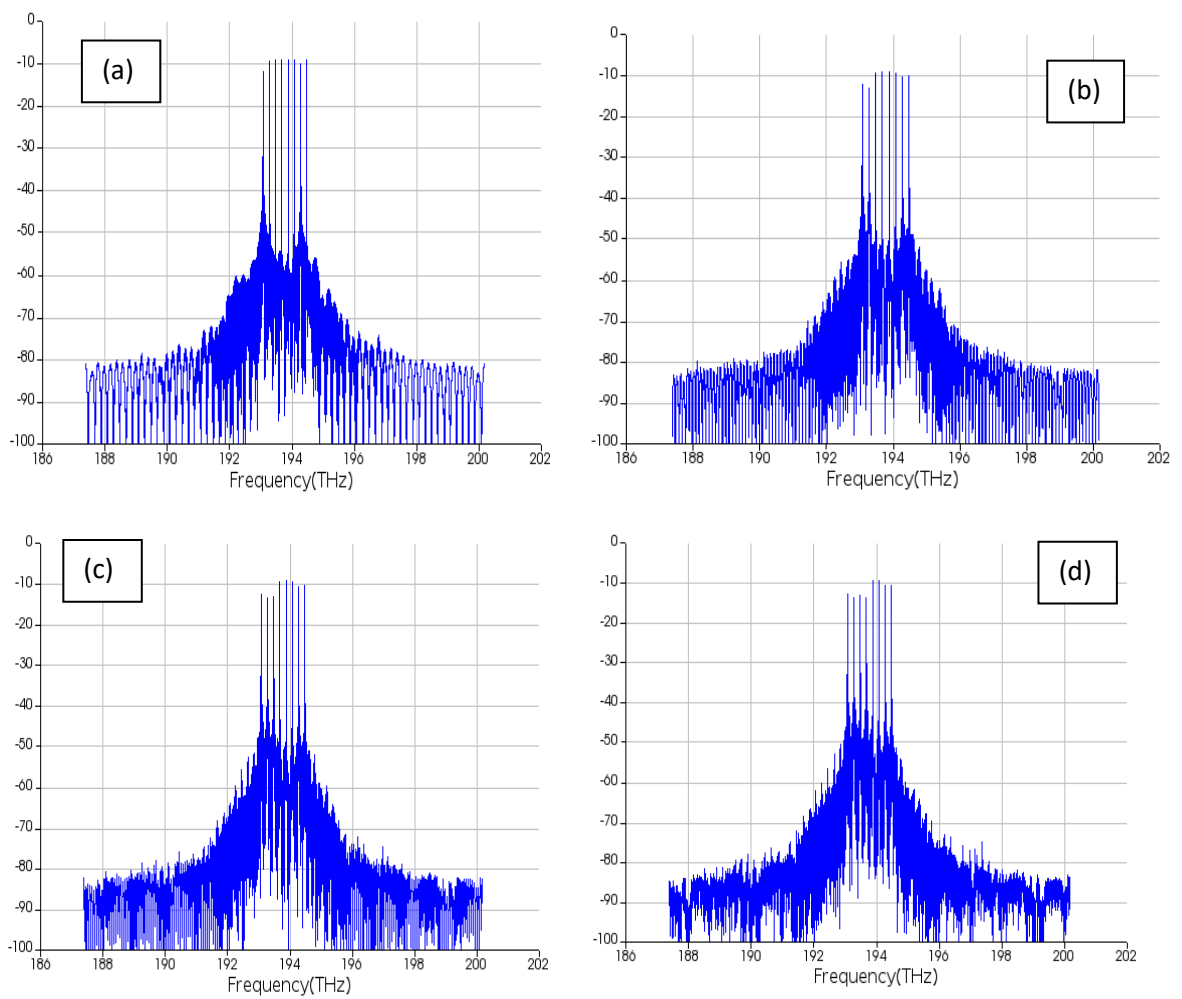


Figure III-16 : diagramme d'œil de 08 porteuses (a, b, c, d, e, f, g, h).



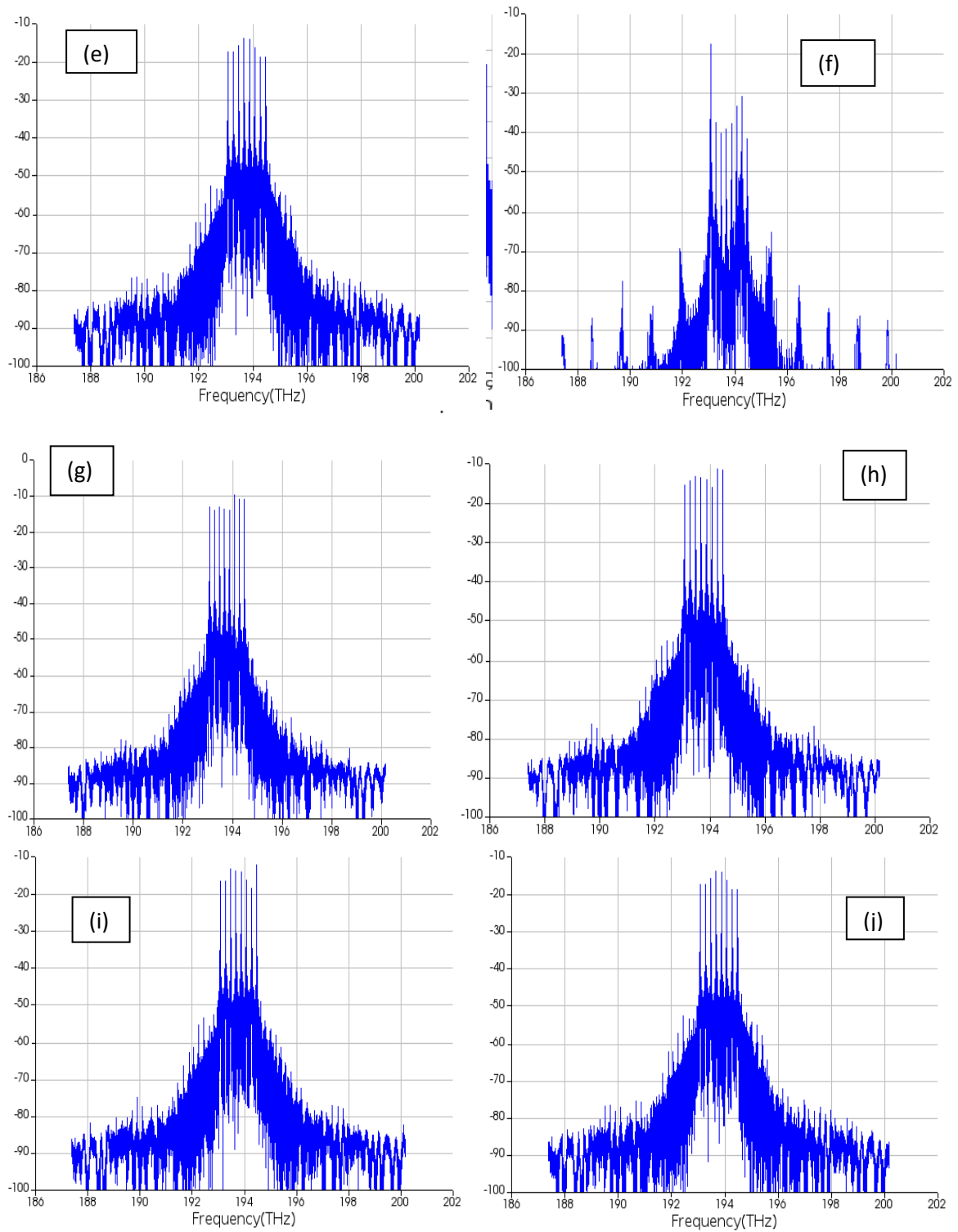


Figure III-17 : spectres des 08-1 porteuses.

Nous pouvons voir que ce circuit tel qu'il est n'est pas un système approprié car il y a trop de bruit et de diaphonie en raison des effets de désaccord de fréquence entraînant un œil fermé dans le diagramme.

5-6. Cas de 08-2 porteuses

Dans cette configuration dont les fréquences sont : 193.075THz et 193.275THz et 193.475THz et 193.675THz et 193.875THz et 194.075THz et 194.275THz et 194.475THz, nous remplaçons le laser en peigne par des sources individuelles dans l'émetteur. Cela réduit la quantité de diaphonie.

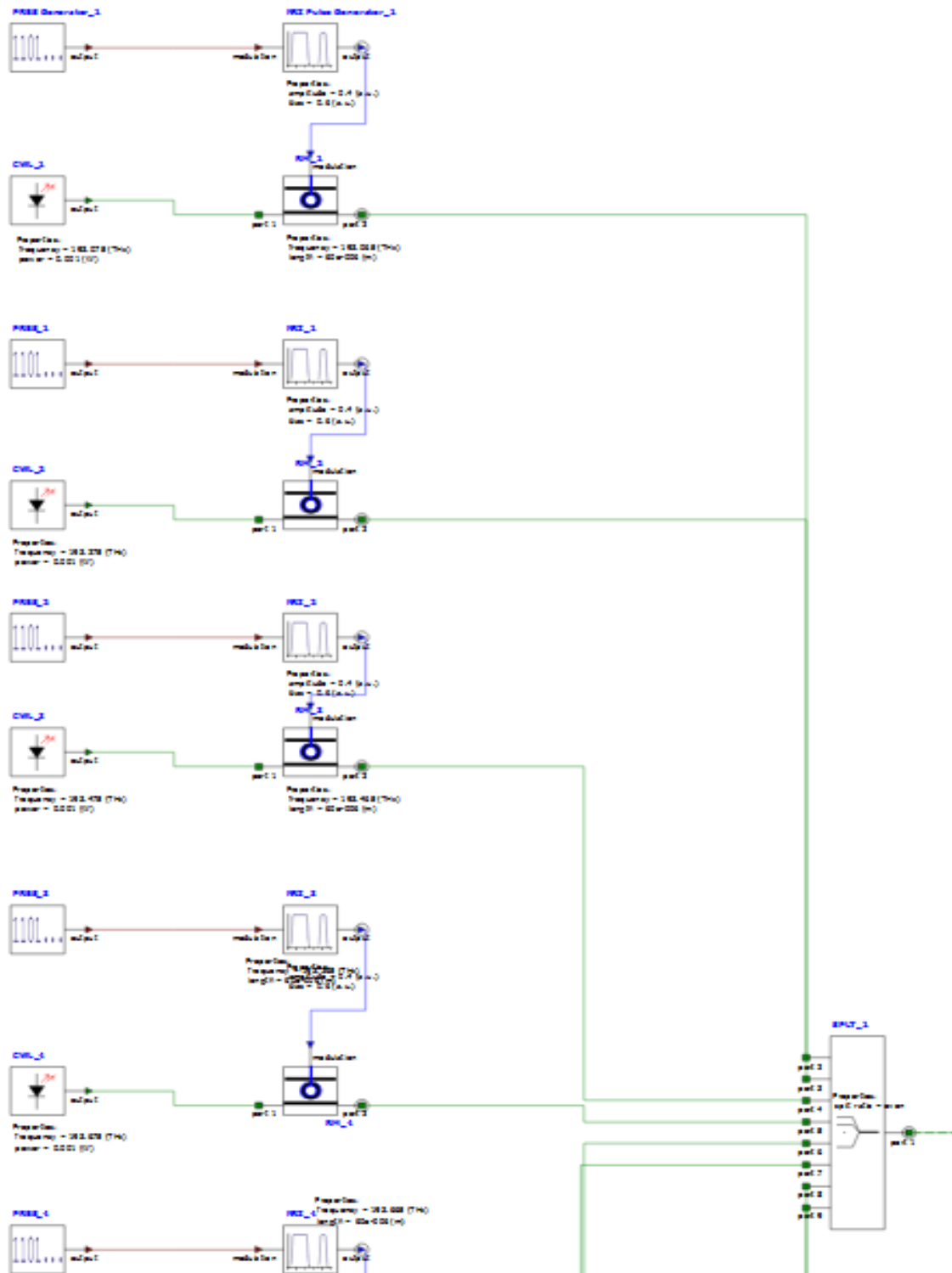
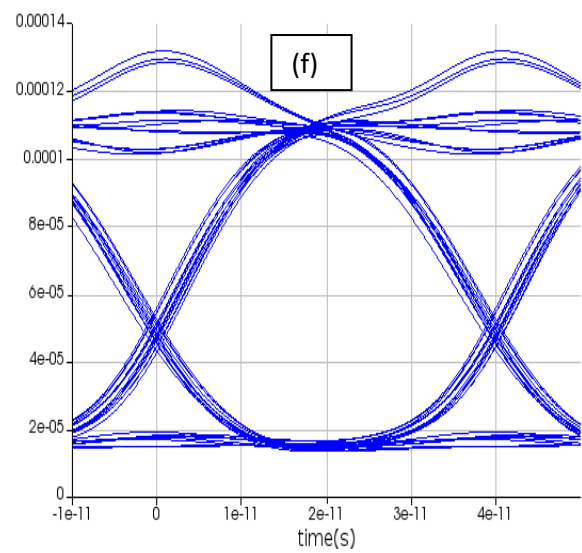
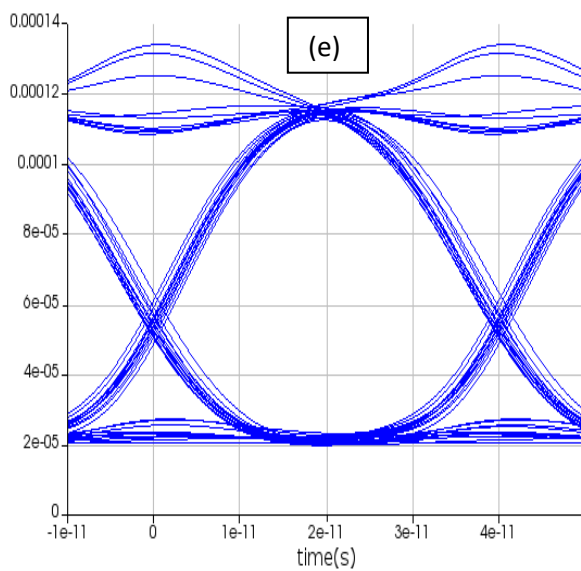
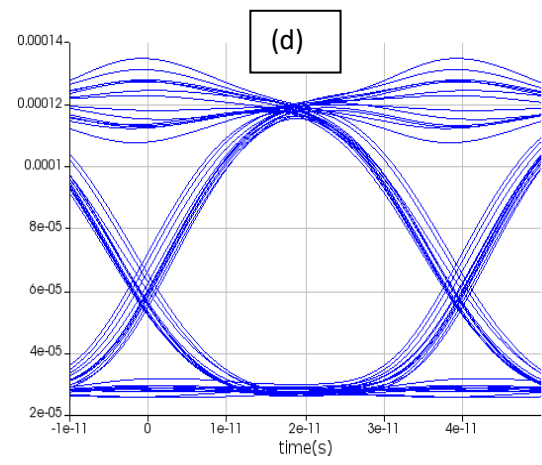
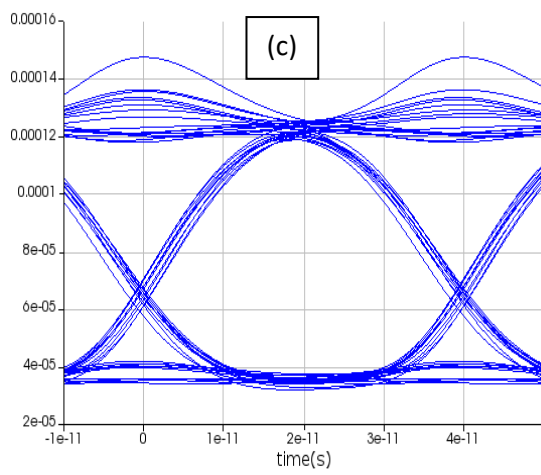
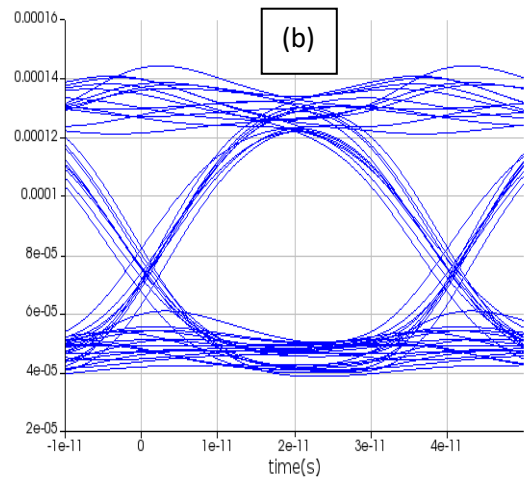
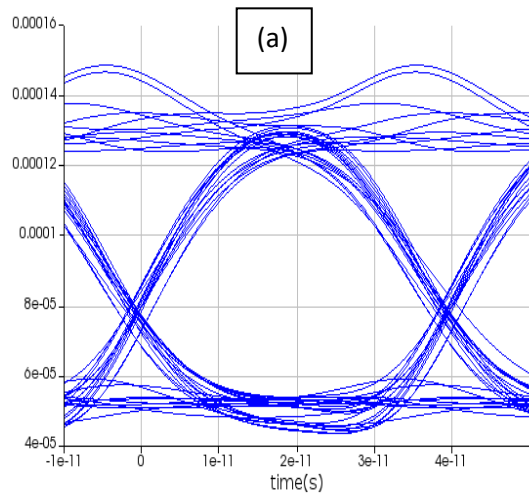


Figure III-18 : Schéma de système de 08-2 porteuses[12].



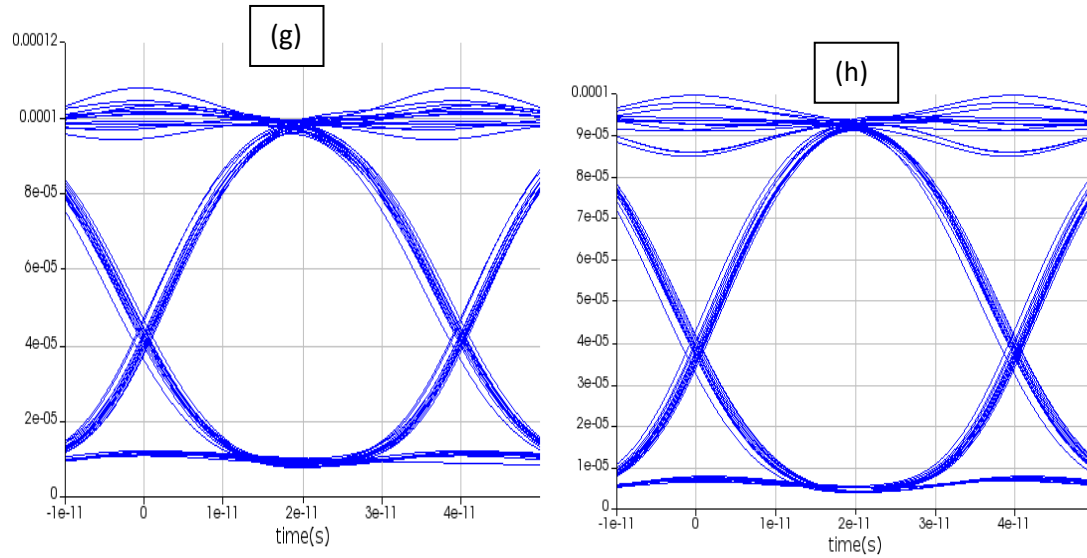


Figure III-19 : diagramme d'œil de 08-2 porteuses.

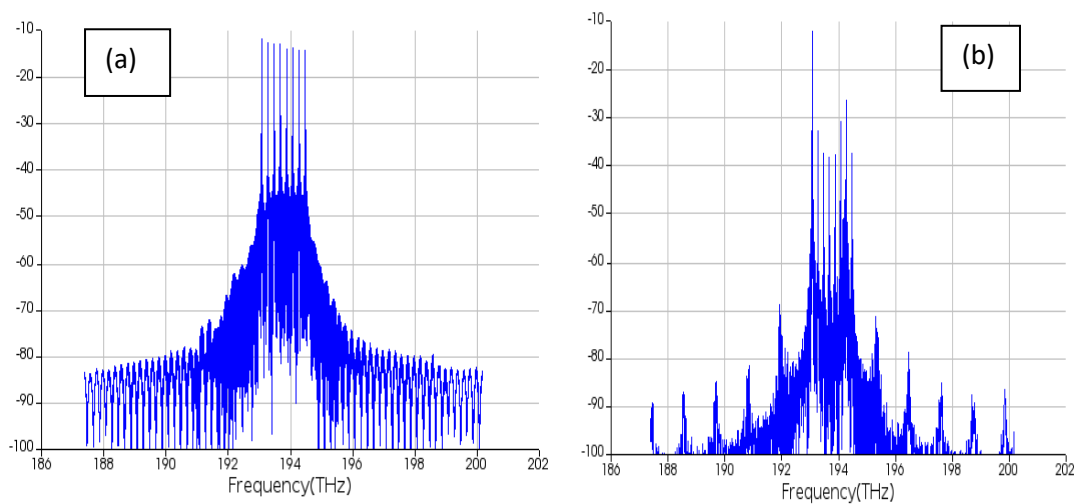


Figure III-20 : spectre d'amplitude de 08-2 porteuses.

5-7. Cas de 08-3 porteuses

Dans wdm_8channels_3, dont les fréquences sont 193.075THz et 193.275THz et 193.475THz et 193.675THz et 193.875THz et 194.075THz et 194.275THz et 194.475THz, nous remplaçons les résonateurs en anneau en cascade par des filtres idéaux.

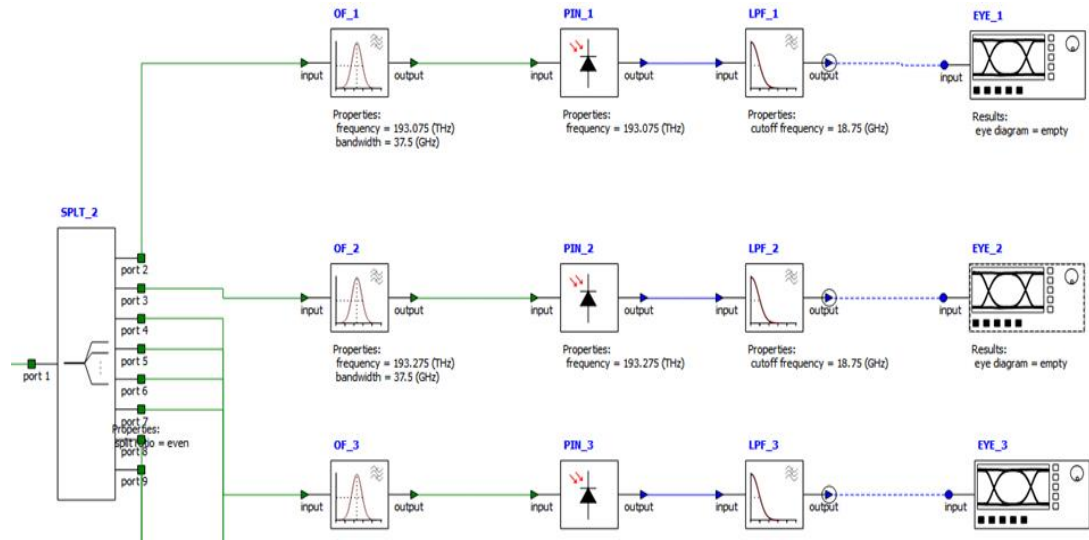
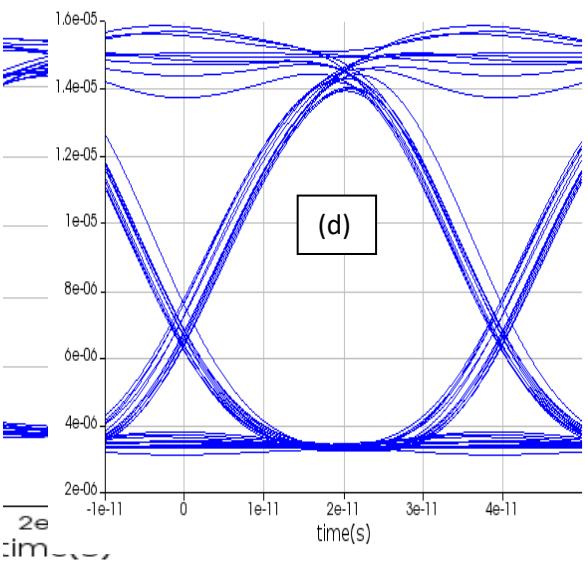
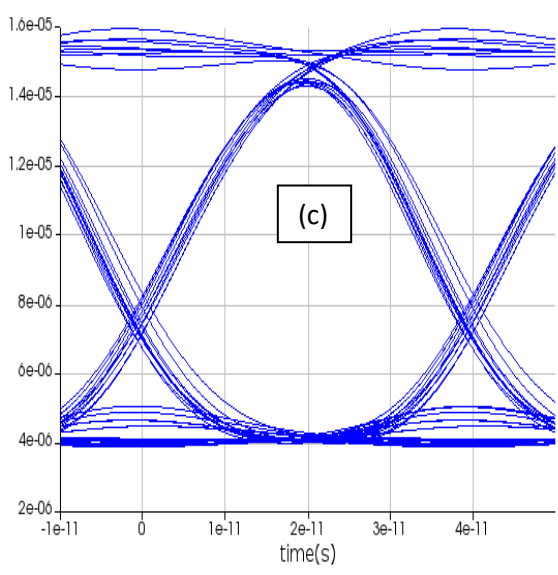
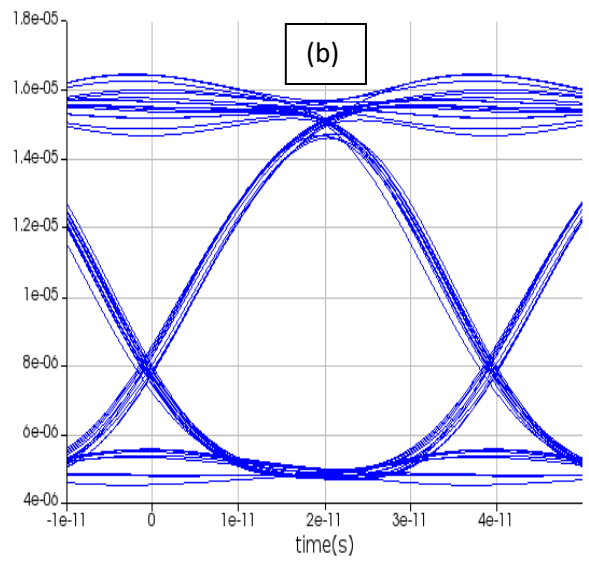
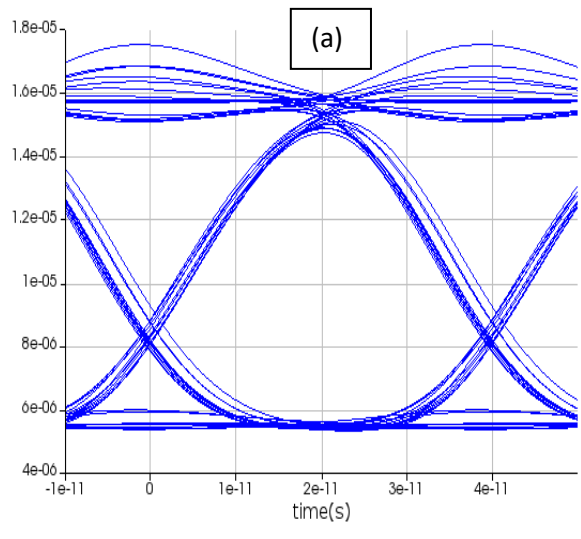


Figure III-21 : Schéma de système de 08-3 porteuses[12].



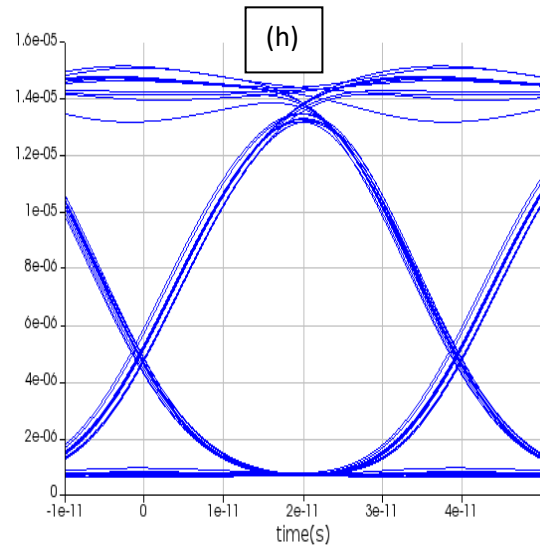
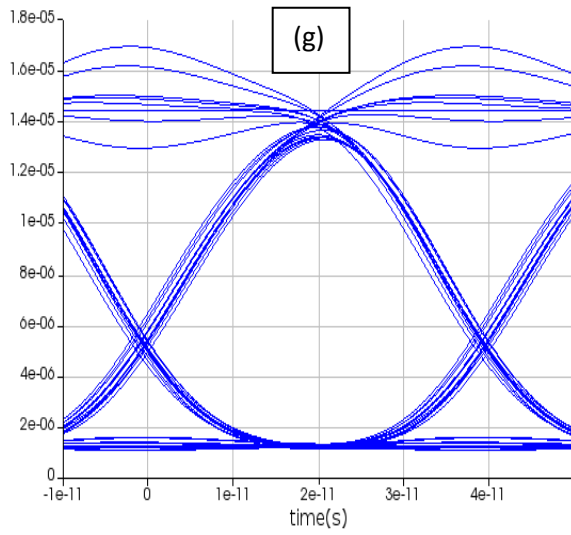
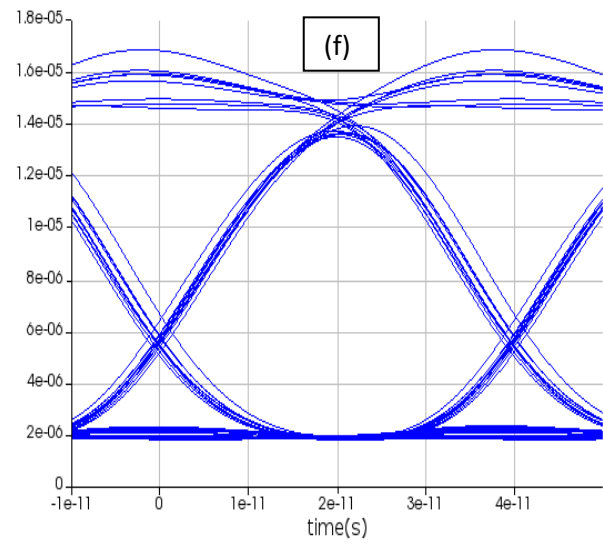
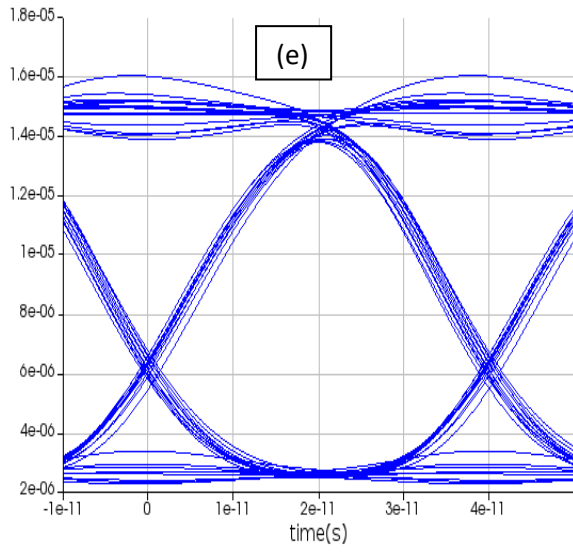


Figure III-22 : diagramme d'œil de 08-3 porteuses.

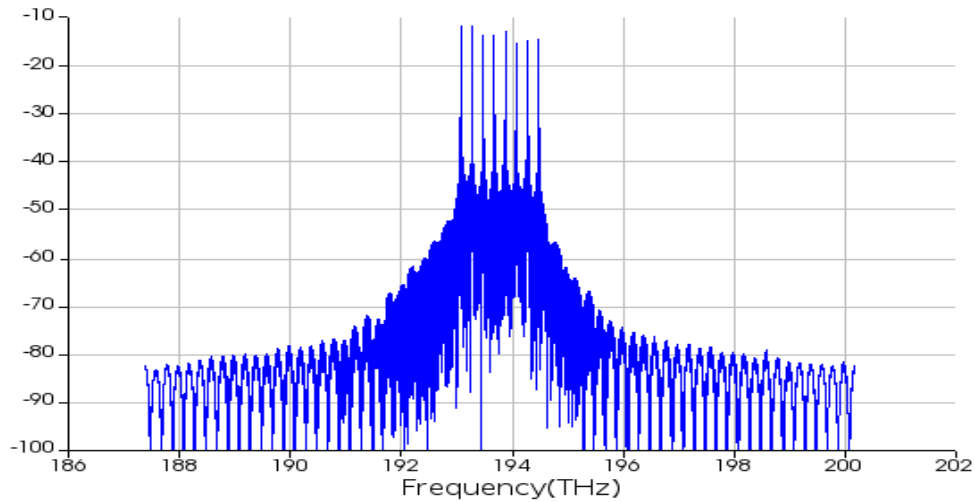


Figure III-23 : spectre d'amplitude de 08-3 porteuses.

Résumé des résultats

En remplaçant les éléments par des éléments idéalisés, nous pouvons voir l'effet des différents composants du circuit sur l'intégrité du signal. Une meilleure méthode de conception serait de commencer par des éléments idéaux pour voir d'abord s'il est possible de mettre en œuvre votre conception avec les exigences souhaitées, puis de remplacer chaque élément par des éléments réalistes un par un.

6. Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif la démonstration de l'utilité, les caractéristiques ainsi que l'utilisation des micro-résonateurs, pour les fonctionnalités de multiplexage/démultiplexage dans les réseaux optiques WDM.

Nous avons ainsi présenté les systèmes de transmission optiques qui simuler par "INTERCONNECT", les effets de propagation que subit un signal optique peuvent être utilisés Les micro-résonateurs dans la conception de modulateurs optiques.

Pratiquement, après l'utilisation des quelques cas en obtenue les mêmes fréquences pour chaque configuration.

CONCLUSION

Générale

Conclusion générale

Ce projet de fin de cycle porte sur l'étude des systèmes de communications optiques multiplexés employant des micro-résonateurs en anneau cascades. L'étude a été motivée par le fait que dans les futurs réseaux optiques, on est intéressé par la transmission à très grand débit des signaux tout en assurant une excellente qualité.

La première partie a été consacrée aux concepts de base liés aux systèmes de transmission optiques. Nous avons décrit les différentes parties des systèmes de transmission optiques qui sont la modulation de signaux générés par des lasers, la propagation dans la fibre optique et la réception. Nous avons aussi décrit les différents effets linéaires et non linéaires limitant la propagation dans la fibre optique.

Dans la deuxième partie, nous avons étudié les types des réseaux de télécommunications, en plus les techniques de multiplexage de données.

Dans la partie simulation, nous avons analysé des systèmes de communications optiques multiplexés peuvent être utilisés. Les micro-résonateurs dans la conception de modulateurs optiques.

On a vu que la transmission des signaux a été réalisée avec une excellente qualité, et ce pour les cas de 1, 2, 4 et 8 canaux, les différentes configurations ont montré des résultats similaires.

En guise de perspective, nous proposons de continuer l'étude des réseaux optiques en employant d'autres techniques de multiplexage et d'utiliser d'autres composants tels que les réseaux de diffractions.

Annexe

À propos de Lumerical

Depuis sa création en 2003, Lumerical a été le pionnier des technologies de simulation révolutionnaires qui aident à donner vie à de nouveaux concepts de produits photoniques. En dotant les professionnels de la recherche et du développement de produits d'un logiciel de conception photonique hautes performances qui tire parti des avancées récentes de la technologie informatique, Lumerical aide les concepteurs optiques à s'attaquer à des objectifs de conception ambitieux et à respecter des délais stricts.

Les solutions logicielles de conception de Lumerical ont été concédées sous licence dans plus de 40 pays par des leaders technologiques mondiaux tels que Samsung, STMicroelectronics, Huawei, Agilent, Olympus et Philips, ainsi que par des institutions de recherche de premier plan telles que Caltech, Harvard, Max Planck Institute, MIT, NIST, University of Tokyo et l'Académie chinoise des sciences.

Ansys Lumerical propose tous les outils nécessaires à la simulation au niveau du système photonique et des interfaces avec les outils EDA pour une conception complète des puces. Il propose deux plateformes de simulation : **INTERCONNECT** et **Photonic Verilog-A**.

INTERCONNECT est un environnement et un simulateur de conception PIC dédiés, avec une longue liste d'éléments prédéfinis, notamment la bibliothèque système pour les applications de communication optique et la bibliothèque laser pour un large éventail d'applications laser.

Photonic Verilog-A permet une simulation de type EDA lorsqu'il est utilisé en conjonction avec les principaux simulateurs SPICE/Verilog-A de l'industrie, facilitant la conception et la mise en œuvre de systèmes intégrés électro-photoniques. Le compilateur CML d'Ansys Lumerical automatise la création, la maintenance et les tests d'assurance qualité des bibliothèques de modèles compacts (CML) pour les plateformes INTERCONNECT et Photonic Verilog-A.

Simulateur de circuit intégré photonique (pic) INTERCONNECT

INTERCONNECT est un environnement de conception de circuits intégrés photoniques qui permet la conception, la simulation et l'analyse de circuits intégrés photoniques. Les circuits optoélectroniques complexes et à grande échelle peuvent être

conçus et analysés de manière simple et fiable à l'aide d'éléments de circuit dans un éditeur de schéma hiérarchique.

Ansys Lumerical propose tous les outils nécessaires à la simulation au niveau du système photonique et des interfaces avec les outils EDA pour une conception.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES
UE

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] MEDJOURI. Abdelkader, « communication optique», cours de l'université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, 2020/2021.
- [2] CHEDALA Latra & LABADI Hana «Variantes de Format RZ et NRZ destinées aux systèmes de transmission optiques à haut débit» Mémoire de Fin d'Étude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER ACADEMIQUE Juin 2018.
- [3] J.L.VERNEUIL, « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbit/s » Thèse de Doctorat de l'université de Limoges, novembre 2003.
- [4] Mathilde GAY «Etude théorique et expérimentale de l'impact de la régénération 2R dans un système de transmission optique haut débit » Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure de Sciences Appliquées et de Technologie 2006.
- [5] Mathieu LEFRANÇOIS. «Étude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 gbit/s», diplôme de doctorat de l'université paris-sud. Présentée le 6 décembre 2007.
- [6] Sami BARAKETI «Ingénierie des Réseaux Optiques SDH et WDM et Etude Multicouche IP/MPLS sur OTN sur DWDM» Thèse de doctorat de l'université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier). Présentée et soutenue le 31/03/2015.
- [7] Pierre Lecoy «Communications sur fibres optiques 4e édition» collection-réseaux-et systèmes de télécoms © 2015, Lavoisier, Paris.
- [8] BENAMEUR. Sarah «La mise en œuvre, dans une chaîne de transmission optique, à haut débit, de filtres optiques à longueur d'onde centrale réglable » Thèse de Doctorat de l'université de Limoges, et l'université de SIDI BEL-ABBES Soutenue le 30 Juin 2015.
- [9] Carlos Eduardo PEREZ VALENZUELA «FORMATS DE MODULATION POUR LES TELECOMMUNICATIONS OPTIQUES » thèse l'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES TELECOMMUNICATIONS DE BRETAGNE en habilitation conjointe avec l'Université de Bretagne Sud Soutenue le 13 Mars 2006.
- [10] G. Mahlke et P. Gössing, «Câbles à fibres optiques», S.L, 1989.
- [11] STÉPHANE BALAC «Modélisation de micro-résonateur optique», UMR 6082 – FOTON. ENSSAT de Lannion. Université de Rennes 1.
- [12][https://support.lumerical.com/hc/en-us/articles/360042322774-Wavelength-division-multiplexing.](https://support.lumerical.com/hc/en-us/articles/360042322774-Wavelength-division-multiplexing)

[13] LAURA GHISA «Couplage de micro résonateurs. Applications aux fonctions optiques de traitement du signal», Thèse présentée devant L'Université de Rennes I Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Rennes I Soutenu le 9 Juillet 2008.

Résumé

L'évolution de la transmission des données par fibre optique s'est accélérée depuis l'apparition de la technique de multiplexage en longueurs d'ondes (WDM), qui permet d'atteindre des débits binaires de quelques Tbit/s transportés sur une seule et unique fibre. Comme tout système de communications, une liaison à fibre optiques est constituée d'un émetteur, une fibre (canal) et d'un récepteur. L'optimisation de la qualité de transmission est réalisée via un bon choix des composantes dans chaque partie de la liaison. Dans ce cadre, on s'intéresse à l'étude et l'analyse des performances des systèmes de communications optiques multiplexés. Ce projet porte, particulièrement, sur l'analyse des performances des systèmes de communications optiques multiplexés employant des micro-résonateurs en anneau cascades.

Mots clés

Systèmes de communication optiques, technique de multiplexage, micro-résonateur, Fibre optique.

Abstract

The evolution of data transmission by optical fiber has accelerated since the appearance of the wavelength division multiplexing (WDM) technique, which makes it possible to achieve bit rates of a few Tbit / s transported on a single and single fiber. Like any communications system, a fiber optic link consists of a transmitter, a fiber (channel) and a receiver. The optimization of the transmission quality is achieved through a good choice of components in each part of the link. In this context, we are interested in the study and analysis of the performance of multiplexed optical communications systems. This project focuses in particular on the performance analysis of multiplexed optical communications systems employing cascaded ring micro-resonators.

Keywords

Optical communication systems, multiplexing technique, micro-resonator, optical fiber.

ملخص

تسارع تطور نقل البيانات بواسطة الألياف الضوئية منذ ظهور تقنية تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي (WDM)، مما يجعل من الممكن تحقيق معدلات بنات قليلة من $Tbit / s$ تُنقل على ليف واحد ومفرد. مثل أي نظام اتصالات ، يتكون ارتباط الألياف الضوئية من جهاز إرسال وليف (قناة) وجهاز استقبال. يتم تحقيق تحسين جودة الإرسال من خلال اختيار جيد للمكونات في كل جزء من الارتباط. في هذا السياق ، نحن مهتمون بدراسة وتحليل أداء أنظمة الاتصالات الضوئية متعددة الإرسال. يركز هذا المشروع بشكل خاص على تحليل أداء أنظمة الاتصالات الضوئية متعددة الإرسال التي تستخدم رنانات دقيقة متتالية.

كلمات مفتاحية

أنظمة الاتصالات البصرية ، تقنية تعدد الإرسال ، الرنان الصغير ، ليف بصري .