

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA  
BADJI MOKHTAR- ANNABAUNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de L'ingéniorat  
Département : Electronique  
Domaine : Sciences et Techniques  
Filière : Télécommunication  
Spécialité : Système de Télécommunications

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

## Simulation d'une chaine optique multiplexée de 16 canaux

Présenté par: *Bireche Chaima*  
*Chelli Sana*

Encadrant : **TAIBI Mahmoud** Grade : Professeur Université : Badji-Mokhtar ANNABA

Jury de Soutenance :

|                  |      |                                 |           |
|------------------|------|---------------------------------|-----------|
| BOUGHAZI Mohamed | Prof | UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR ANNABA | Président |
| MAHMOUD TAIBI    | Prof | UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR ANNABA | Encadrant |
| ZADAM Mohamed    | MCB  | UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR ANNABA | Examineur |

Année Universitaire : 2020/2021

## ملخص

لا تتوقف تقنيات الاتصالات عن التقدم ، ويتسم مجال الاتصالات الضوئية اليوم بزيادة الطلب فيما يتعلق بقدرة الإرسال. نحاول نقل المزيد والمزيد من البيانات والتطبيقات الجديدة. WDM (تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي) هي تقنية إرسال ذات معدل بت عالي أصبح ضرورة لتحقيق الاحتياجات. يتم تحقيق WDM عن طريق الحقن المتزامن لعدة أطوال موجية في نفس الألياف ، ويعتمد عدد الأطوال الموجية على التباعد بينها بمسافة أساسية تبلغ 100 جيجا هرتز. تم إجراء محاكاة باستخدام برنامج "Optisystem" ، وقمنا بمحاكاة العديد من سلاسل معدل البت بسرعة 10 جيجابت / ثانية بأطوال ألياف مختلفة لنافذة تبلغ 1.55 ميكرومتر لمشاهدة أداء عمليات النقل هذه.

كلمات مفتاحية wdm ،: الألياف بصرية ، الطول الموجي ، مخطط العين BER ، Q ،

## ABSTRACT

Telecommunication technologies are constantly advancing, and the field of optical communication today is characterized by an increase in demand in relation to transmission capacity. More and more data and new applications are being transmitted. WDM (wavelength division multiplexing) is a high bit rate transmission technique that has become a necessity to meet user needs. WDM is achieved by simultaneously injecting several wavelengths into the same fiber, the number of wavelengths depending on the spacing between them with a fundamental spacing of 100Ghz. a simulation was carried out using the "Optisystem" software, we simulated several 10Gb / s speed chains with different fiber lengths for a window of 1.55 $\mu$ m to see the performance of these transmissions.

**Keywords: WDM, Optical fibers, Wavelength, eye diagram, Q ,BER.**

## RESUME

Les technologies de la télécommunication ne cessent pas d'avancer, et le domaine de la communication optique est aujourd'hui caractérisé par une augmentation de la demande en relation avec la capacité de transmission. On cherche à transmettre de plus en plus de données et de nouvelles applications. Le multiplexage en longueur d'onde WDM (wavelength division multiplexing) est une technique de transmission vers les hauts débits qui sont devenues une nécessité pour atteindre les besoins des utilisateurs. Le WDM est obtenue en injectant simultanément dans la même fibre plusieurs longueur d'onde, le nombre de ces dernières dépend de l'espacement entre elles avec un espacement fondamental de 100Ghz. une simulation a été réalisée à l'aide du logiciel « Optisystem », on a simulé plusieurs chaînes de débit 10Gb/s avec différents longueurs de fibres pour une fenêtre de 1.55 $\mu$ m pour voir les performances de ces transmission.

**Mots clés : WDM ,fibres optiques, Longueur d'onde, digramme de l'œil, Q, TEB**



# Remerciement

*On remercie Dieu qui nous a donné naissance, santé et plénitude de nos sens.*

*On remercie Dieu qui nous a guidé dans le chemin du savoir et de la science*

*nous adressons nos remerciements aux personnes qui nous ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.*

*En premier lieu, on remercie Monsieur TAIBI MAHMOUD , Directeur de notre mémoire. Nous exprimons toute nos gratitude à l'ensemble de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait d'avoir accepté d'être président, membres de jury de ce mémoire.*

*On remercie également Algérie télécom et spécialement toute l'équipe CRMET-ANNABA pour tout le temps qu'ils nous ont consacré, leurs directives précieuses, et pour la qualité de leur suivi durant toute la période de notre stage.*

*Enfin, on remercie tous ceux qui nous ont aidés de près et de loin*

*Merci*

**Sana & Chaima**

# Dédicace



*Je dédie ce modeste travail....*



*A mes très chers parents*

*A mon frère et mes sœurs*

*A mes nièces Wissal et Yasmine*

*A toute ma grande famille et ma belle famille*

*A mon chère binôme Chelli Sana*

*A toute mes amis et mes proches*

*A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de Prés  
durant les moments difficiles.*

*Chaima*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail...*

*au regretté ZEDAM SALIM, paix à son âme ;*

*A mes chers parents ;*

*A mes neveux IBRAHIM et WASSIM ;*

*A mes sœurs et mes frères ;*

*A mes cousines et mes cousins ;*

*A ma grand-mère ;*

*A toute la famille CHELLI et SEMMOUK ;*

*A mon binôme BIRECHE CHAIMA ;*

*A mes amies ;*

*Et a tous ceux qu'ils m'ont soutenu de près et de loin.*

*Sana*

# Liste des figures

---

## Chapitre 1 : étude d'une liaison optique

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure1.1</b> : schéma d'une liaison optique.....                       | 4  |
| <b>Figure1.2</b> : constitution général d'une fibre optique.....           | 5  |
| <b>Figure 1.3</b> : Angle d'incidence d'entrée dans une fibre optique..... | 5  |
| <b>Figure1.4</b> : Fibre multimode à saut d'indice.....                    | 6  |
| <b>Figure1.5</b> : Fibre multimode à gradient d'indice.....                | 7  |
| <b>Figure1.6</b> : la fibre monomode .....                                 | 8  |
| <b>Figure1.7</b> : effet de l'atténuation.....                             | 8  |
| <b>Figure1.8</b> : Bilan de perte dans une fibre optique.....              | 9  |
| <b>Figure 1.9</b> : Atténuation spectrale d'une fibre optique.....         | 9  |
| <b>Figure1.10</b> : Dispersion chromatique.....                            | 10 |
| <b>Figure1.11</b> : dispersion modale .....                                | 10 |
| <b>Figure1.12</b> : Structure d'un émetteur optique.....                   | 11 |
| <b>Figure1.13</b> : Modulation directe.....                                | 13 |
| <b>Figure1.14</b> : Modulation externe.....                                | 13 |
| <b>Figure 1.15</b> : structure d'interféromètre Mach-Zehnder.....          | 14 |

## Chapitre 2 : les différentes techniques de multiplexage

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 2.1</b> : Schéma de principe de Multiplexage temporel.....           | 16 |
| <b>Figure 2.2</b> : Schéma de principe de Multiplexage fréquentiel.....        | 16 |
| <b>Figure 2.3</b> : Schéma de principe du multiplexage en longueur d'onde..... | 17 |
| <b>Figure 2.4</b> : Schéma d'un amplificateur optique à fibre dopé erbium..... | 22 |
| <b>Figure 2.9</b> : Les modes de transmissions à Algérie télécom.....          | 25 |

## Chapitre3 : simulation d'une liaison optique WDM

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 3.1</b> : Schéma de l'interface OptiSystem .....                                      | 26 |
| <b>Figure3.2</b> : Schéma Bloc de simulation d'une chaine de 16canaux.....                      | 30 |
| <b>Figure3.3</b> : Les différentes valeurs des canaux obtenues à la sortie du multiplexeur..... | 31 |
| <b>Figure 3.4</b> : le spectre à la sortie du multiplexeur.....                                 | 31 |
| <b>Figure3.5</b> :spectre a la sortie de l'amplificateur .....                                  | 32 |
| <b>Figure3.6</b> :spectre a la sortie de DCF.....   | 32 |
| <b>Figure3.7</b> : spectre a la sortie de loop de contrôle .....                                | 33 |
| <b>Figure 3.8</b> : diagramme de l'œil .....  | 33 |



## Liste des figures

---

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure3.9</b> : diagramme de l'œil .....  | 34 |
| <b>Figure3.10</b> : diagramme de l'œil .....   | 34 |
| <b>Figure3.11</b> : diagramme de l'œil .....   | 35 |
| <b>Figure3.12</b> :spectre a la sortie de l'amplificateur .....                                  | 35 |
| <b>Figure3.13</b> :spectre a la sortie de DCF.....   | 36 |
| <b>Figure3.14</b> : spectre a la sortie de loop de contrôle .....                                | 36 |
| <b>Figure3.15</b> : diagramme de l'œil .....   | 37 |
| <b>Figure 3.16</b> : diagramme de l'œil .....  | 37 |
| <b>Figure3.17</b> : diagramme de l'œil .....   | 38 |
| <b>Figure3.18</b> : diagramme de l'œil .....   | 38 |
| <b>Figure3.19</b> : spectre a la sortie de l'amplificateur .....                                 | 39 |
| <b>Figure3.20</b> : spectre a la sortie de DCF.....  | 39 |
| <b>Figure3.21</b> : spectre a la sortie de loop de contrôle .....                                | 40 |
| <b>Figure3.22</b> : diagramme de l'œil .....   | 40 |
| <b>Figure3.23</b> : diagramme de l'œil .....   | 41 |
| <b>Figure3.24</b> : diagramme de l'œil .....   | 41 |
| <b>Figure3.25</b> : diagramme de l'œil .....   | 42 |
| <b>Figure3.26</b> : Schéma Bloc de simulation d'un chaine de 32canaux.....                       | 43 |
| <b>Figure3.27</b> : Les différentes valeurs des canaux obtenues à la sortie du multiplexeur..... | 43 |
| <b>Figure 3.28</b> : le spectre à la sortie du multiplexeur.....                                 | 44 |
| <b>Figure3.29</b> :spectre a la sortie de l'amplificateur .....                                  | 44 |
| <b>Figure3.30</b> :spectre a la sortie de DCF.....   | 44 |
| <b>Figure3.31</b> : spectre a la sortie de loop de contrôle.....                                 | 45 |
| <b>Figure3.32</b> : diagramme de l'œil .....   | 45 |
| <b>Figure3.33</b> : diagramme de l'œil .....   | 46 |
| <b>Figure3.34</b> : diagramme de l'œil .....   | 46 |
| <b>Figure3.35</b> : diagramme de l'œil .....   | 47 |
| <b>Figure3.36</b> :spectre a la sortie de l'amplificateur .....                                  | 47 |

## Liste des figures

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure3.37</b> : spectre a la sortie de DCF.....               | 48 |
| <b>Figure3.38</b> : spectre a la sortie de loop de contrôle ..... | 48 |
| <b>Figure3.39</b> : diagramme de l'œil.....                       | 49 |
| <b>Figure3.40</b> : diagramme de l'œil.....                       | 49 |
| <b>Figure3.41</b> : diagramme de l'œil.....                       | 50 |
| <b>Figure3.42</b> : diagramme de l'œil.....                       | 50 |
| <b>Figure3.43</b> : spectre a la sortie de l'amplificateur .....  | 51 |
| <b>Figure3.44</b> : spectre a la sortie de DCF.....               | 51 |
| <b>Figure3.45</b> : spectre à la sortie du loop de contrôle ..... | 52 |
| <b>Figure3.46</b> : diagramme de l'œil.....                       | 52 |
| <b>Figure3.47</b> : diagramme de l'œil.....                       | 53 |
| <b>Figure3.48</b> : diagramme de l'œil.....                       | 53 |
| <b>Figure3.48</b> : diagramme de l'œil.....                       | 54 |
| <b>Figure3.49</b> : diagramme de l'œil.....                       | 54 |

## Liste des symboles

---

**DEL** : Diode Light Emitting

**LAN** : Local Area Network

**DL**: Diode Laser

**laser**: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

**APD**: Avalanche Photodiode

**WDM**: Wavelength Division Multiplexing

**EDFA**: Erbium Doped Fiber Amplifier

**FDM**: Frequency Division Multiplexing

**TDM**: Time Division Multiplexing

**CDM** : Code Division Multiplexing

**FM**: Frequency Modulation

**DWDM**: Dense Wavelength Division Multiplexing

**U-DWDM**: Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing

**CWDM**: Coarse Wavelength Division Multiplexing

**MAN**: Metropolitan Area Network

**WWDM**: Wide Wavelength Division Multiplexing

**SMF**: Single Mode Fiber

**SOA**: Semi-conductor Optical Amplifier

**YAG**: Yttrium Aluminum Garnet

**DCF**: Dispersion Compensating Fiber

**AWG**: Arrayed Wave Guide Grating

**WR-OXC**: Wavelength Routing Optical Cross-Connect

**OADM** :Optical Add Drop Multiplexers

**FTTx**: Fiber To The x

**SONET**: Synchronous Optical Network Technologies

**SDH**: Synchronous Digital Hierarchy

## Liste des symboles

---

**BER** : **B**it **E**rror **R**ate

**RZ** : **R**eturn to **Z**ero

**NRZ** :**N**o **R**eturn **T**o **Z**ero

**OSNR**: **O**ptical **S**ignal **N**oise **R**ation

**3R**: **R**egenerator/**R**eshaper/**R**etimer

**PDH** : **P**lesiochronous **D**igital **H**ierarchy

# Table des matières

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Résumé .....               | I    |
| Remerciement.....          | II   |
| Dédicaces .....            | III  |
| Liste des figures.....     | VI   |
| Liste des symboles.....    | VIII |
| Table des matières .....   | 1    |
| Introduction générale..... | 3    |

## Chapitre 1 : étude d'une liaison optique

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.1     | Introduction.....                                   | 4  |
| 1.2     | Description d'une liaison optique.....              | 4  |
| 1.3     | La fibre optique .....                              | 4  |
| 1.3.1   | Structure de la fibre optique .....                 | 4  |
| 1.3.2   | Principe de fonctionnement de la fibre optique..... | 5  |
| 1.3.3   | Les différents types de la fibre optique.....       | 6  |
| 1.3.3.1 | Fibre multimode à saut d'indice.....                | 6  |
| 1.3.3.2 | Fibre multimode à gradient d'indice .....           | 7  |
| 1.3.3.3 | La fibre Monomode .....                             | 7  |
| 1.3.4   | L'atténuation dans la fibre optique.....            | 8  |
| 1.3.4.1 | La dispersion .....                                 | 9  |
| 1.3.4.2 | Dispersion chromatique .....                        | 9  |
| 1.3.5   | Dispersion modale (ou intermodale).....             | 9  |
| 1.3.5.1 | Effets non linéaire dans les fibres optiques.....   | 10 |
| 1.3.5.2 | L'effet Kerr optique.....                           | 10 |
| 1.3.5.3 | Effets Raman et Brillouin .....                     | 10 |
| 1.4     | Emission optique .....                              | 10 |
| 1.4.1   | la diode électroluminescente (DEL) .....            | 11 |
| 1.4.2   | La diode laser .....                                | 11 |
| 1.5     | Récepteur optique .....                             | 11 |
| 1.5.1   | Photodétecteur .....                                | 12 |
| 1.5.1.1 | Photodiode PIN .....                                | 12 |
| 1.5.1.2 | Photodiode à avalanche APD .....                    | 12 |
| 1.6     | Modulation de signal .....                          | 12 |
| 1.6.1   | Modulation direct .....                             | 12 |
| 1.6.2   | Modulation externe.....                             | 13 |
| 1.6.3   | Le modulateur Mach-Zehnder .....                    | 13 |
| 1.7     | Intérêts des télécommunications optiques .....      | 14 |
| 1.8     | Conclusion.....                                     | 14 |

## Chapitre 2 : les différentes techniques de transmission

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.1   | Introduction .....   | 15 |
| 2.2   | Techniques de multiplexage .....   | 15 |
| 2.2.1 | Multiplexage temporel TDM (Time Division Multiplexing) .....                 | 15 |
| 2.2.2 | Multiplexage fréquentiel FDM (Frequency Division Multiplexing) .....         | 16 |
| 2.2.3 | Multiplexage à répartition par code CDM (Code Division Multiplexing) .....   | 17 |
| 2.2.4 | Multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing) ..... | 17 |
| 2.3   | Le développement des capacités.....  | 19 |
| 2.3.1 | Augmentation du débit par canal.....   | 19 |
| 2.3.2 | Augmentation du nombre de canaux .....                                       | 20 |
| 2.4   | Comparaison entre WDM et TDM.....  | 20 |
| 2.5   | Applications de la technologie WDM .....                                     | 21 |

# Table des matières

---

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.6     | Amplificateur optique .....                                       | 21 |
| 2.6.1   | Amplificateur optique à semi-conducteur (SOA).....                | 21 |
| 2.6.2   | Amplificateur optique à fibre dopée Erbium (EDFA) .....           | 21 |
| 2.6.3   | Amplificateur Raman .....   | 22 |
| 2.6.4   | Comparaison des amplificateurs.....                               | 23 |
| 2.7     | Fibres compensatrices DCF (Dispersion Compensating Fiber).....    | 23 |
| 2.8     | Convertisseurs optiques .....                                     | 24 |
| 2.9     | Les Technologies de transmission utilisées à Algérie télécom..... | 24 |
| 2.10    | Conclusion.....   | 25 |
|         | <b>Chapitre 3 : simulation d'une liaison optique</b>              | .. |
| 3.1     | Introduction .....  | 26 |
| 3.2     | Présentation de logiciel OptiSystem.....                          | 26 |
| 3.2.1   | Interface OptiSystem .....  | 26 |
| 3.2.2   | Les caractéristiques de logiciel OptiSystem.....                  | 27 |
| 3.2.3   | Les applications de logiciel OptiSystem .....                     | 27 |
| 3.2.4   | Les avantages de logiciel OptiSystem.....                         | 27 |
| 3.3     | Résultats de la simulation .....                                  | 28 |
| 3.3.1   | Description de notre chaine de transmission .....                 | 28 |
| 3.3.1.1 | Le bloc d'émission.....   | 28 |
| 3.3.1.2 | Le bloc de la portée optique (bloc de transmission).....          | 28 |
| 3.3.1.3 | le bloc de réception.....   | 29 |
| 3.3.2   | Analyse et interprétations de résultats.....                      | 29 |
| 3.3.3   | La simulation.....  | 30 |
| 3.4     | Conclusion.....   | 55 |
|         | Conclusion générale .....   | 56 |
|         | Bibliographies et références.....                                 | 57 |

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Depuis les dernières années, les communications numériques ont pris de plus en plus d'importance. L'avènement de nouvelles applications a créé une nouvelle demande en bande passante. La fibre optique apparaît de nos jours comme la solution pour les transmissions haut-débit et très haut-débit.

Parmi les évolutions de la fibre optique c'est la technologies WDM (multiplexage en longueur d'onde). Avant l'apparition du WDM (Wavelength Division Multiplexing), l'accroissement de la capacité de transmission d'une liaison passait par la multiplication des lignes de transmission et l'empilement des répéteurs-régénérateurs. Le WDM permet de répondre à cette demande par l'injection simultanément sur une même fibre plusieurs canaux utilisant des longueurs d'onde distinctes. L'ensemble des répéteurs-régénérateurs a été remplacé par un seul équipement : l'amplificateur optique. Le WDM évite ainsi tous les coûts de génie civil de repose de fibre optique.

Ce travail a pour objectif de connaître le rôle des différents paramètres dans une chaîne de transmission optique multiplexée à travers plusieurs simulations à avec le logiciel OptiSystem qui nous permet d'évaluer la qualité de transmission.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

**Le premier chapitre :** consacré à présenter les différents composants optiques et optoélectroniques constituant la liaison optique tout en expliquant leur rôle et leurs limites de fonctionnement et une description des différentes méthodes utilisées pour la modulation du signal.

**Le second chapitre :** présente l'ensemble des techniques de multiplexage dans les systèmes de transmissions optiques particulièrement le multiplexage WDM (Wavelength Division Multiplexing). Il présente également les différents composants nécessaires pour le multiplexage. Ainsi que les solutions pour l'augmentation de capacité du système.

**Le dernier chapitres :** présente le logiciel optisystem où on a simulé des liaison optique WDM de plusieurs canaux et enfin nos résultats et interprétation de la simulation.

# Chapitre 1 :

## étude d'une liaison optique

## 1.1 Introduction :

Le principe de toute transmission de données est de permettre aux informations de circuler entre l'émetteur et le récepteur, tout en minimisant le risque de distorsion du signal reçu, garantissant ainsi la fiabilité maximale de la transmission des informations.

Ce chapitre est consacré à présenter les différents composants optiques et optoélectroniques constituant la liaison optique tout en expliquant leur rôle et leurs limites de fonctionnement et une description des différentes méthodes utilisées pour la modulation du signal.

## 1.2 Description d'une liaison optique :

Une liaison optique est composée des éléments suivants :

- Un émetteur optique (source).
- Une ligne de transmission.
- Un récepteur optique.

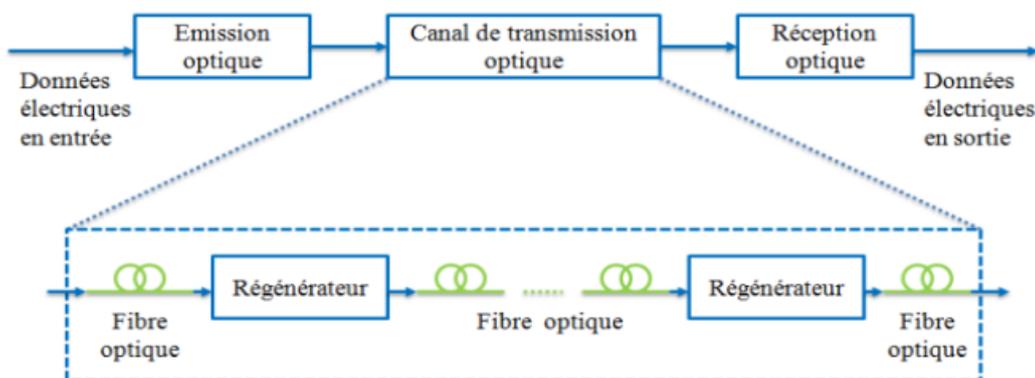


Figure1.1 : schéma d'une liaison optique

La partie émission optique est constituée d'une diode électroluminescente (DEL) ou une diode laser (DL) qui a pour rôle de transformer le signal électrique en signal optique. En suite le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information. Enfin Le récepteur (photodétecteur) convertit le signal optique reçu en signal électrique [1].

## 1.3 La fibre optique :

La fibre optique est le support de transmission idéal et le plus fiable, le plus sécurisée et plus rapide.

### 1.3.1 Structure de la fibre optique :

Une fibre optique peut être assimilée à un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données.

# Chapitre 1 : Etude d'une liaison optique

Elle possède un indice de réfraction élevé et offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux.

La fibre optique est composée de :

- un cœur : fil de verre très fin (quelque micromètre de diamètre).
- une gaine qui emprisonne la lumière dans le cœur en la réfléchissant pratiquement sans perte.
- un revêtement de protection qui peut réunir plusieurs dizaines à plusieurs centaines de fibres, d'un système de connexion très spécifique.

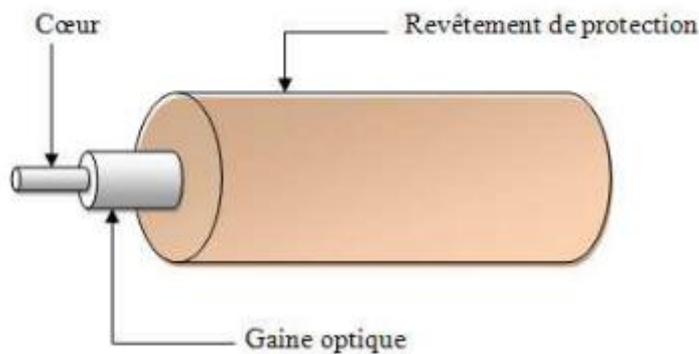


Figure 1.2 : Constitution générale d'une fibre optique

Le cœur et la gaine optique sont responsables de la propagation du signal lumineux au sein de la fibre. En effet, c'est grâce à la différence d'indice de réfraction des deux milieux (cœur + gaine) que la propagation est possible. Chaque élément joue donc un rôle bien précis.

## 1.3.2 Principe de fonctionnement de la fibre optique :

Le principe de fonctionnement d'une fibre optique est basé sur multiples réflexions totales internes de la lumière à la surface de séparation des deux milieux [1].

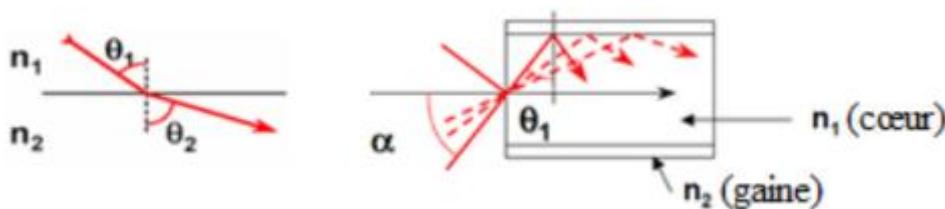


Figure 1.3 : Angle d'incidence d'entrée dans une fibre optique.

$n_1$  : indice de réfraction de milieu 1

$n_2$  : indice de réfraction de milieu 2

Si  $n_2 > n_1$  le rayon s'écarte de la normale et si  $\theta_1 > \arcsin(\frac{n_2}{n_1})$ , il y a réflexion totale. Ce principe a été démontré par Snell-Descartes qui a établi la relation suivante :

$$n_1 \sin \theta = n_2 \sin \theta \quad (1.1)$$

L'angle d'incidence maximal ( $\alpha_{\max}$ ) à l'entrée d'une fibre c'est-à-dire l'ouverture numérique est défini par la relation suivante :

$$ON = \sin \alpha_{\max} = n_1 \sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta_{\text{lim}} \right) = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (1.2)$$

### 1.3.3 Les différents types de la fibre optique [2] :

Il existe 2 grands types de fibres:

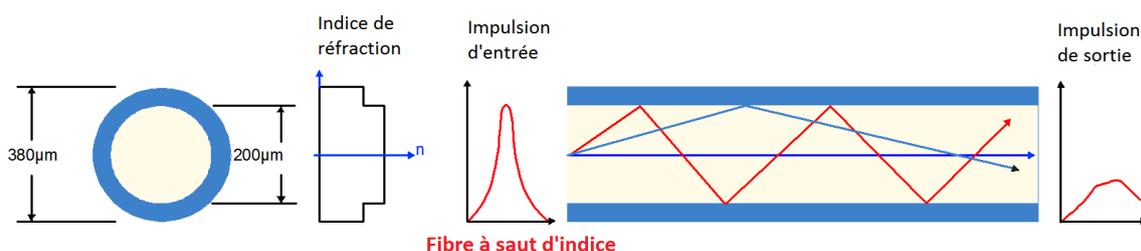
- Multimode : dans lequel il existe différents modes de propagation de la lumière au sein du cœur de la fibre.
- Monomode : dans lequel il existe un seul mode de propagation de la lumière, le mode en ligne droite.

#### 1.3.3.1 Fibre multimode à saut d'indice :

La fibre multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux locaux de type LAN.

Etant donné que la fibre à saut d'indice est multimode, il existe plusieurs modes de propagation de la lumière au sein de son cœur de silice.

Il existe dans cette fibre une très grande variation entre l'indice de réfraction du cœur et de la gaine optique. C'est pour cela que les rayons lumineux se propagent par réflexion totale interne en "dent de scie".



**Figure 1.4:** Fibre multimode à saut d'indice.

La fibre à saut d'indice possède un cœur très large.

L'atténuation sur ce type de fibre est très importante comme on peut le voir sur la différence des impulsions d'entrée et de sortie.

Débit: environ 100 Mbit/s

Portée maximale: environ 2 Km

Affaiblissement: 10 dB/Km

## 1.3.3.2 Fibre multimode à gradient d'indice :

La fibre multimode à gradient d'indice est elle aussi utilisée dans les réseaux locaux. C'est une fibre multimode, donc plusieurs modes de propagation coexistent. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de réfraction entre cœur et gaine.

Cependant, le cœur des fibres à gradient d'indice est constitué de plusieurs couches de matière ayant un indice de réfraction de plus en plus élevé.

Ces différentes couches de silice de densités multiples influent sur la direction des rayons lumineux, qui ont une forme elliptique.

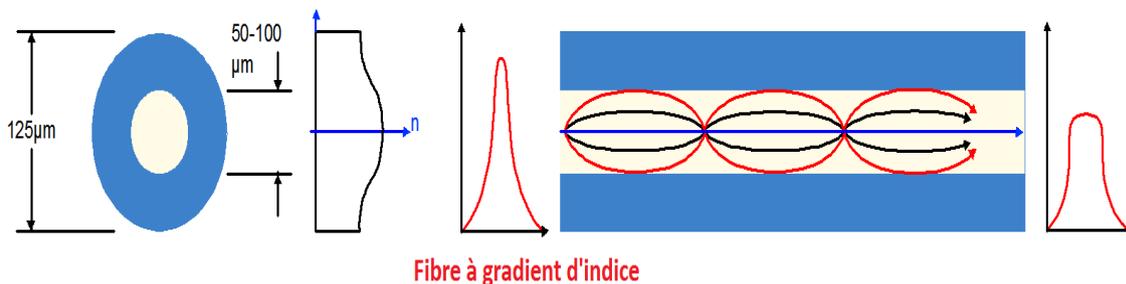


Figure1.5: Fibre multimode à gradient d'indice.

La fibre à gradient d'indice possède un cœur de taille intermédiaire.

L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice.

Débit: environ 1 Gbit/s

Portée maximale: environ 2 Km

Affaiblissement: 10 dB/Km

## 1.3.3.3 La fibre monomode :

La fibre monomode est la meilleure fibre existante à l'heure actuelle. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les cœurs de réseaux mondiaux.

Un seul mode de propagation de la lumière existe : c'est le mode en ligne droite.

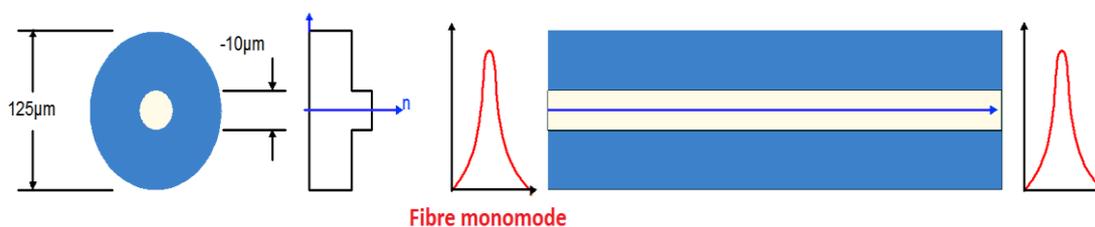


Figure1.6 : la fibre monomode

La fibre monomode possède un cœur très fin, de la taille d'un cheveu !

L'atténuation sur ce type de fibre est quasi nulle, c'est ce qui fait sa force.

# Chapitre 1 : Etude d'une liaison optique

Débit: environ 100 Gbit/s

Portée maximale: environ 100 Km

Affaiblissement: 0,5 dB/Km

## 1.3.4 L'atténuation dans la fibre optique :

L'atténuation dans les fibres optiques caractérise l'affaiblissement du signal au cours de sa propagation.



Figure1.7 : effet de l'atténuation

Elle est définie en dB/Km par la relation :

$$A[dB] = 10 \log \left( \frac{P_e}{P_r} \right) \quad (1.3)$$

Avec :  $P_e$  : la puissance lumineuse à l'entrée,

$P_r$  : est la puissance lumineuse à la sortie

Une perte, ou atténuation se traduit par la perte d'énergie lumineuse dans la fibre. Elle est mesurée en dB/Km. Les longues portées utilisées avec les fibres optiques influent directement sur le signal lumineux, mais ce n'est pas la seule cause d'atténuation qui existe, en effet, l'absorption, la diffusion, les courbures et les pertes de connectiques sont les principales causes de l'atténuation [3].

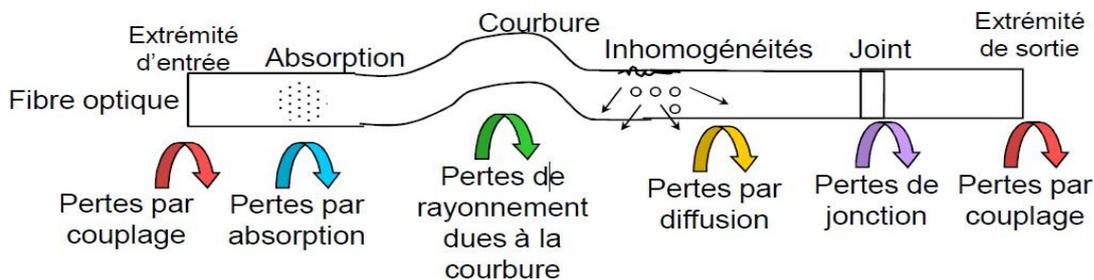


Figure1.8: Bilan de perte dans une fibre optique

On définit trois fenêtres de transmission utilisées avec une fibre en silice:

- La première fenêtre, vers  $0.85\mu\text{m}$ , correspond au maximum de sensibilité des détecteurs classiques au silicium.

## Chapitre 1 : Etude d'une liaison optique

- La deuxième fenêtre, vers  $1.3\mu\text{m}$ , donne une atténuation assez faible (de l'ordre de  $0.5\text{ dB/Km}$ ).
- La troisième fenêtre, vers  $1.55\mu\text{m}$ , correspond à l'affaiblissement linéique minimal ( $0.2\text{ dB/Km}$ ), mais les composants optoélectroniques associés sont plus spécifiques.

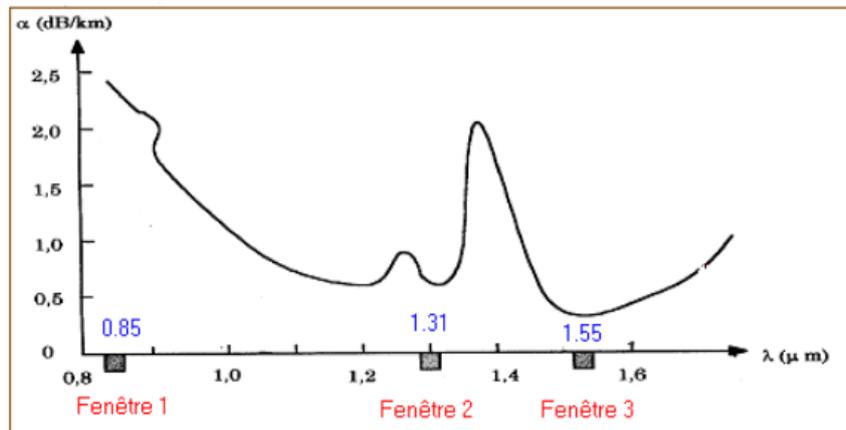


Figure 1.9 : Atténuation spectrale d'une fibre optique

### 1.3.5 La dispersion :

La dispersion dans une fibre est répartie en deux types : chromatique et modale.

#### 1.3.5.1 Dispersion chromatique :

La dispersion chromatique caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion due au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil [4].

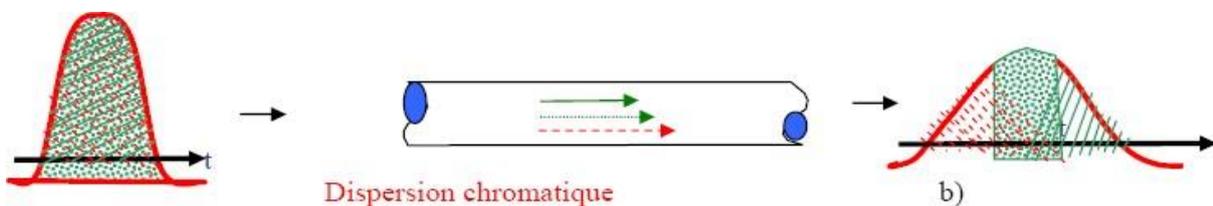


Figure1.10: Dispersion chromatique

#### 1.3.5.2 Dispersion modale (ou intermodale) :

Dans une fibre optique multimode, les impulsions lumineuses se propagent en plusieurs modes, chacun suivant une trajectoire différente.

L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartie entre les différents modes

## Chapitre 1 : Etude d'une liaison optique

qui se propage dans le cœur. L'ensemble des retards entre les différents rayons, composant le signal lumineux, détermine en réception une distorsion du signal électrique obtenu par le convertisseur optique - électrique; cette distorsion est la dispersion modale [5].

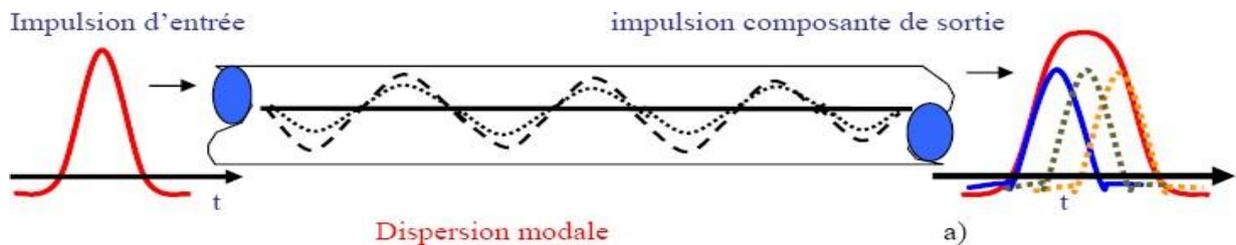


Figure1.11: Dispersion modale

### 1.3.6 Effets non linéaire dans les fibres optiques :

#### 1.3.6.1 L'effet Kerr optique [6] :

Un type d'effet non-linéaire très important dans les fibres optiques est l'effet Kerr. Celui-ci apparaît lorsque l'intensité du signal devient si importante qu'elle peut modifier significativement l'indice de réfraction  $n$  de la fibre.

Cet effet non linéaire se caractérise par la relation de constitution suivante:

$$n = n_0 + n_2 |E|^2 = n_0 + n_2 I \quad (1.4)$$

#### 1.3.6.2 Effets Raman et Brillouin [7] :

L'effet Raman est le plus connu contrairement à l'effet Brillouin qui est souvent négligé en régime picoseconde car son temps de réponse est de l'ordre de la nanoseconde. L'effet Raman est une interaction photon-phonon. Il résulte d'un processus de diffusion de la lumière par les molécules. Il y a d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau. Dans l'effet Brillouin, il y a interaction entre le photon et l'ensemble des vibrations du matériau. La variation d'indice de réfraction de la fibre en fonction de la longueur d'onde fait diffuser la lumière.

### 1.4 Emission optique [8] :

L'émetteur optique est un dispositif qui a pour rôle de convertir l'énergie électrique en énergie optique avec un rendement satisfaisant et encore plus il assure un bon couplage avec la fibre. Pour être exploitable, avec une certaine qualité, le signal lumineux reçu doit être supérieur à un certain seuil de puissance et doit présenter une largeur de bande minimale. En télécommunications optiques, la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus en plus

larges impose le choix de sources à spectres réduits telles que les diodes Laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL). Ces deux sources sont réalisées à partir de jonctions PN polarisées en direct. Le principe d'émission est dû à la recombinaison des paires électrons trou.

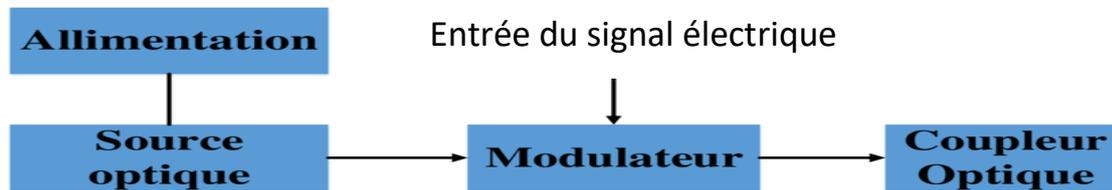


Figure1.12: Structure d'un émetteur optique.

### 1.4.1 la diode électroluminescente (DEL) :

C'est un dispositif optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens (le sens passant, comme une diode classique, l'inverse étant le sens bloquant) et produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique non cohérent à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse [9].

### 1.4.2 La diode laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques s'est porté sur les émetteurs à semi conducteur à cause de leurs petites dimensions en rapport avec celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité que l'on a à moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique.

Ainsi 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.

Les diodes laser se caractérisent par l'étroitesse de la longueur d'onde qu'elles émettent, le spectre émis se composant de plusieurs raies centrées autour de la longueur d'onde principale [10].

## 1.5 Récepteur optique :

La fonction d'un récepteur dans un système de transmission optique est de détecter et de démoduler un signal lumineux transmis sur une fibre. La détection consiste en la conversion du signal optique en signal électrique. La démodulation est généralement accomplie ensuite par les techniques habituelles des systèmes de transmission électriques. La détection est assurée par des photodiodes semi-conductrices qui fournissent un courant proportionnel à la puissance lumineuse moyenne interceptée; cette moyenne (temporelle) étant prise sur un

temps d'intégration caractéristique de la technologie de la diode et du circuit électrique dans lequel elle est montée. Les modulations d'amplitude ne seront donc détectées que si leur période est suffisamment grande par rapport au temps d'intégration [11].

### **1.5.1 Photodétecteur :**

Le Photodétecteur est un semi-conducteur de jonction PN polarisé en inverse il permet la conversion du signal optique reçu (les photons) en signal électrique par l'effet photoélectrique.

#### **1.5.1.1 Photodiode PIN :**

Cette photodiode, polarisée en inverse, est réalisée à partir de trois couches de semi-conducteur. Deux couches fortement dopées P+ et N+ entre lesquels existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque) où il existe très peu de charges mobiles. Les photodiodes PIN sont les plus utilisés car elles sont peu coûteuses et simples à utiliser avec une performance satisfaisante [8].

#### **1.5.1.2 Photodiode à avalanche APD :**

La photodiode d'avalanche est une diode PIN dans laquelle est réalisée une amplification de puissance, cela permet d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse affaiblie. Les photodiodes à avalanche sont aussi utilisées grâce à leurs performances, leur gain important et leur réponse rapide mais elles sont plus coûteuses, difficiles à utiliser et nécessitant une polarisation inverse très forte [8].

### **1.6 Modulation du signal :**

La modulation est le procédé qui permet au laser de transmettre de l'information dans une fibre optique en faisant varier certaines caractéristiques du signal lumineux mis en particulier, son amplitude sa fréquence ou sa phase. La fréquence de modulation détermine le débit de données qui peut être transmis. On parle de modulation directe ou externe selon que le laser lui-même ou un composant extérieur «modulateur» fait varier le signal [12].

#### **1.6.1 Modulation directe :**

On agit sur le courant de jonction qui provoque l'effet laser. La puissance optique délivrée varie linéairement en fonction du courant. Ce type de modulation provoque une modification dynamique du spectre due à la conversion amplitude-fréquence (désignée par le terme anglo-américain de chirp) et du diagramme de rayonnement, avec des effets nuisibles aux grandes vitesses de modulation [8].



Figure1.13: Modulation directe.

### 1.6.2 Modulation externe :

Elle permet de contourner cette difficulté, l'émetteur est alors constitué d'une source optique émettant une onde pure suivie d'un modulateur externe. Le courant d'injection du laser n'est plus modulé. La modulation externe présente de nombreux avantages. Elle est plus rapide et permet donc d'envoyer des débits plus élevés [8].

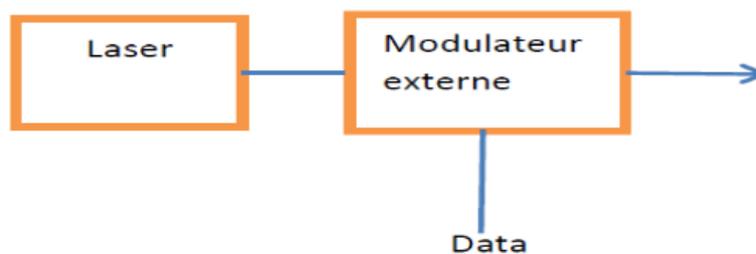


Figure1.14: Modulation externe.

### 1.6.3 Le modulateur Mach-Zehnder:

Le modulateur Mach-Zehnder est un modulateur d'intensité sur la base d'un principe d'interférométrie. Il est composé de deux coupleurs 3 dB qui sont reliés par deux guides d'ondes de même longueur. Au moyen d'un électro-optique effet, une tension appliquée en externe peut être utilisée pour faire varier les indices de réfraction dans les branches d'ondes. Les différentes voies peuvent conduire à des interférences constructives et destructives à la sortie, en fonction de la tension appliquée. Ensuite, l'intensité de sortie peut être modulée en fonction de la tension [7].

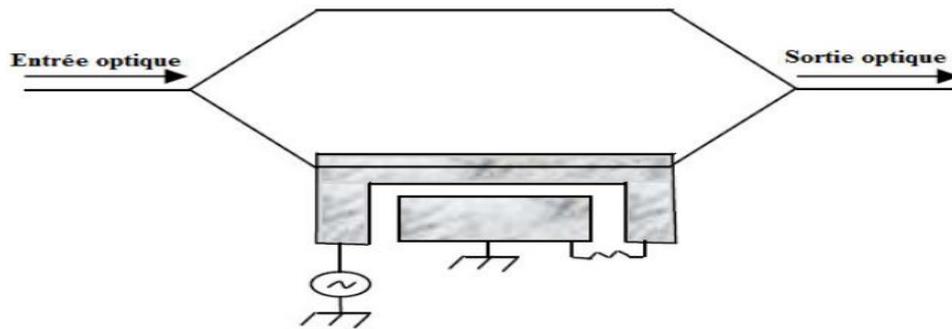


Figure 1.15 : Structure d'interféromètre Mach-Zehnder.

### 1.7 Intérêts des télécommunications optiques :

Comparée aux autres supports de transmission, la fibre optique présente un certain nombre d'avantages :

- Faibles pertes de transmission.
- Bande passante énorme.
- Isolation électromagnétique.
- Immunité aux interférences et à la diaphonie.
- Sécurité du signal.
- Petites dimensions et faibles poids.
- Flexibilité.
- Systèmes fiables et faciles à entretenir.
- Matière première disponible et faible coût.

### 1.8 Conclusion :

Dans ce chapitre on a vu une description d'une liaison par fibre optique, la composition de la fibre, ses différents types et son principe de fonctionnement, les blocs d'émission optique et de réception optique, les différents modulateurs, aussi, nous avons présenté les effets non-linéaires qui limitent les distances de propagation et les débits de transmission.

## chapitre 2:

# les différentes techniques de transmission

### 2.1 Introduction :

Actuellement, les dispositifs optiques sont utilisés dans toutes les transmissions à large bande, les réseaux de télécommunications, les transmissions sous-marines et terrestres. Cela est dû à la grande capacité de transmission disponible dans la fibre optique.

Cependant, la demande croissante de trafic a conduit les gens à rechercher une technologie pour augmenter la capacité de transmission des réseaux optiques. En effet, avec la technologie WDM (wavelength division multiplexing), une grande quantité d'informations peut être transmise sur une seule fibre optique. De plus, l'amplificateur optique EDFA peut également étendre la distance de transmission.

Dans ce chapitre on va présenter l'ensemble des techniques de multiplexage dans les systèmes de transmissions optiques particulièrement le multiplexage WDM. Ainsi que les solutions pour l'augmentation de capacité du système. Il présente également les différents composants nécessaires pour le multiplexage.

### 2.2 Techniques de multiplexage :

Le **multiplexage** est une technique qui consiste à faire passer deux ou plusieurs informations à travers un seul support de transmission

On distingue 4 techniques principales de multiplexage de l'information :

- Le multiplexage fréquentiel ou FDM (**F**requency **D**ivision **M**ultiplexing) ;
- Le multiplexage temporel ou TDM (**T**ime **D**ivision **M**ultiplexing) .
- Le multiplexage par répartition de codes ou CDM (**C**ode **D**ivision **M**ultiplexing) .
- Le multiplexage en longueur d'onde ou WDM (**W**avelength **D**ivision **M**ultiplexing).

#### 2.2.1 Multiplexage temporel TDM (**T**ime **D**ivision **M**ultiplexing) :

Le multiplexage temporel TDM consiste à offrir à un utilisateur la totalité de la bande passante pendant un court instant. L'allocation de la bande passante se fait en divisant l'axe du temps en intervalles de temps, et chaque utilisateur ne pourra transmettre que pendant son intervalle (figure 2.1). Ainsi, le multiplexage temporel permet de regrouper plusieurs signaux à faible débit en un seul signal à haut débit. A la réception, chaque canal temporel est demultiplexé puis acheminé vers sa destination. On peut réaliser électroniquement les fonctions de multiplexage/démultiplexage temporels avec des circuits intégrés ultra-rapides

## Chapitre 2 : les différentes techniques de multiplexage

(40 Gbits/s en laboratoire). Toutefois, le coût extrême de ces circuits pour les très hauts débits suggère d'effectuer le multiplexage temporel par des moyens purement optiques [1].

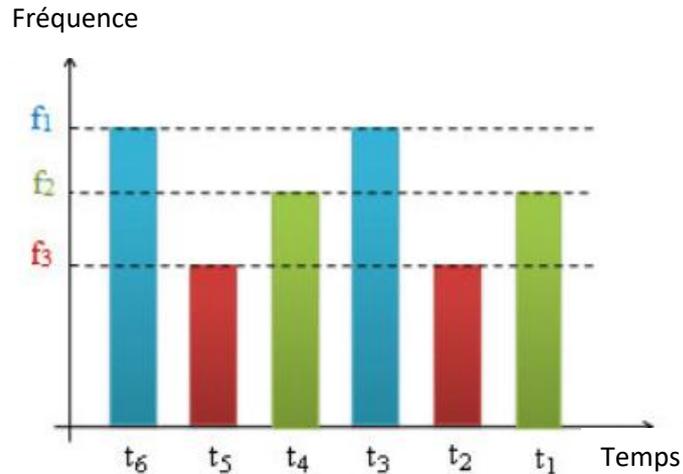


Figure 2.1: Schéma de principe de Multiplexage temporel.

### 2.2.2 Multiplexage fréquentiel FDM (Frequency Division Multiplexing) :

Cette technologie permet à tous les émetteurs ou sources d'informations de transmettre simultanément chaque source avec son propre canal ou bande passante. Les seuls systèmes qui utilisent cette technologie sont la FM commerciale ou tous les systèmes de «diffusion», comme la télévision. La figure suivante illustre cette technique. [2].

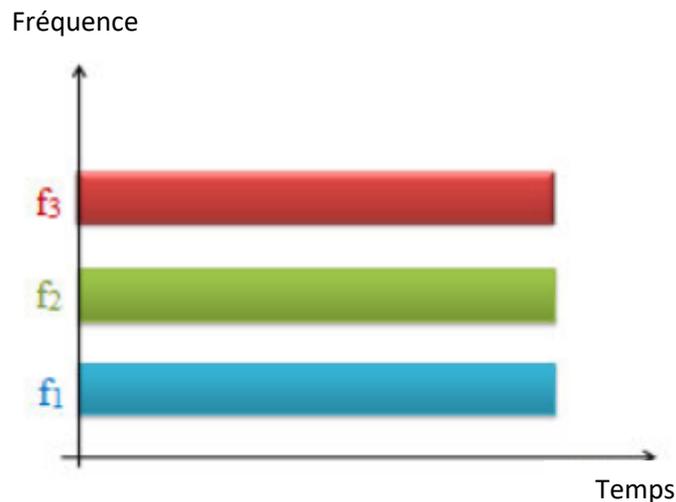


Figure 2.2 : Schéma de principe de Multiplexage fréquentiel.

### 2.2.3 Multiplexage à répartition par code CDM (Code Division Multiplexing)

Cette technique permet la transmission des données des utilisateurs sur la même bande de fréquence et en même temps. Le principe consiste à attribuer à chaque utilisateur un code,

## Chapitre 2 : les différentes techniques de multiplexage

---

appelé également « signature », constitué d'une suite de bits rapides (appelés « chips » pour les distinguer des bits de données de l'utilisateur). Le débit après codage est celui des données utilisateur multiplié par la longueur de la séquence de codes [3].

### **2.2.4 Multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing)**

Le multiplexage par répartition en longueurs d'onde, développé dans les années 1980 et commercialisé au milieu de l'année 1990, est la technique la plus récente utilisée dans la transmission d'informations sur fibres optiques.

#### **2.2.4.1 Principe**

La technique WDM consiste à injecter simultanément plusieurs canaux d'informations de  $N$  porteuses optiques, à différentes longueurs d'onde transmettant chacune un débit  $D$ , dans une même fibre optique en partant du principe que les différentes longueurs d'onde d'une impulsion de lumière se propageant sur la fibre optique à des vitesses différentes. En effet la fibre optique possède une atténuation très faible (0.2 dB/km) dans la fenêtre de transmission 1.5-1.6  $\mu\text{m}$ , ce qui représente une bande passante disponible de plus de 15 000 GHz, soit un potentiel de transmission numérique d'au moins 5 Tbit/s par fibre, l'équivalent de 80 millions de voies téléphoniques [1].

#### **2.2.4.2 Fonctionnement :**

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes lasers émettant à des longueurs d'ondes différentes mais assez proches (dans le voisinage des 1550 nm). A la réception un démultiplexeur optique pour combiner/séparer les différentes longueurs d'onde qui sont ensuite converties vers le domaine électronique qu'au moyen de photodiodes. La Figure 2.3 représente un exemple d'une liaison utilisant le multiplexage WDM [4].

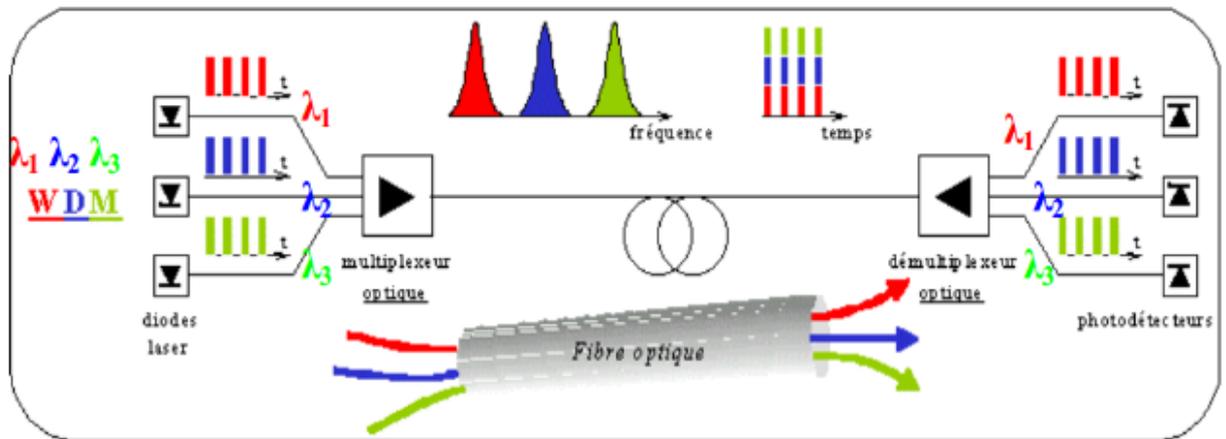


Figure 2.3 : Schéma de principe du multiplexage en longueur d'onde.

Pour assurer une bonne qualité de transmission du signal dans la fibre, il faut déterminer l'espacement minimum à respecter entre les longueurs d'onde émises par chaque source pour s'assurer qu'il n'y ait pas de chevauchement.

Cet espacement dépend de plusieurs facteurs :

- Qualité de la fibre,
- Qualité des multiplexeurs/démultiplexeurs,
- Longueur de transmission,
- Qualité des sources,
- Débit des données de chaque source ...

La fibre optique transporte alors un débit numérique égal à  $N * D$ . Ce débit numérique est souvent défini comme capacité du système.

- **DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)**

Le multiplexage DWDM correspond à l'évolution du WDM. Il augmente la densité des signaux optiques transmis en associant jusqu'à 160 longueurs d'onde dans la même fibre. On atteint ainsi des débits de 300 à 400 Gbps. Des systèmes utilisant des pas de 50 GHz (0,4 nm) et de 25 GHz (0,2 nm) permettent d'obtenir respectivement 80 et 160 canaux optiques. La

## Chapitre 2 : les différentes techniques de multiplexage

---

technologie DWDM présente cependant des coûts assez élevés, On l'emploie désormais pour les transmissions longues distance [5].

- **U-DWDM (Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing)**

Pour des intervalles encore plus petits, on parlera d'U-DWDM. Ainsi, des systèmes à 10 GHz (0,08 nm) permettent d'obtenir 400 canaux optiques. On peut actuellement avec 160 longueurs d'onde différentes atteindre des débits de 1,6 Tbps.

- **CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)**

Utilise des longueurs d'onde comprises entre 1270 et 1610 nm, respectivement espacées de 20 nm, 18 canaux au maximum sont utilisables. Mais une technologie moins coûteuse utilisable notamment pour les boucles locales (MAN).

- **WWDM (Wide Wavelength Division Multiplexing)** Le multiplexage WWDM est un autre dérivé du WDM. Il est encore plus restrictif que le CWDM puisqu'il n'autorise l'utilisation que de quatre canaux au maximum. Les canaux ont une longueur d'onde comprise entre 1275,7 nm et 1349,2 nm. Les canaux sont espacés de 24,5 nm entre eux et travaillent sur une longueur d'onde de 1310 nm. Ce multiplexage peut être utilisé sur des fibres multimode et monomode.

### 2.3 Le développement des capacités :

La capacité d'un système WDM peut être augmentée en jouant soit sur le débit de chaque canal, soit sur le nombre de canaux, ou sur les deux en même temps.

#### 2.3.1 Augmentation du débit par canal :

L'augmentation des débits est de plus en plus élevée. Si les premiers systèmes WDM travaillaient avec des débits de 2,5 Gbit/s, rapidement des transmissions à 10 Gbit/s sont apparues pour atteindre aujourd'hui des débits de 40Gbit/s par canal. Mais cette augmentation du débit rend le signal de plus en plus sensible aux défauts de la propagation, tant linéaires que non linéaires. Ainsi, la dispersion chromatique (autour de 16,5 ps/(nm.km) à 1550 nm pour une fibre de type SMF-28), néfaste à la transmission d'information, ne pourra plus être négligée et des solutions de compensation de dispersion devront être trouvées et développées. De même l'apparition de puissance injectée plus élevée ainsi que la dispersion modale de polarisation seront aussi des facteurs de dégradation très importants et leurs impacts devront être maîtrisés [1].

### 2.3.2 Augmentation du nombre de canaux

Pour augmenter le nombre de canaux, une méthode consiste à diminuer l'espacement entre chaque longueur d'onde tout en restant dans la même bande. Les espacements utilisés prennent alors pour valeurs 50 GHz (ou 0,4 nm) voir 25 GHz (0,2 nm). Des centaines de canaux peuvent donc être obtenus dans une même bande. Du fait que l'espacement se trouve inférieur à 100 GHz, on parle alors de technologie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Ce resserrement impose par ailleurs des tolérances de plus en plus faibles sur la stabilité des lasers et des filtres qui séparent les canaux dans le démultiplexeur [5].

### 2.4 Comparaison entre WDM et TDM [6] :

Au premier abord, on pourrait penser que les deux approches de multiplexage optique TDM et WDM sont semblables. Elles le sont au niveau formel puisqu'elles permettent la superposition sur le même support physique de transmission de plusieurs canaux de communication, identifiables selon leur décalage temporel pour TDM et selon leur longueur d'onde pour WDM. Cependant, au niveau technologique l'approche TDM présente des inconvénients significatifs par rapport à l'approche WDM.

En premier lieu, les canaux TDM ne sont pas transparents pour le débit de modulation ni pour le type de modulation. Ils sont uniquement modulables numériquement en amplitude et leur débit imposé par le multiplexeur temporel. A l'inverse, chaque canal WDM peut être modulé individuellement, numériquement ou analogiquement, en amplitude ou en phase. Le débit de chaque canal WDM peut en outre être choisi arbitrairement, du moment que les signaux ne se recouvrent pas spectralement. Il en résulte une plus grande flexibilité.

Une autre caractéristique désavantageuse du multiplexage optique TDM provient du très haut débit du signal multiplexé, qui résulte de l'agrégation des canaux entrelacés temporellement. Cette conséquence inhérente au multiplexage temporel constitue un inconvénient majeur pour les systèmes de transmission optiques, lorsque le signal multiplexé se met à couvrir des dizaines de gigahertz. Le traitement électronique constitue alors un frein aux opérations de multiplexage et démultiplexage temporels, alors que l'approche WDM effectue celle-ci optiquement et passivement. De plus, le phénomène de dispersion limite d'autant plus la propagation du signal TDM multiplexé que son débit est important. Les débits moindres de chaque canal WDM permettant d'éviter ce problème.

## Chapitre 2 : les différentes techniques de multiplexage

---

Enfin, l'approche TDM souffre d'un manque d'extensibilité. L'addition d'un nouveau canal TDM nécessite une modification des décalages temporels et une resynchronisation de tous les canaux déjà existants. Inversement, l'indépendance des canaux WDM autorise la création d'un nouveau canal simplement par l'ajout d'un émetteur et d'un filtre optique appropriés, sans affecter les autres canaux .

### 2.5 utilisations de la technologie WDM :

L'intérêt premier du WDM est de permettre le transport de débits d'informations très importants sur une même fibre, à destination de plusieurs utilisateurs .

On distingue souvent deux segments d'applications:

Métropolitain (Metro)

-Technologies WDM employées : CWDM et DWDM

-Applications : liaisons entre les établissements d'une entreprise, boucles optiques au niveau d'une agglomération, distance typiquement inférieure à 100 km

-Topologie : point à point, boucle ou maillage. Généralement sans nœud de régénération ou d'amplification

-Interfaces : diverses (interfaces numériques SONET/SDH haut et bas débit, gigabit Ethernet, fibre Channel, ...)

Longue Distance ( Long Haul)

Technologie WDM employée : DWDM

Applications : grandes artères sur des longues distances (> 100 km), câbles sous-marins internationaux

Topologie : point à point, avec un nœud de régénération

Interfaces : débits les plus élevés possibles (2,5, ou un multiplexeur optique d'insertion-extraction tous les 80 km environ 10 ou 40 Gbit/s)

### 2.6 Amplificateurs optiques :

La création des amplificateurs optiques a constitué un tournant pour le développement des systèmes de transmission optique. Les amplificateurs optiques sont désormais une vraie alternative à la solution lourde et coûteuse des répéteurs-régénérateurs. Leur large bande d'amplification permet de couvrir toutes les bandes optiques utilisées par les systèmes WDM.

#### 2.6.1 Amplificateur optique à semi-conducteur (SOA) :

Développé dans les années 1980, l'amplificateur optique à semi-conducteur SOA (Semiconductor Optical Amplifier) utilise le même principe de fonctionnement qu'un laser, avec un pompage électrique par injection de courant[3].

### 2.6.2 Amplificateur optique à fibre dopée Erbium (EDFA) :

C'est l'amplificateur le plus abouti. Très étudié au début des années 1990, il a été mis en service pour la première fois en 1995. Un amplificateur optique absorbe l'énergie fournie par l'extérieur désigné par le terme de pompage. Il la restitue au signal pour le renforcer et l'amplifier [8]. Les amplificateurs à fibre fonctionnent à la longueur d'onde de 1550 nm. Un de leurs avantages est la simplicité du dispositif [9] (figure 2.4).

L'EDFA se compose pour : d'une fibre active de quelques mètres de longueur, dopée avec des ions appropriés (erbium), et connectée à la fibre de ligne, d'une pompe et d'un dispositif de couplage de la lumière de la pompe vers la fibre dopée. Le couplage de la lumière de la pompe dans la fibre est obtenu à l'aide de multiplexeur. Il est habituel d'ajouter deux isolateurs (diode optique), une à l'entrée, l'autre à la sortie, qui ne laissent passer la lumière que dans un sens. Les longueurs d'onde les mieux adaptées à ce type d'amplificateur sont : 980 et 1480 nm [5].

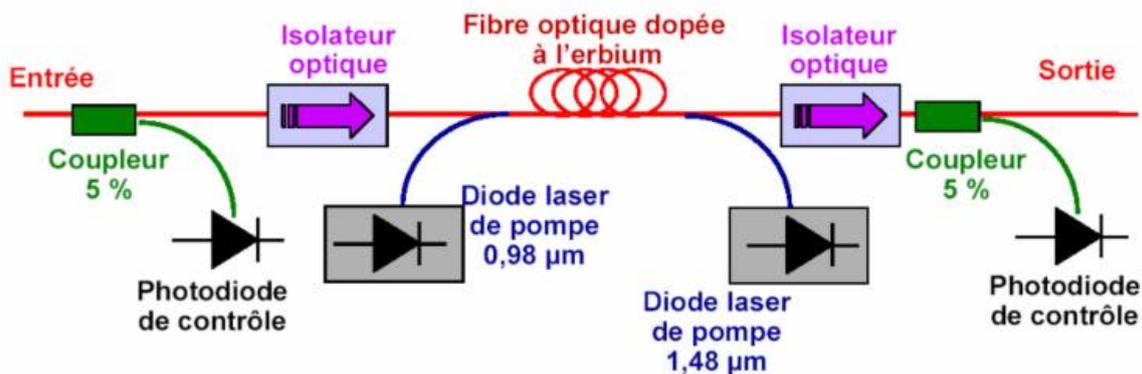


Figure 2.4 : Schéma d'un amplificateur optique à fibre dopé erbium.

Généralement, les EDFA possèdent un gain de 25 à 45 dB et des puissances de saturation allant de 1 à 10 mW (0 à 10 dBm). les EDFA ont une large bande passante (1530-1560 nm) pour laquelle le gain est quasiment identique, ce qui rend intéressant ces amplificateurs quand on veut amplifier simultanément plusieurs signaux multiplexés en longueur d'onde .

### 2.6.3 Amplificateur Raman [10] :

De nouveaux amplificateurs optiques tels que les amplificateurs Raman prennent une part non négligeable dans les systèmes de télécommunications. Ils sont basés sur le principe de la diffusion Raman, qui est un effet non linéaire à deux photons dans lequel un photon de pompe est absorbé et un photon de plus faible énergie est émis en même temps qu'un phonon. Ce phénomène peut être spontané s'il n'y a pas de photon signal, ou stimulé par la présence d'un

photon signal. Ainsi, dans le cas de l'amplificateur Raman, l'onde incidente, dite onde de pompe, stimulée par l'onde signal, va créer une autre onde signal et un phonon. L'amplification est alors réalisée.

Comme pour les autres amplificateurs optiques, l'amplificateur Raman a besoin d'une source externe, une source optique. Des lasers YAG sont le plus souvent utilisés dans ce cas, ils émettent une longueur d'onde inférieure à celle du signal. L'avantage principal de ces lasers est d'être accordable sur une très grande plage de longueurs d'onde. Le gain obtenu peut atteindre quelques dizaines de décibels, mais une saturation qui s'accompagne d'une forte dégradation du rapport signal sur bruit (l'émission spontanée continuant à être amplifiée) peut apparaître. La limite en puissance est due à la génération d'une onde autre que l'onde signal lors de la diffusion Raman.

### **2.6.4 Comparaison des amplificateurs :**

L'amplificateur à semi-conducteur n'apparaît que très peu dans un système de transmission, car il présente aujourd'hui des caractéristiques assez peu favorables, au regard des EDFA. On notera cependant qu'il est le meilleur candidat à 1,3  $\mu\text{m}$ . De plus, il se prête à l'intégration monolithique, ce qui est difficilement réalisable avec les EDFA. L'apparition de ces derniers a néanmoins eu des conséquences fondamentales. Ils ont permis de fabriquer un milieu de propagation sans perte sur une très grande distance dans les systèmes de transmission travaillant à 1,55  $\mu\text{m}$ . En les insérant périodiquement, ils trouvent leur application dans les liaisons sous-marines. Ils introduisent de plus faibles pertes d'insertion, une faible distorsion du signal, un gain plus important et sont insensibles à la polarisation de la lumière incidente contrairement aux AOSC. Ceci conduit à préférer les EDFA. Leur plus gros défaut est leur limite à amplifier uniquement autour de 1550 nm [11].

### **2.7 Fibres compensatrices DCF (Dispersion Compensating Fiber) :**

Une des meilleures solutions permettant de minimiser les pénalités introduites par la dispersion chromatique sur une large bande de longueurs d'onde est d'utiliser des fibres compensatrices de dispersion (DCF) [12].

Elle consiste à introduire dans une liaison un tronçon de fibre produisant une dispersion chromatique de signe opposée à la fibre de ligne (SMF ou NZ-DSF). Etant donné que la dispersion chromatique d'une fibre varie avec la longueur d'onde (variation appelée pente de la Dch), il n'est pas possible de ramener la dispersion chromatique cumulée à zéro périodiquement, simultanément sur toute une bande de plusieurs nanomètres en ajoutant simplement une seule et même valeur négative [13].

## Chapitre 2 : les différentes techniques de multiplexage

---

L'idée est alors de combiner les deux fibres en utilisant le bon rapport de longueur donné par :

$$K = \frac{L_{\text{fibre de ligne}}}{L_{\text{DCF}}} = \left| \frac{D_{\text{ch DCF}}}{D_{\text{ch Fibre de ligne}}} \right| \quad (2.1)$$

La dispersion chromatique totale (ou cumulée) notée  $D_{\text{chT}}$  est alors définie par :

$$D_{\text{chT}} = D_{\text{ch fibre de ligne}} L_{\text{fibre de ligne}} + D_{\text{ch}} L_{\text{Dcf}} = 0 \quad (2.2)$$

Cette valeur (appelée aussi  $D_{\text{ch}}$  résiduelle) doit être ramenée à zéro (ou autour d'une valeur faiblement positive) en fin de chaque section. D'après la relation on doit obtenir une valeur de  $D_{\text{ch}}$  la plus négative possible pour limiter la longueur de fibre compensatrice à insérer [13].

La DCF est caractérisée par sa simplicité de mise en œuvre et sa bonne résistance aux éléments extérieurs, son avantage majeur est son caractère large bande, mais elle présente aussi des inconvénients comme les pertes linéiques non négligeables.

### 2.8 Convertisseurs optiques [5] :

Un convertisseur optique permet de modifier la longueur d'onde d'un signal optique. Ce composant est donc très utile pour les réseaux utilisant de nombreuses longueurs d'ondes. Deux grands types de technologies se distinguent :

#### Conversion optoélectronique :

Consiste à traduire le signal optique en signal électrique, puis émettre un nouveau signal optique avec une longueur d'onde différente. Cette technique est équivalente à la régénération du signal, c'est pourquoi on pourra profiter de la régénération du signal pour modifier la longueur d'onde d'un signal optique. Des expérimentations pour des débits de 10 Gbps ont été réalisées.

#### Conversion tout-optique :

Cette technique de conversion en longueur d'onde, permet d'atteindre de plus haut débits. Des expérimentations ont démontré la faisabilité de convertisseurs tout-optique opérant à 40 Gbps.

### 2.9 Les Technologies de transmission utilisées à Algérie télécom :

Le réseau de transmission fournit les capacités de transport des multimédia générées par les réseaux de commutation : IP, ATM, RTC, GSM, etc. CA ANNABA exploite essentiellement trois types de technologies sont considérées pour la transmission :

1. PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).

## Chapitre 2 : les différentes techniques de multiplexage

2.SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

3.D-WDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).



Figure 2.5 : Les modes de transmissions à Algérie télécom

### 2.10 Conclusion :

Nous avons présenter dans ce chapitre l'ensemble des techniques de multiplexage dans les systèmes de Transmissions optiques: multiplexage en longueur d'onde (WDM), en code (CDM), en fréquentiel (FDM) ou encore en temporel (TDM). on a citer leurs performances, avantages, et limitations.

L'approche WDM s'avère la méthode de multiplexage préférentielle pour les systèmes de transmission optiques, en raison de la transparence, de la flexibilité et de l'extensibilité des canaux WDM.

**chapitre 3:**

**simulation d'une liaison optique**

# Conclusion générale

## 4.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons simuler des liaisons optiques WDM de plusieurs canaux avec le logiciel OptiSystem qui est un logiciel destiné à la simulation des communications optiques.

## 4.2 Présentation du logiciel OptiSystem [1]:

Le logiciel OptiSystem développé par une société canadienne **Optiwave**; Optical Communication System Design Software, il permet aux ingénieurs et aux chercheurs de concevoir, simuler et d'analyser des systèmes de transmission optique. La diversité des systèmes simulés peut être étendue par la possibilité d'insérer des fonctions réalisées par l'utilisateur et qui peuvent être ajoutées aux systèmes simulés.

Le logiciel OptiSystem permet de tester et optimiser pratiquement n'importe quel type de liaison optique, il est basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communications par fibres optiques.

### 4.2.1 Interface OptiSystem :

L'interface OptiSystem contient une fenêtre principale partagée en plusieurs parties :

- 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.

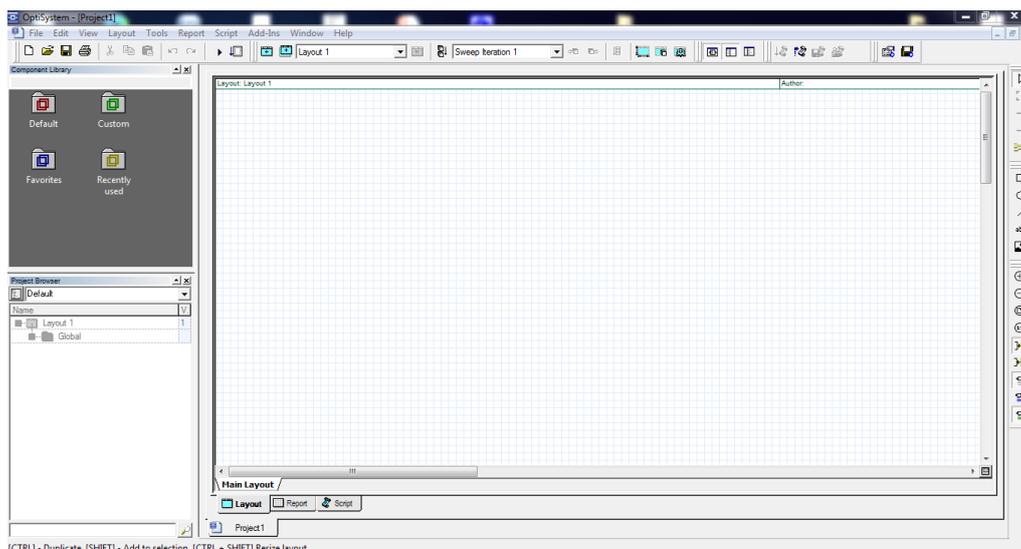


Figure 3.1 : Schéma de l'interface OptiSystem.

## Conclusion générale

---

### 4.2.2 Les caractéristiques du logiciel OptiSystem [2] :

Les principales caractéristiques du logiciel sont :

- Les composants virtuels de la bibliothèque sont capables de reproduire le même comportement et le même effet spécifié 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.
- Les outils de visualisation avancée produit 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 des visualiseurs 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 composants selon les données sélectionnées.

### 4.2.3 Les applications du logiciel OptiSystem [2]:

- Conception de système de communication optique du composant au niveau du système de la couche physique
- Conception de réseau CATV ou TDM / WDM
- FTTx à base de réseaux optiques passifs (PON)
- Systèmes optiques en espace libre (FSO)
- Radio sur fibre (ROF)
- Conception de l'anneau SONET / SDH
- Conception de l'émetteur, du canal, de l'amplificateur et du récepteur
- Conception de la carte de dispersion
- Estimation du BER et des pénalités du système avec différents modèles de récepteur BER système amplifié et calculs du budget de liaison
- Transmission monomode / multimode.
- Amplificateurs et lasers (EDFA, SOA, Raman, hybride, optimisation GFF, Lasers à fibre)
- Traitement du signal (électrique, numérique, tout optique).
- Conception du sous-système émetteur et récepteur (direct / cohérent)
- Formats de modulation (RZ, NRZ...).
- Analyse des performances du système (diagramme de l'œil / facteur Q / BER, puissance du signal / OSNR, états de polarisation, diagrammes de constellation, pénalités linéaires et non linéaires).

### 4.2.4 Les avantages du logiciel OptiSystem [1] :

Les avantages du logiciel OptiSystem sont:

- Obtenir un aperçu de performances du système de fibre optique.

## Conclusion générale

---

- Fournir un accès direct à des ensembles de données de caractérisation du système.
- Présentation virtuelle des options de conceptions.

La démarche à suivre pour simuler un système optique se fait en deux étapes :

- Construire le schéma boc.
- Analyser le schéma.

### 4.3 Résultats de la simulation :

#### 4.3.1 Description de notre chaine de transmission :

Le modèle simulé est constitué de 3 principaux blocs :

- Le bloc d'émission
- Le bloc de la portée optique (bloc de transmission)
- Le bloc de réception.

##### 4.3.1.1 Le bloc d'émission

Dans ce bloc, les composants qui le constituent sont:

**WDM Transmitter:** C'est une source optique possédant plusieurs sorties, une fréquence équivalente à 193.1 THz, un espacement entre canaux de 0.1 THz, une puissance de 0dbm ainsi qu'une modulation du type NRZ.

**Ideal Mux:** C'est un multiplexeur ajouté au transmetteur, il est chargé de combiner tous les canaux pour qu'ils soient transmis à travers la fibre optique. Signalons que ce dernier possède aussi une sortie qui est reliée à l'une des entrées du loop control pour la 2<sup>ème</sup> phase. A la sortie du multiplexeur, on visualise la forme du signal par Optical Spectrum Analyzer ainsi que les valeurs numériques des fréquences attribuées aux canaux à l'aide du WDM Analyzer.

##### 4.3.1.2 Le bloc de la portée optique (bloc de transmission) :

Ce bloc est constitué de :

**Une fibre SMF:** d'une atténuation de 0.2 dB/Km et une dispersion de 16.75(ps/nm.Km).

**Une fibre DCF:** d'une forte atténuation de 0.5 dB/Km et une dispersion de -87.49(ps/nm.Km). Cette fibre a pour rôle de compenser exactement les effets de dispersion chromatique causés par le tronçon de fibre de ligne qui la précède, raison pour laquelle on lui attribue une dispersion négative.

**Un amplificateur EDFA:** A la sortie de chaque tronçon de fibre est disposé un amplificateur EDFA pour compenser les pertes accumulées durant la propagation. A la fin de cette chaine, un démultiplexeur sépare tous les canaux

## Conclusion générale

---

### le bloc de réception :

Dans cette partie le module est fait d'un démultiplexeur WDM, une fréquence fondamentale de 193.1 THz, un espacement entre canaux de 0.1THz et une largeur de bande de 10GHz. En effet, chaque port est relié à un :

**récepteur optique :** pour convertir le signal optique en signal électrique, il est constitué de:

- une photodiode PIN : avec une sensibilité de  $1(A/W)$  et courant d'obscurité :  $10(nA)$ .
- un filtre passe-bas du type Bessel :Ce modèle représente un filtre passe-bas en cosinus surélevé.
- un régénérateur optique 3R: comprenant une ré-amplification, une remise en forme et une resynchronisation du signal en cas de sa distorsion afin de reconstituer à la sortie les données du signal d'entrée.
- un analyseur de BER : avec ses paramètres par défaut conservés et est utilisé pour estimer la performance du système complet.

### 4.3.2 Analyse et interprétations de résultats :

Pour évaluer de telle qualité pour les systèmes WDM, il ya 3 principaux critères :

#### le taux d'erreurs binaires (BER)[3] :

Étant donné que dans les systèmes de transmission, les données sont transmises d'une manière numérique, c'est-à-dire une séquence de données binaires, le critère le plus intuitif permettant d'évaluer la qualité du signal transmis est la comparaison entre la séquence binaire à l'émission et celle à la réception. Nous parlons dans ce cas de taux d'erreur binaire TEB ou BER (pour Bit Error Rate). Il est défini par le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre de bits transmis :

$$BER = \frac{\text{nombre de bits erronés}}{\text{nombre de bits transmis}} \quad (3.1)$$

En générale, pour les télécommunications optiques, on considère qu'on a une bonne qualité de transmission pour un TEB variant entre  $10^{-9}$  à  $10^{-12}$ .

#### le facteur de qualité (Q) [3] :

Il existe un autre critère d'évaluation de la qualité de transmission appelé le facteur de qualité (Q) obtenu à partir des statistiques de bruit (moyennes et écarts-types) des niveaux « 1 » et « 0 » du signal à détecter. C'est un paramètre permettant d'estimer le taux d'erreur binaire sans avoir à compter de les erreurs, mais en considérant tout simplement l'amplitude moyenne des bits « 1 » et « 0 » et la valeur de leur écart type  $\sigma_1$  et  $\sigma_0$ , ce facteur est défini par :

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (3.2)$$

# Conclusion générale

Où,  $I_1$  &  $I_0$  sont respectivement les valeurs moyennes des niveaux « 1 » et « 0 »,  $\sigma_1$  &  $\sigma_0$  les écart-types du bruit sur le signal des symboles « 1 » et « 0 ».

## le diagramme de l'œil [4] :

Le diagramme de l'œil est formé par la superposition de tous les symboles binaires du signal émis. Il permet d'avoir une idée sur la qualité du signal en termes de bruit d'amplitude, d'interférences entre symboles, de gigue temporelle.

Le diagramme de l'œil n'a toutefois qu'une valeur qualitative, le critère qui permet réellement d'évaluer de manière quantitative la qualité du signal est le taux d'erreur binaire.

### 4.3.3 La simulation :

#### a) Une chaîne optique de 16 canaux :

ici on va transmettre a des distances différentes (50km,100km et 150km) 16 informations différentes portées par 16 canaux centrés à 193.1THz et dont la distance de séparation inter-canaux est 0.1THz. Le montage simulé est représenté sur la figure (3.2). Chaque canal émettant, à une fréquence  $F=193.1$ Thz, un train d'impulsions codé NRZ et modulé par un modulateur Mach-Zehnder qui est commandé par le signal à transmettre. Un multiplexeur rassemble tous ces canaux pour les transmettre sur une seule ligne de fibre optique constituée périodiquement d'un tronçon de fibre SMF à dispersion positive ( $D=16.75$  ps/nm/km) suivie par un tronçon de fibre DCF à dispersion négative ( $D=-87.49$  ps/nm/km). A la sortie de chaque tronçon de fibre est disposé un amplificateur EDFA pour compenser les pertes accumulées durant la propagation. A la fin de cette chaîne, un démultiplexeur sépare tous les canaux

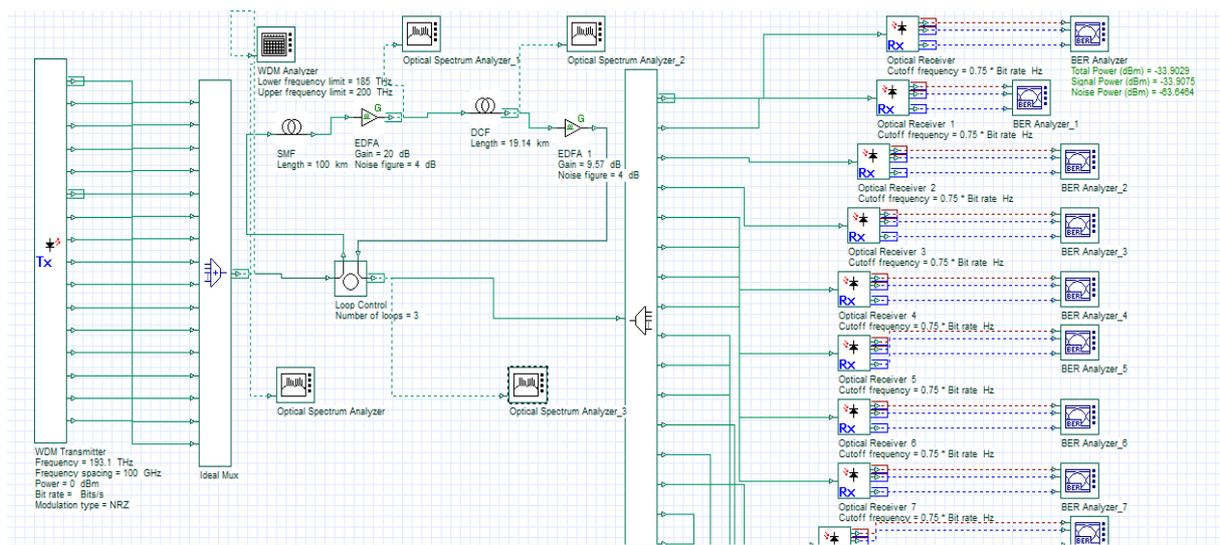


Figure 3.2 : Schéma Bloc de simulation d'une chaîne de 16 canaux

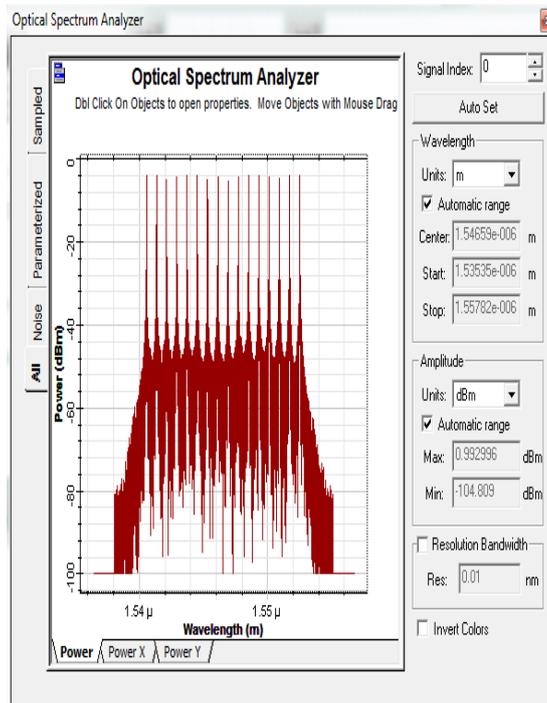
## Conclusion générale



**Figure 3.3 :** Les différentes valeurs des canaux obtenues à la sortie du multiplexeur.

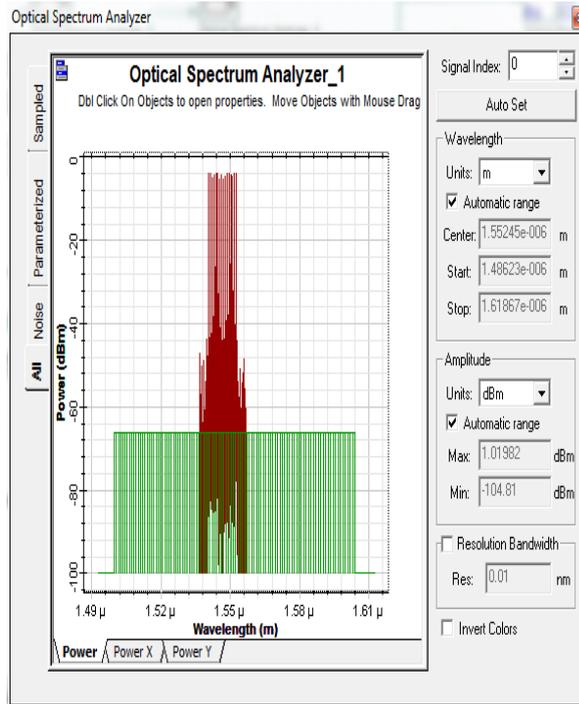
➤ Pour une fibre de 50km :

Le spectre d'analyse :

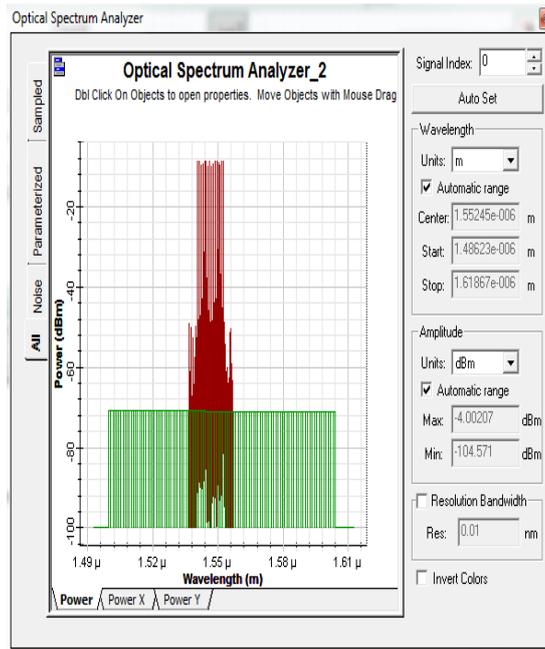


**Figure 3.4:** le spectre à la sortie du multiplexeur

# Conclusion générale



**Figure3.5** :spectre a la sortie de l'amplificateur



**Figure3.6** :spectre a la sortie de DCF

# Conclusion générale

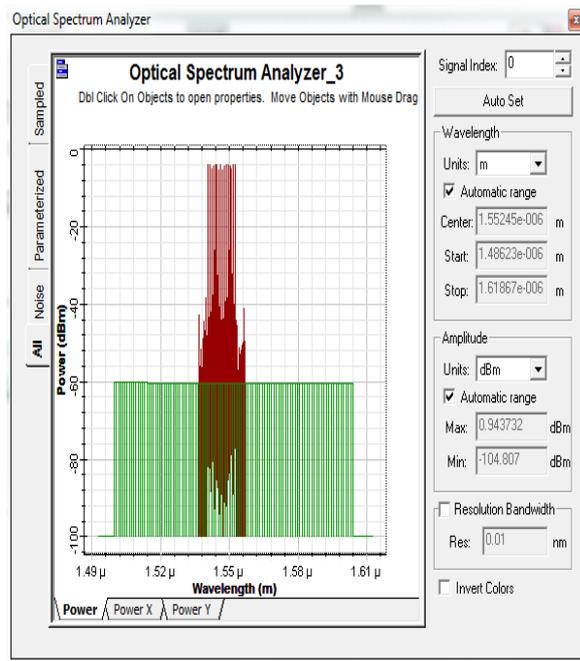


Figure 3.7 : spectre a la sortie de loop de contrôle

Le diagramme de l'œil :

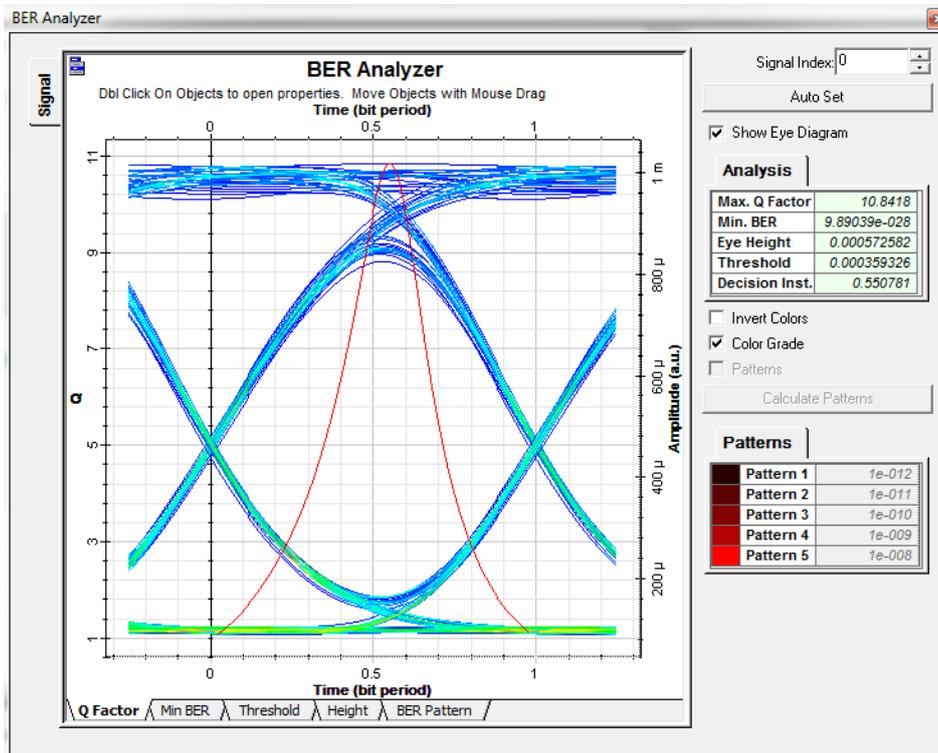


Figure 3.8 : diagramme de l'œil

# Conclusion générale

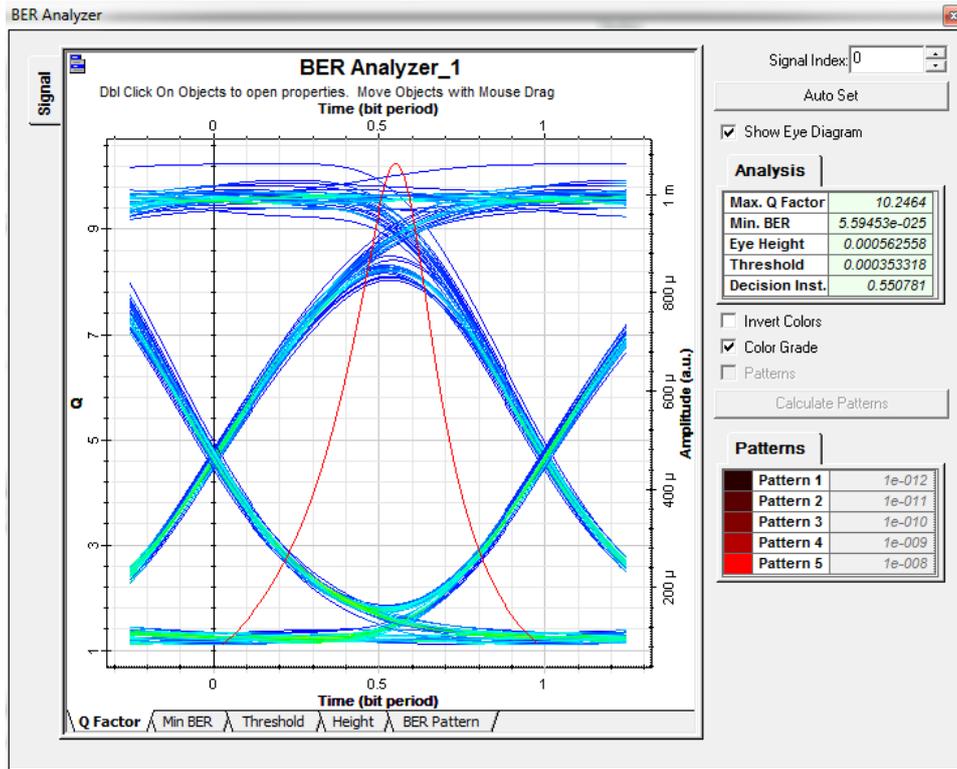


Figure3.9 : diagramme de l'œil

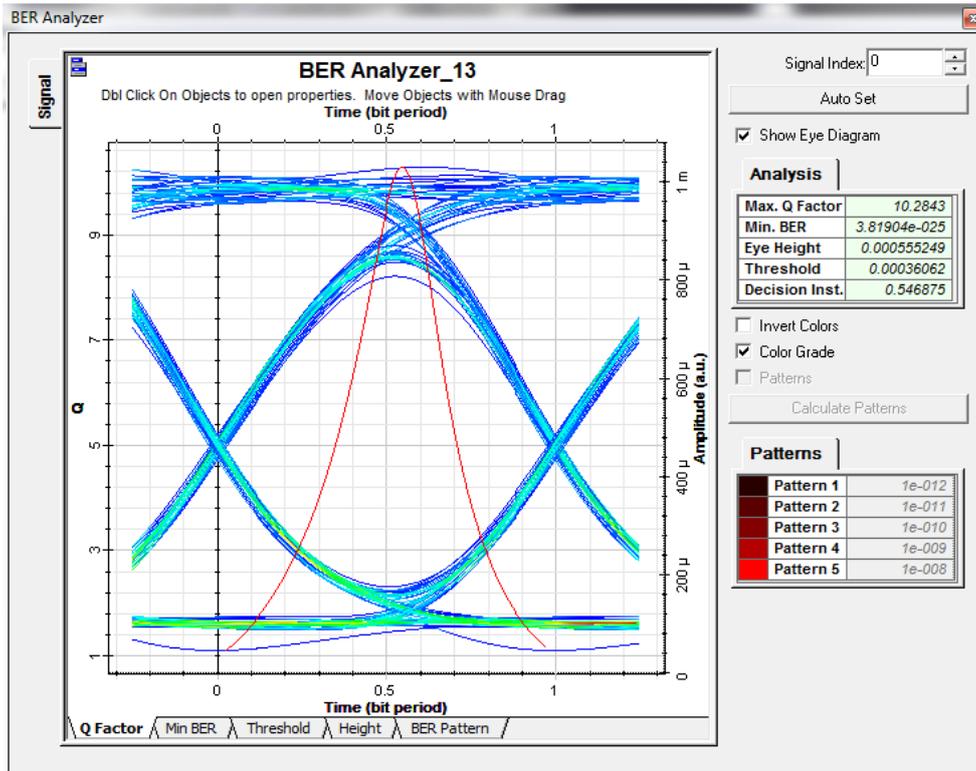


Figure3.10 : diagramme de l'œil

# Conclusion générale

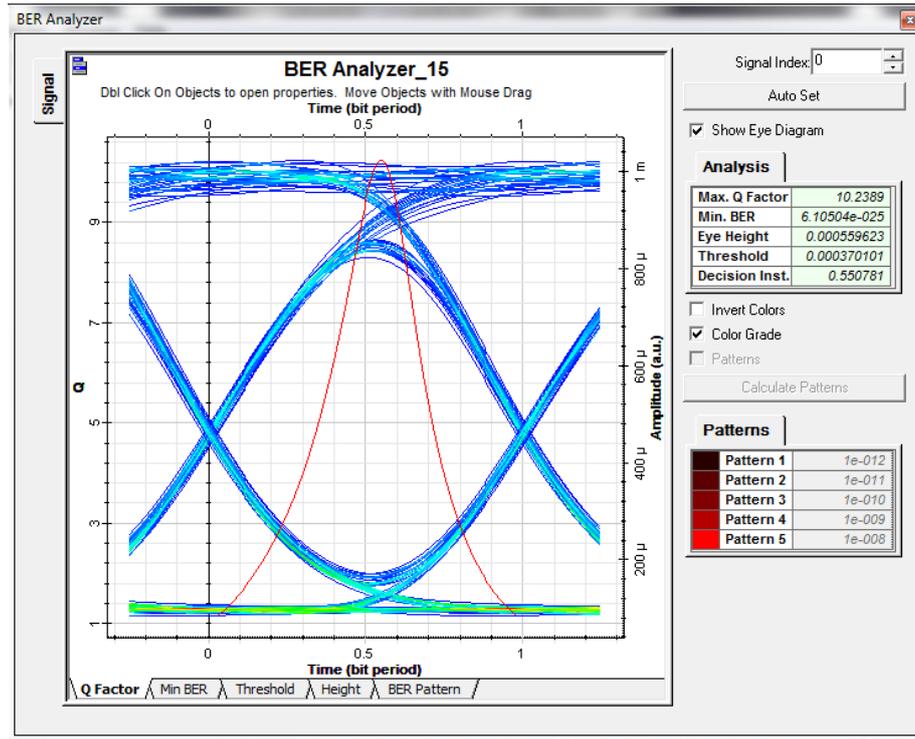


Figure3.11 : diagramme de l'œil

Commentaire :

Diagramme de l'œil ouvert, les valeurs de facteur de qualité se varient entre 9 et 11 ce qui nous donne une bonne qualité

- Pour une fibre de 100km :

Le spectre d'analyse :

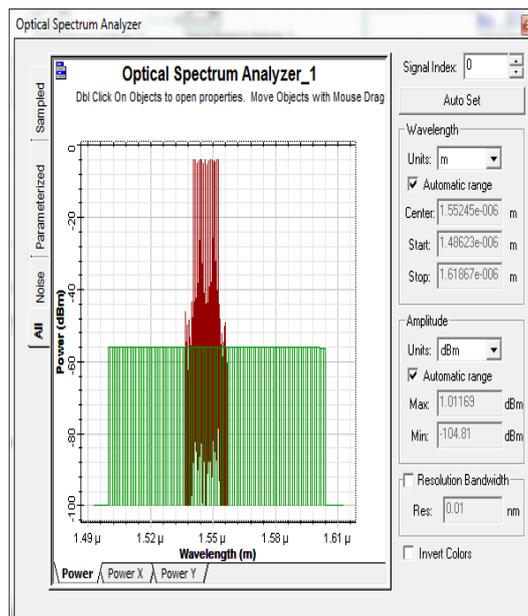


Figure3.12 : spectre a la sortie de l'amplificateur

# Conclusion générale

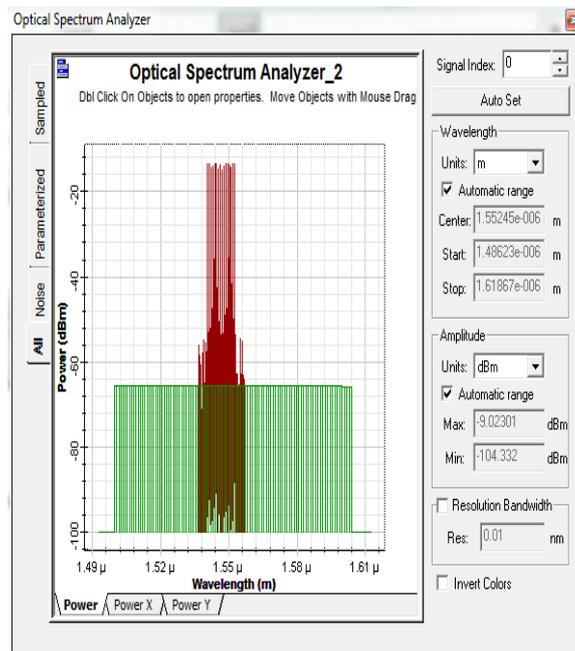


Figure3.13 :spectre a la sortie de DCF

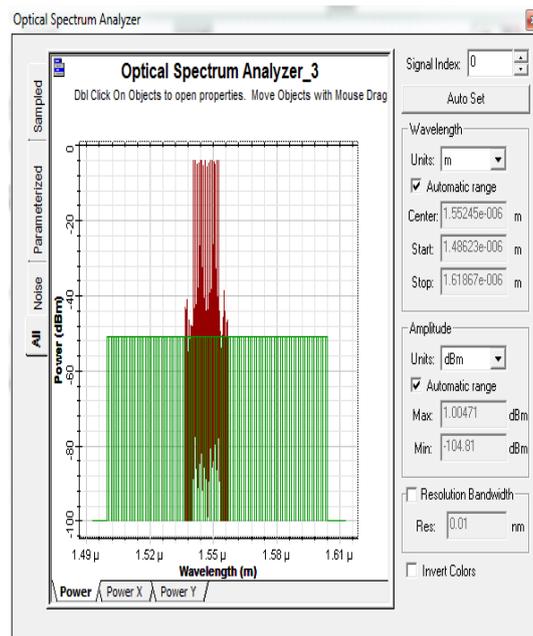


Figure3.14 : spectre a la sortie de loop de contrôle

Les diagrammes de l'œil :

# Conclusion générale

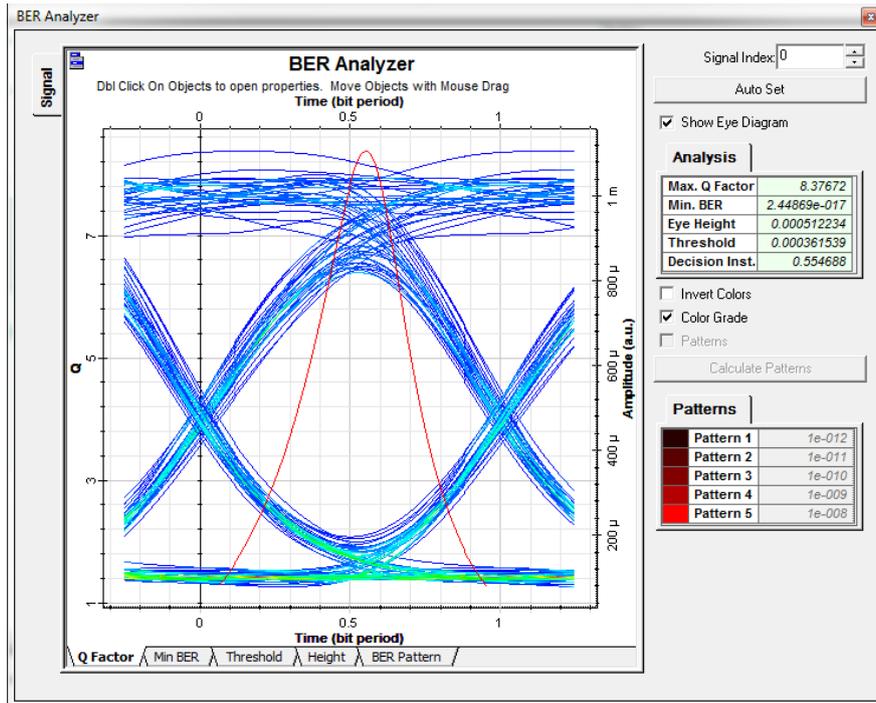


Figure 3.15 : diagramme de l'œil

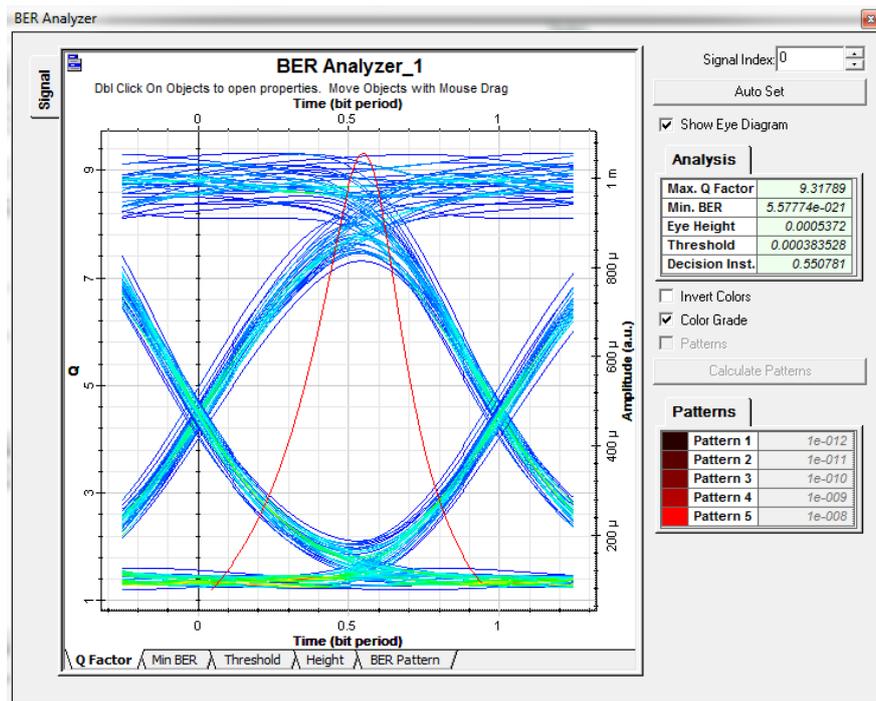


Figure 3.16 : diagramme de l'œil

# Conclusion générale

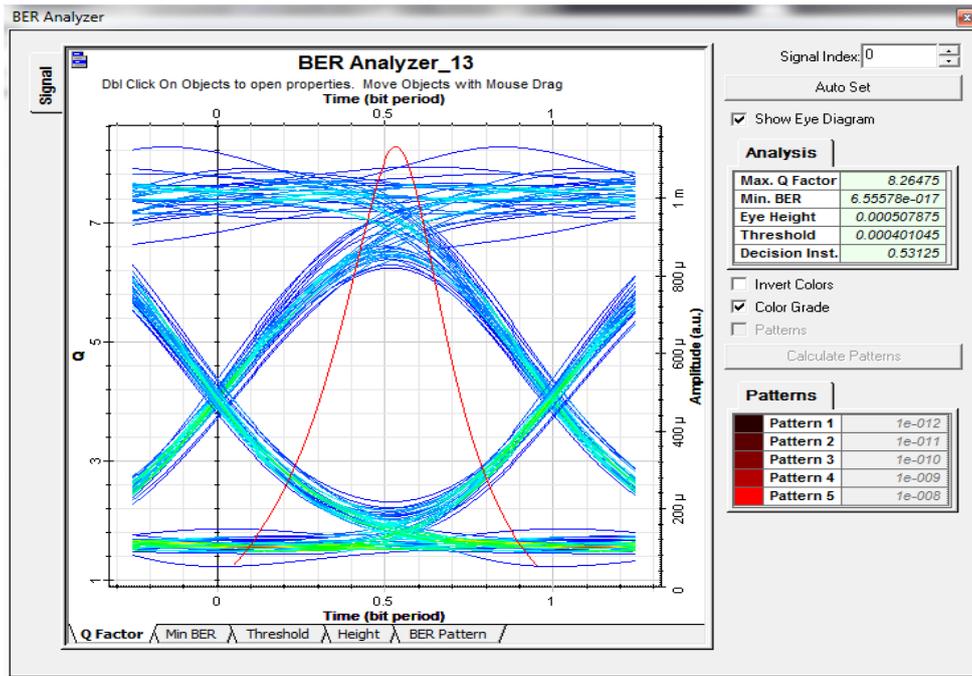


Figure3.17 : diagramme de l'œil

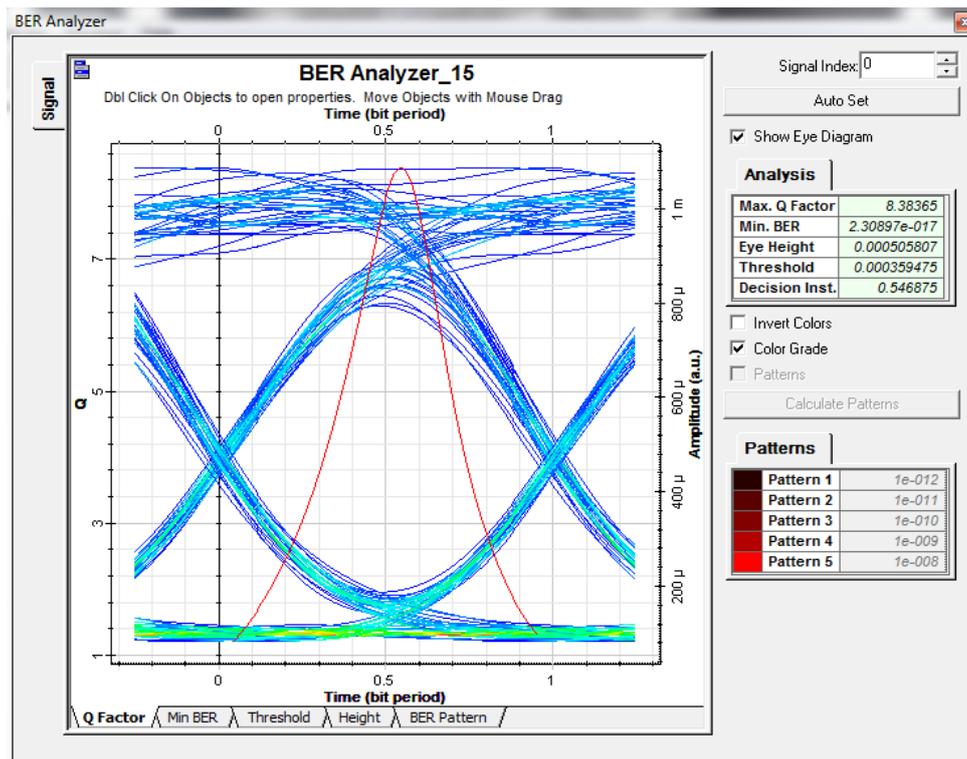


Figure3.18 : diagramme de l'œil

Commentaire :

Digramme ouvert, les valeurs de Q se varient entre 7 et 9 alors on a une bonne qualité.

# Conclusion générale

- Pour une fibre de 150km :

Le spectre d'analyse :

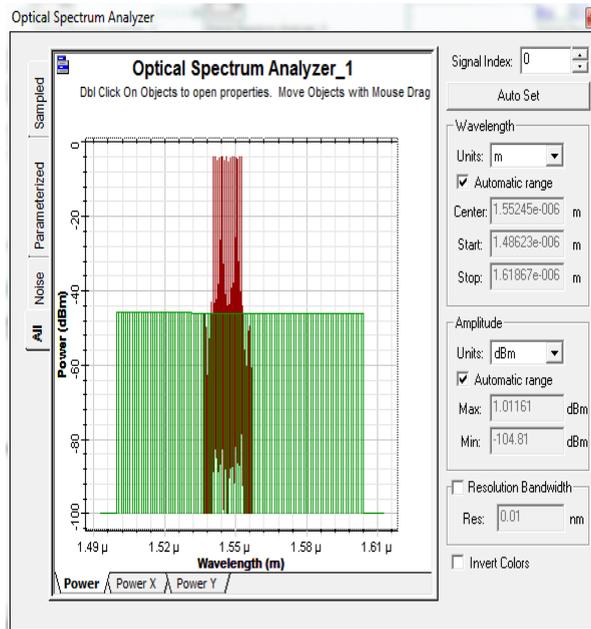


Figure3.19 : spectre a la sortie de l'amplificateur

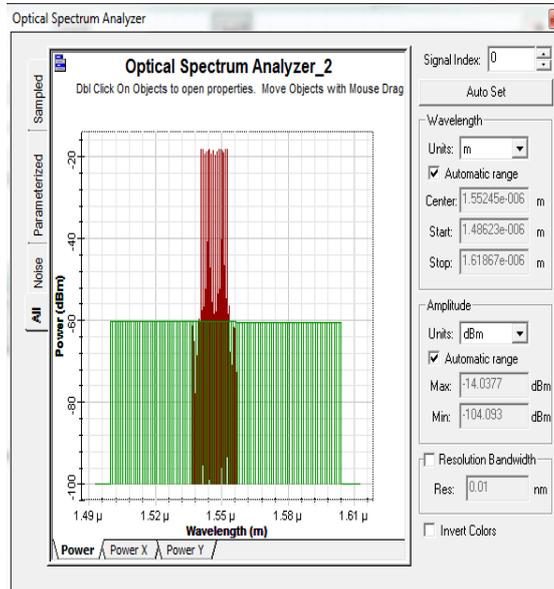


Figure3.20 : spectre a la sortie de DCF

# Conclusion générale

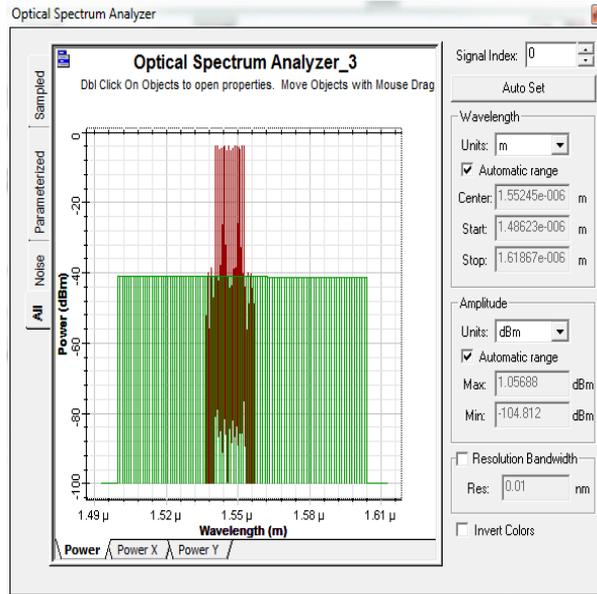


Figure3.21 : spectre a la sortie de loop de contrôle

Les digrammes de l'œil :

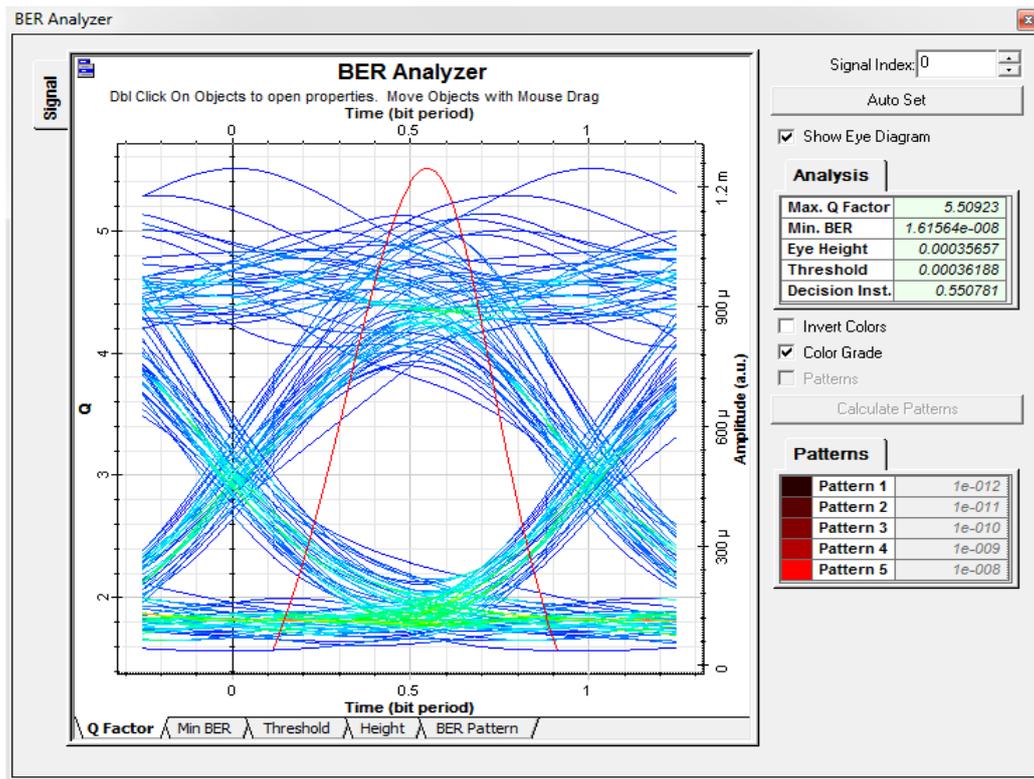


Figure3.22 : diagramme de l'œil

# Conclusion générale

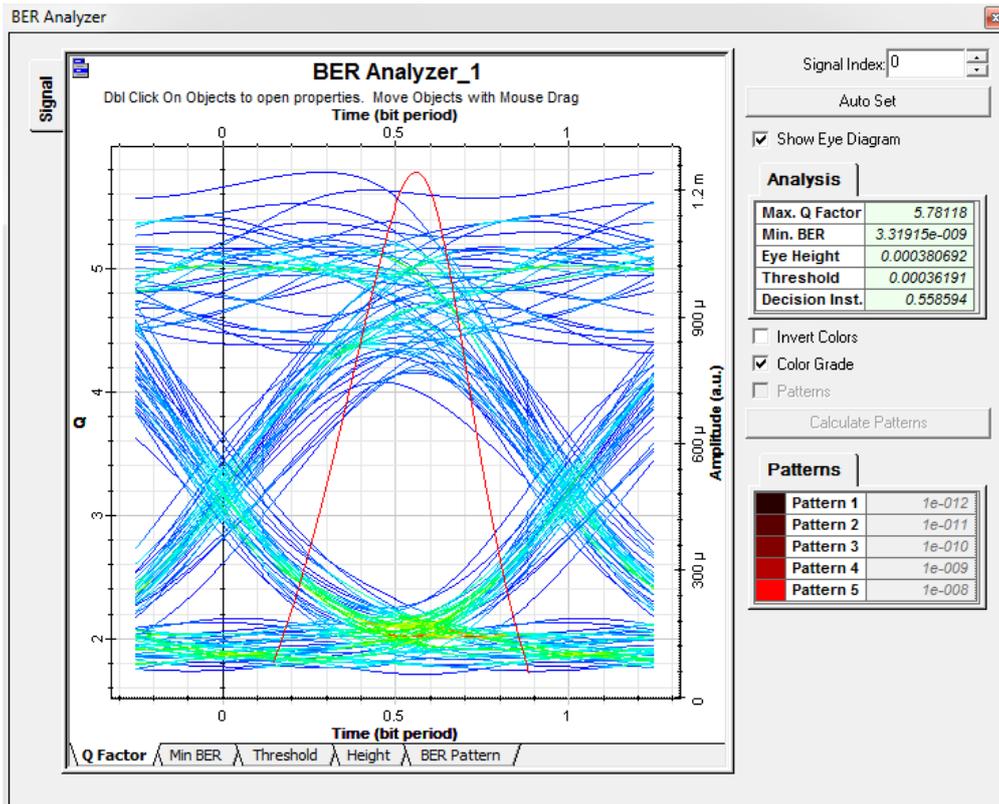


Figure3.23 : diagramme de l'œil

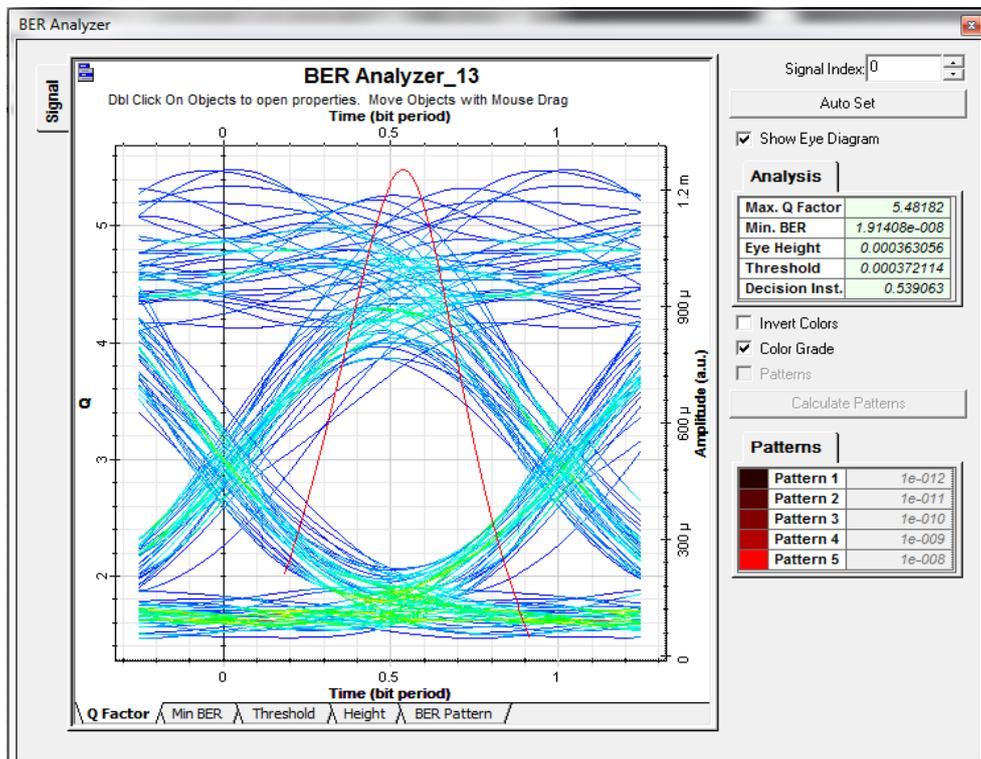


Figure3.24 : diagramme de l'œil

## Conclusion générale

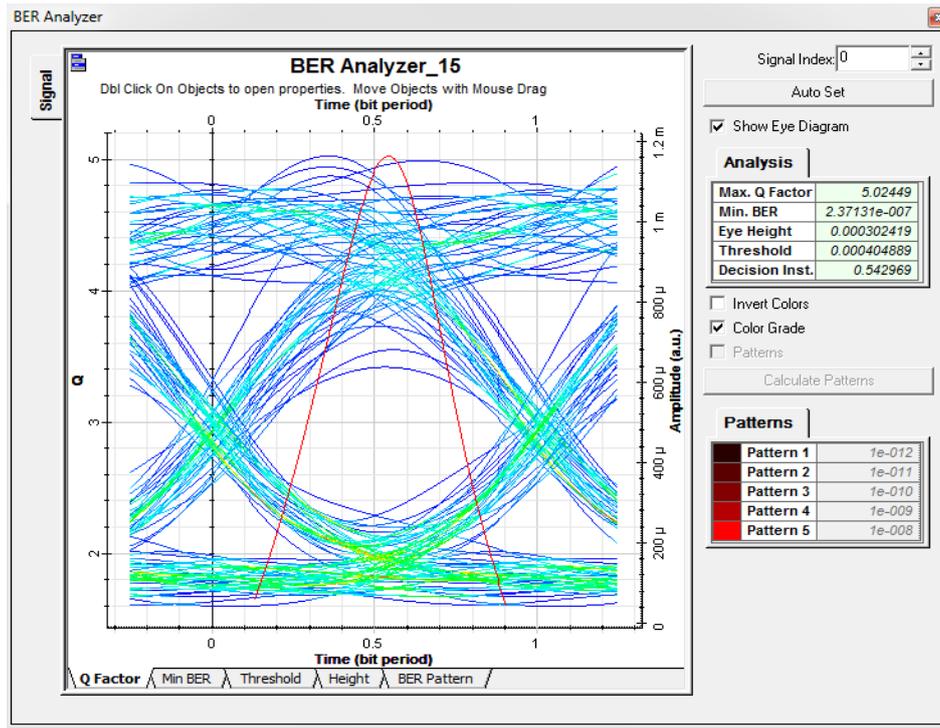


Figure3.25 : diagramme de l'œil

Commentaire :

Diagramme de l'œil se ferme un peu, la qualité est dégradée à cause des bruits.

b) Chaîne optique de 32 canaux :

Dans ce dernier scénario on va transmettre à des distances différentes (50km, 100km et 150km) 32 informations différentes portées par 32 canaux centrés à 193.1 THz et dont la distance de séparation inter-canaux est 0.1 THz. La largeur de séparation entre canaux est 0.1 THz. Le montage simulé est représenté sur la figure (3.26). Chaque canal émettant, à une fréquence  $F=193.1$  THz, un train d'impulsions codé NRZ et modulé par un modulateur Mach-Zehnder qui est commandé par le signal à transmettre. Un multiplexeur rassemble tous ces canaux pour les transmettre sur une seule ligne de fibre optique constituée périodiquement d'un tronçon de fibre SMF à dispersion positive ( $D=16.75$  ps/nm/km) suivie par un tronçon de fibre DCF à dispersion négative ( $D=-87.49$  ps/nm/km). À la sortie de chaque tronçon de fibre est disposé un amplificateur EDFA pour compenser les pertes accumulées durant la propagation. À la fin de cette chaîne, un démultiplexeur sépare tous les canaux.

# Conclusion générale

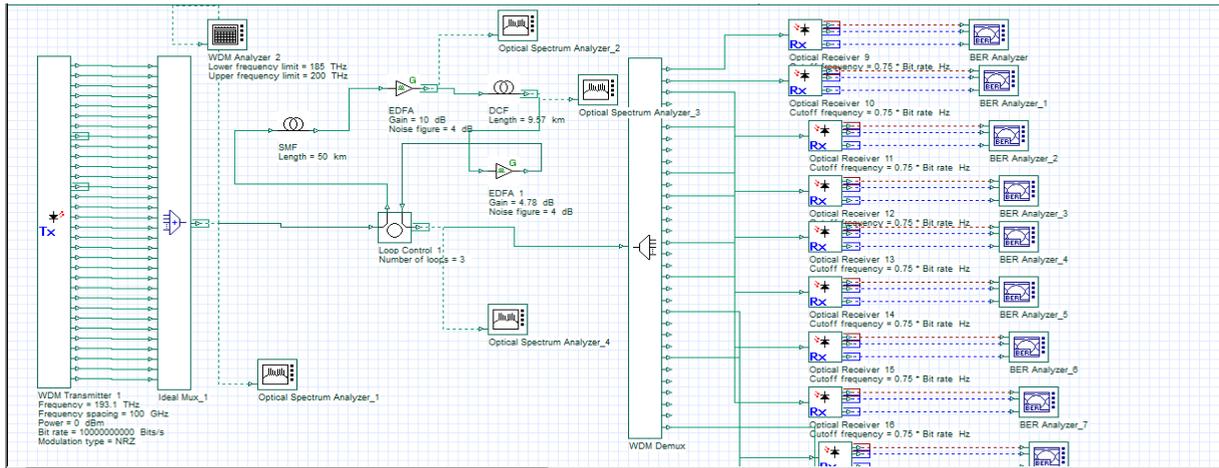


Figure 3.26 : Schéma Bloc de simulation d'un chaîne de 32canaux

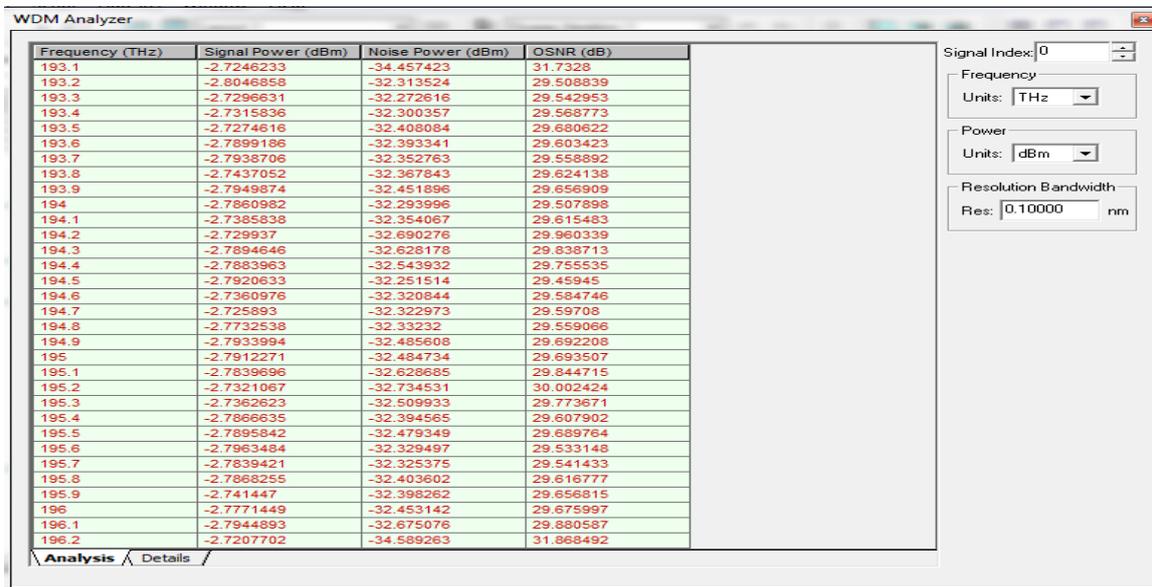


Figure 3.27 : Les différentes valeurs des canaux obtenues à la sortie du multiplexeur.

➤ Pour une fibre de 50km :

Le spectre d'analyse :

# Conclusion générale

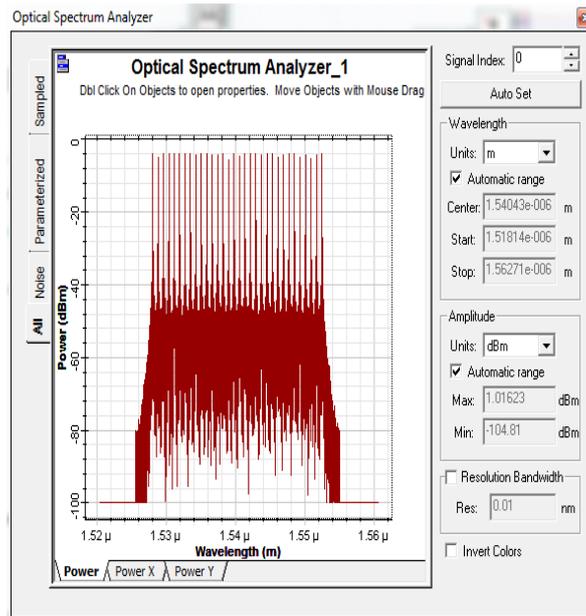


Figure 3.28: le spectre à la sortie du multiplexeur

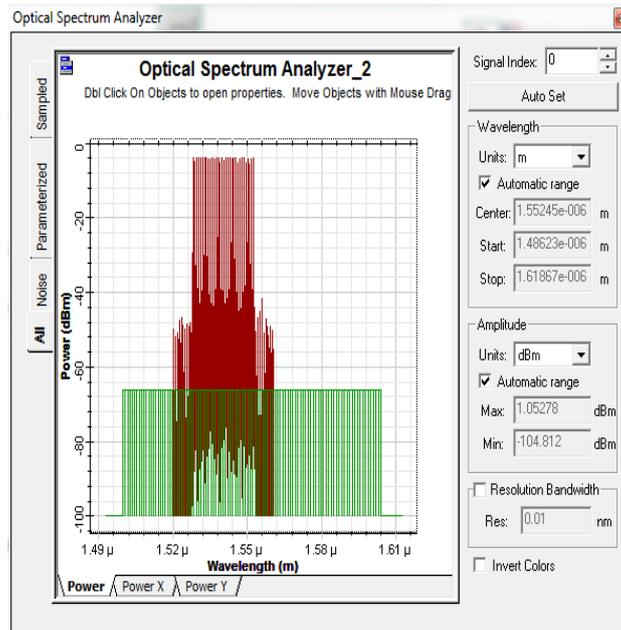


Figure3.29 :spectre a la sortie de l'amplificateur

# Conclusion générale

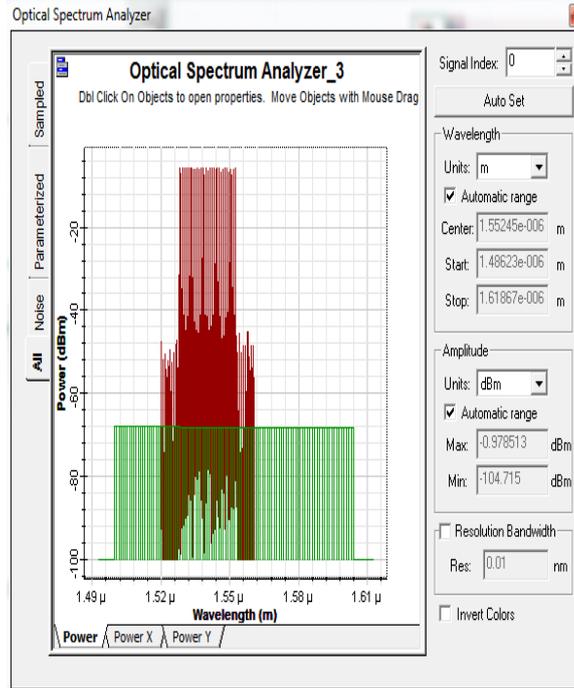


Figure3.30 :spectre a la sortie de DCF

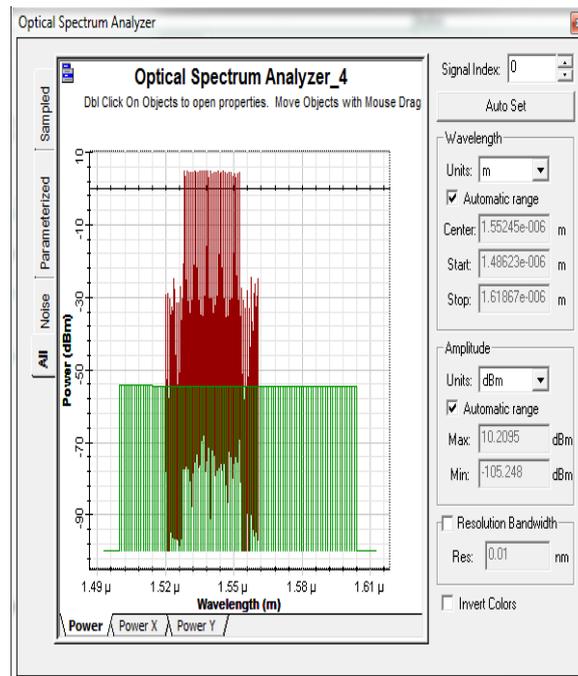


Figure3.31 : spectre a la sortie de loop de contrôle

Les diagrammes de l'œil :

# Conclusion générale

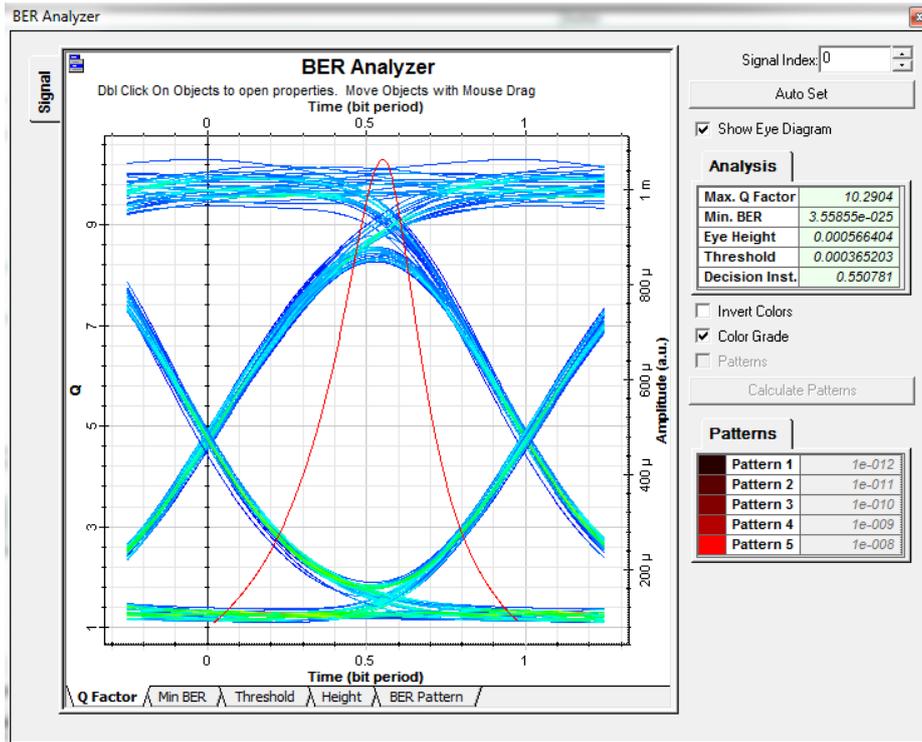


Figure3.32 : diagramme de l'œil

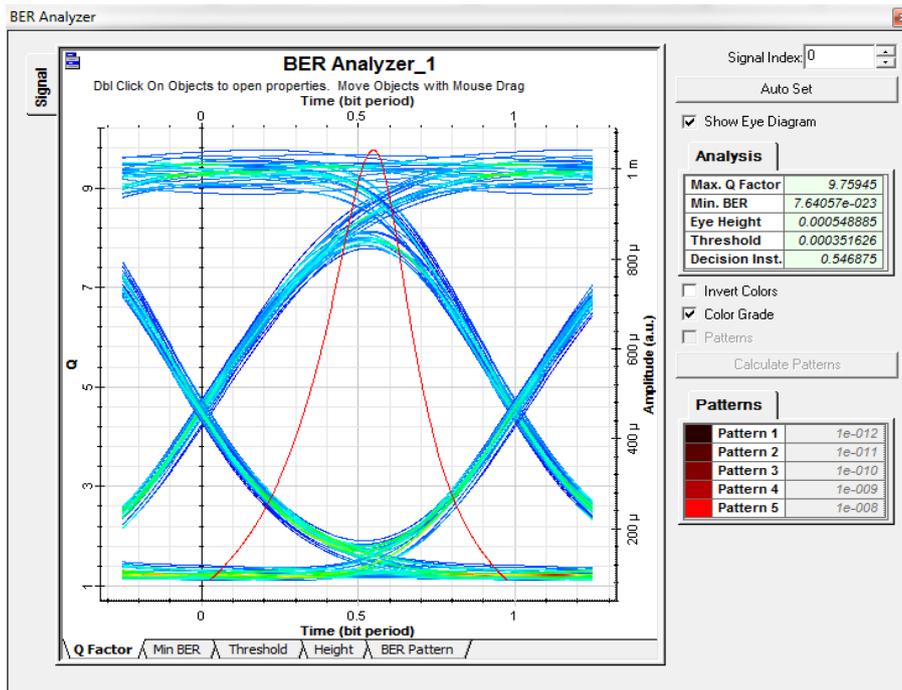


Figure3.33 : diagramme de l'œil

# Conclusion générale

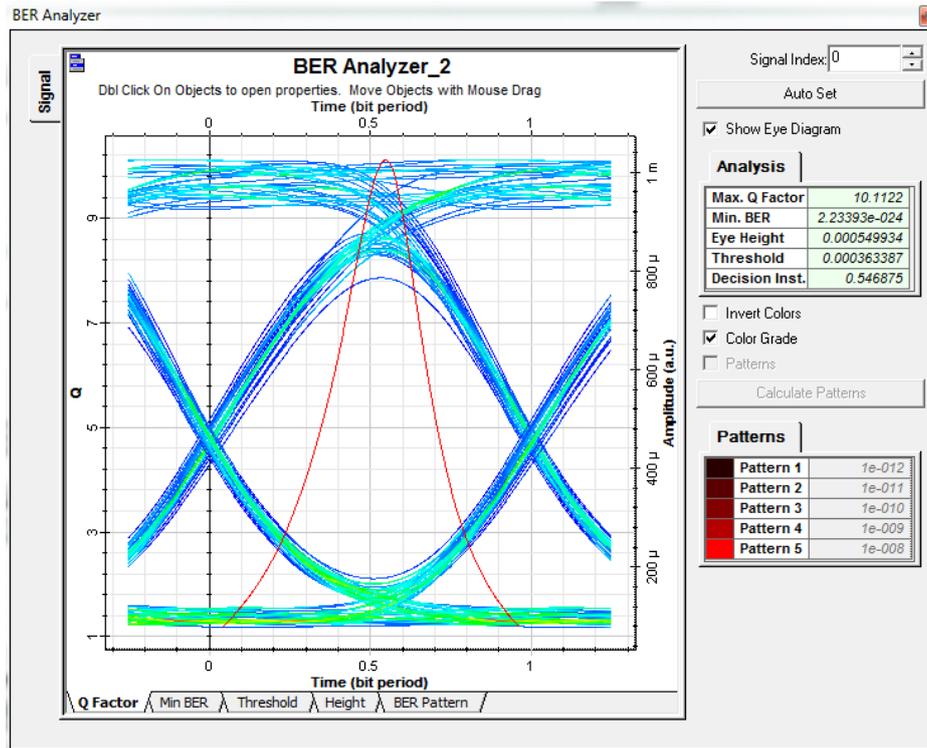


Figure3.34 : diagramme de l'œil

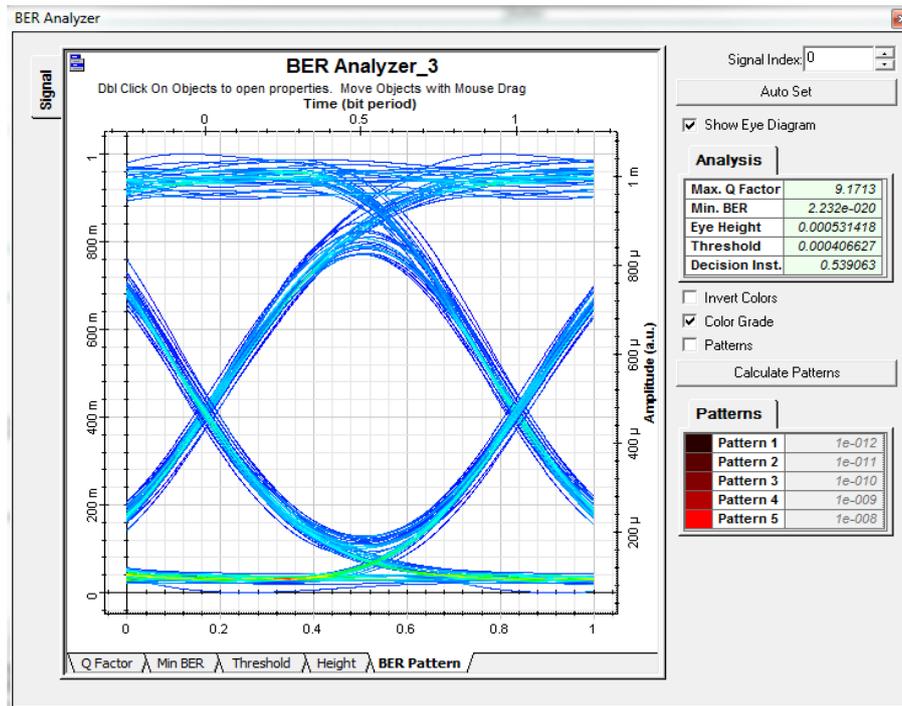


Figure3.35 : diagramme de l'œil

Commentaire :

Diagramme de l'œil ouvert, les valeurs de facteur de qualité se varient entre 9 et 11 ce qui nous donne une bonne qualité

# Conclusion générale

➤ Pour une fibre de 100km :

Le spectre d'analyse :

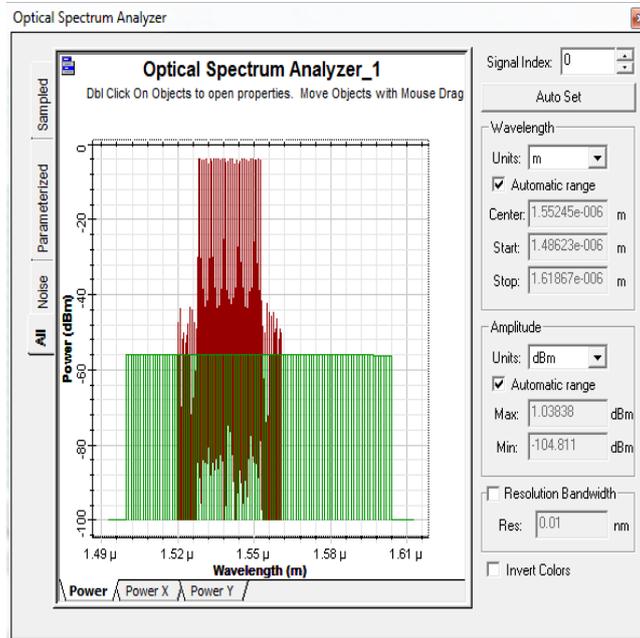


Figure3.36 : spectre a la sortie de l'amplificateur

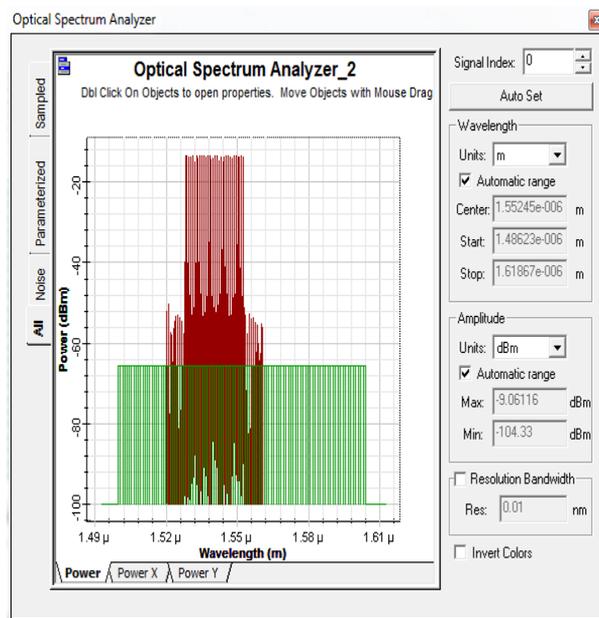


Figure3.37 : spectre a la sortie de DCF

# Conclusion générale

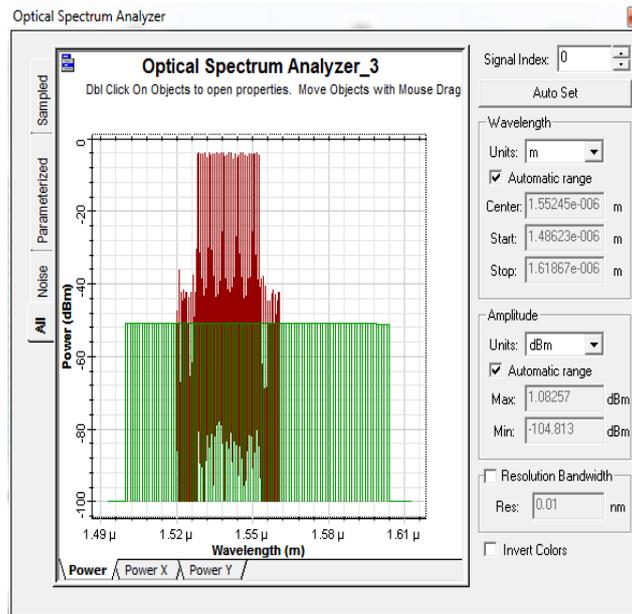


Figure3.38 : spectre a la sortie de loop de contrôle

Les digrammes de l'œil :

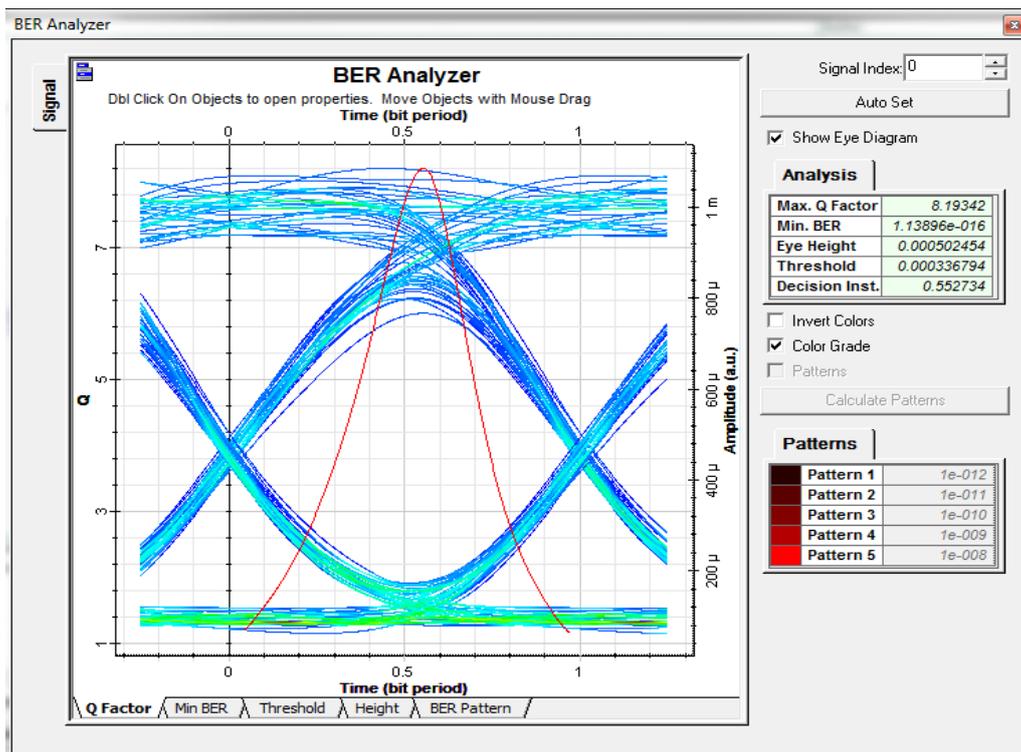


Figure3.39 : diagramme de l'œil

# Conclusion générale

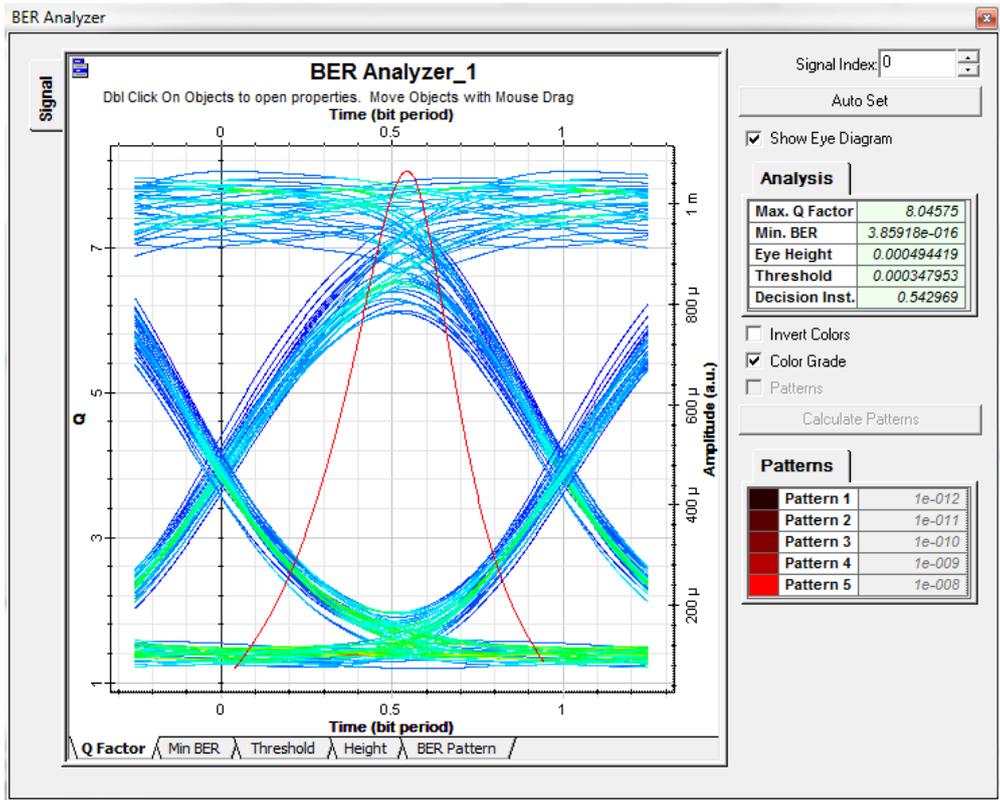


Figure3.40 : diagramme de l'œil

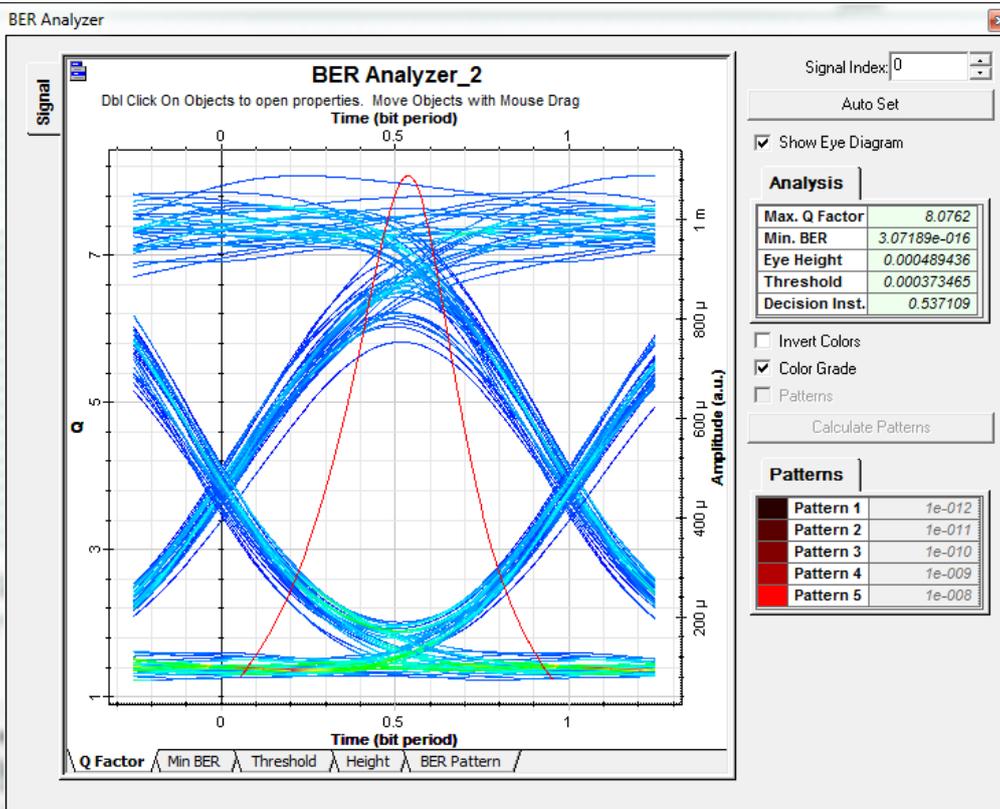


Figure3.41 : diagramme de l'œil

# Conclusion générale

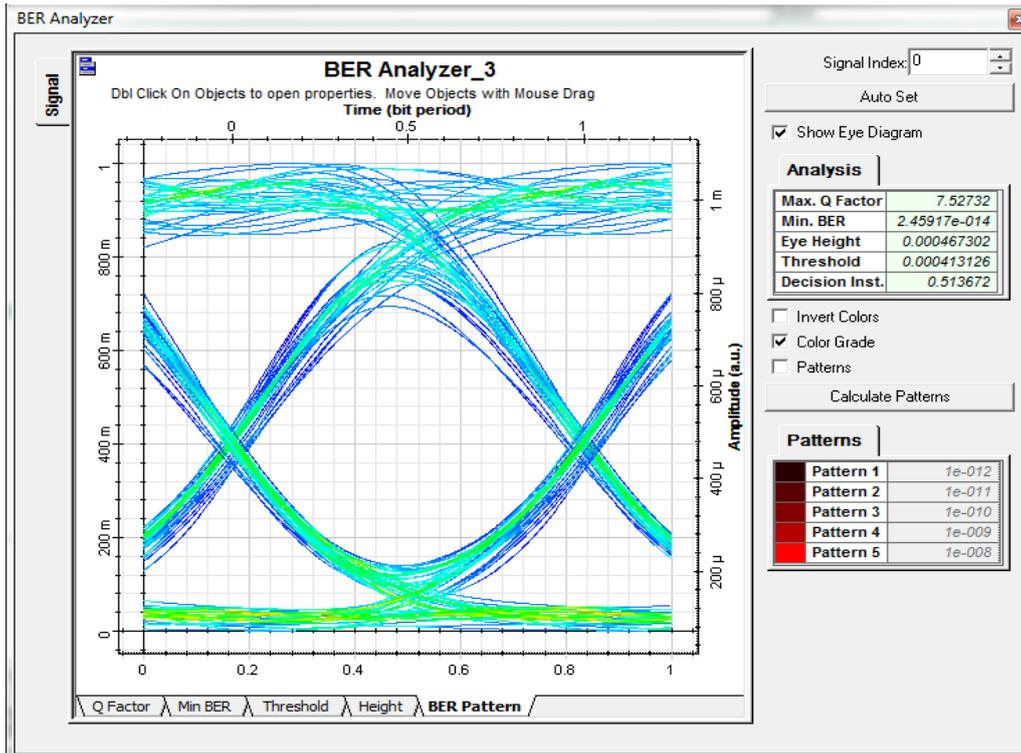


Figure3.42 : diagramme de l'œil

Commentaire :

Digramme ouvert, les valeurs de Q varient entre 6 et 9 alors on a une bonne qualité.

➤ Pour une fibre de 150km :

Le spectre d'analyse :

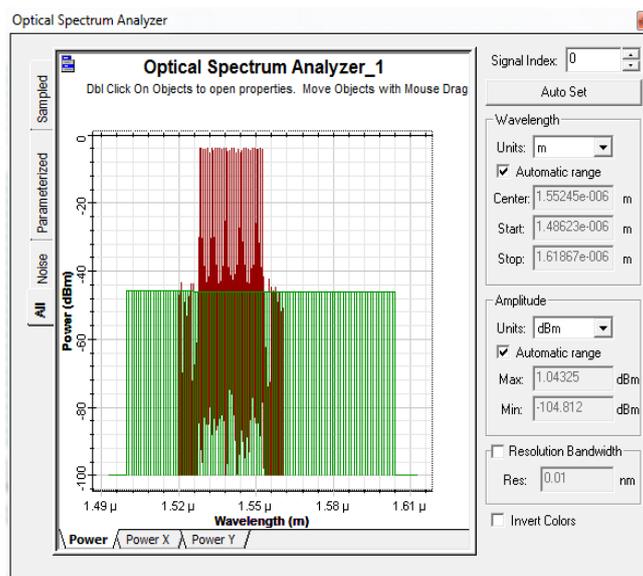


Figure3.43 : spectre a la sortie de l'amplificateur

# Conclusion générale

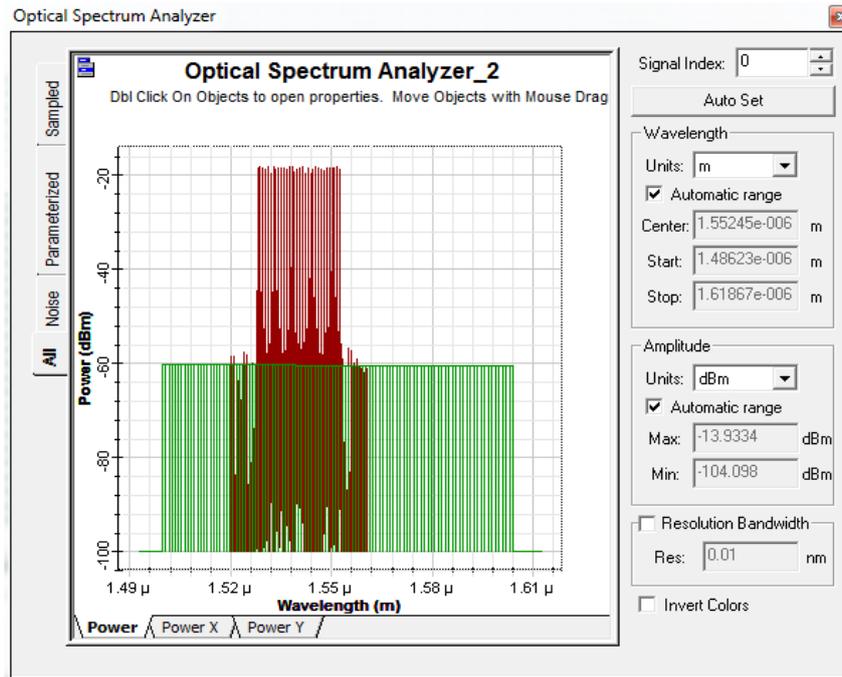


Figure3.44: spectre a la sortie de DCF

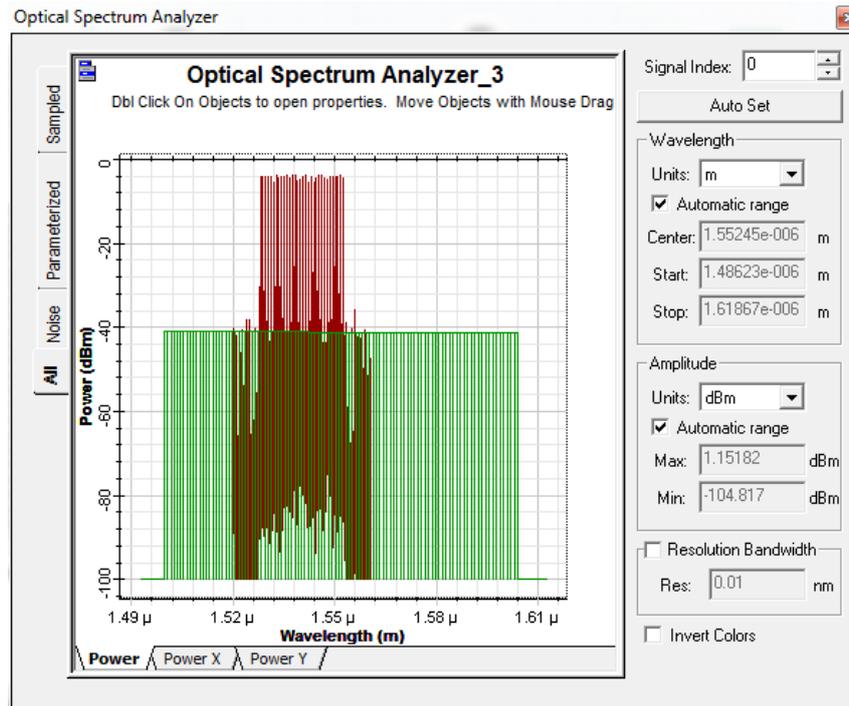


Figure3.45 : spectre à la sortie du loop de contrôle

Les digrammes de l'œil :

# Conclusion générale

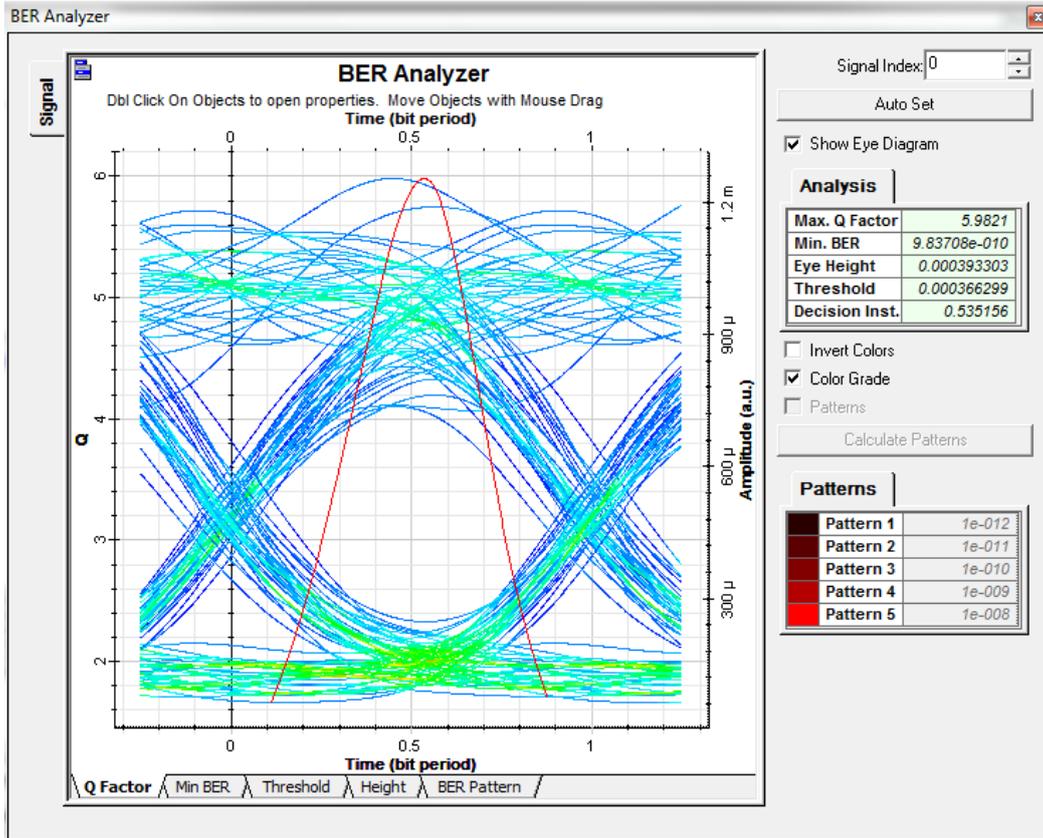


Figure3.46 : diagramme de l'œil

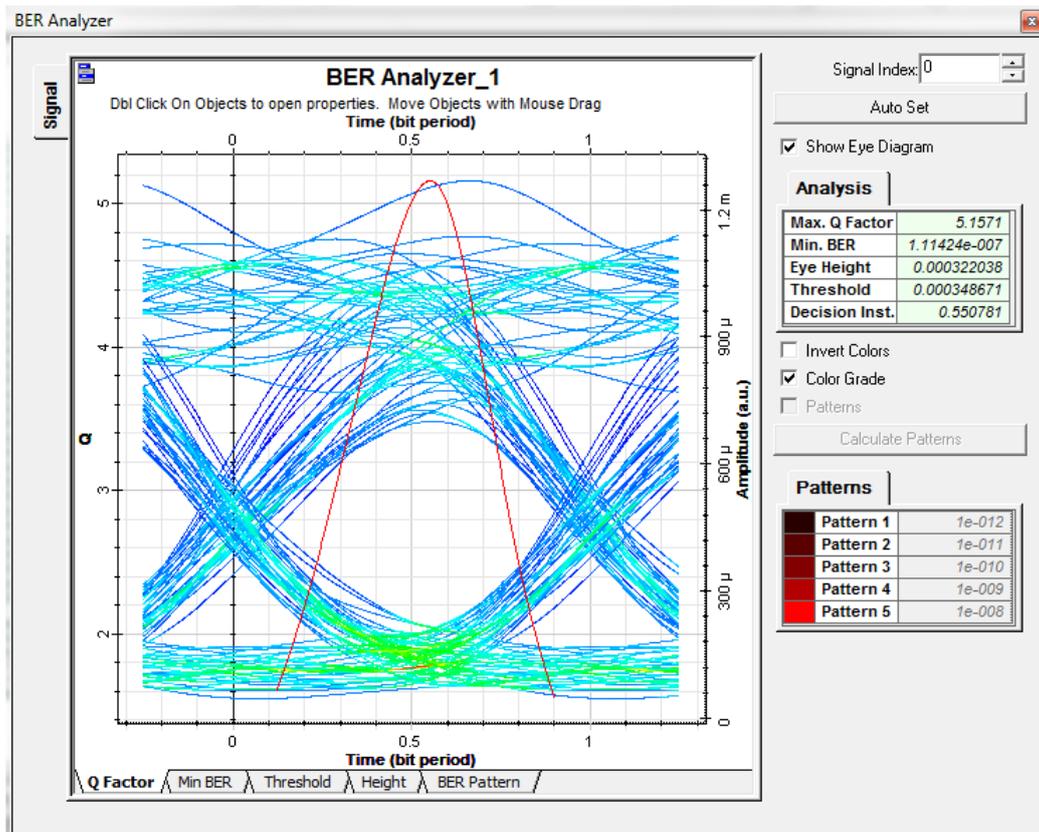


Figure3.47 : diagramme de l'œil

# Conclusion générale

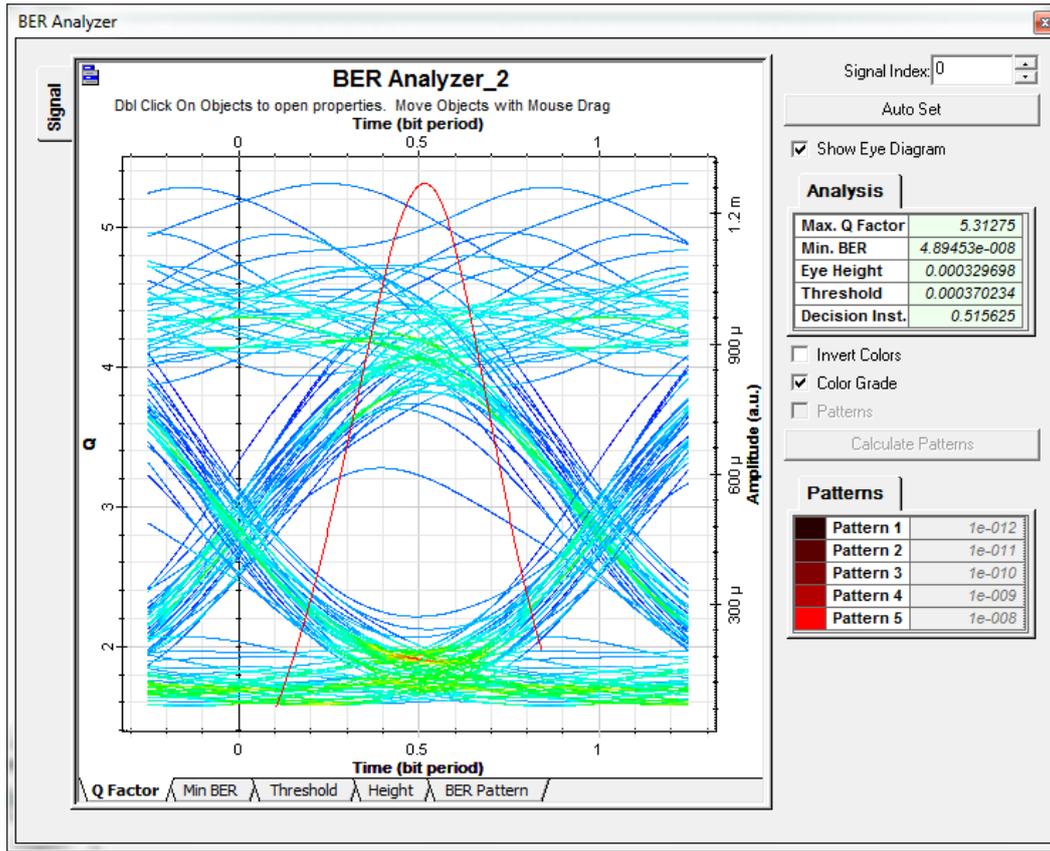


Figure3.48 : diagramme de l'œil

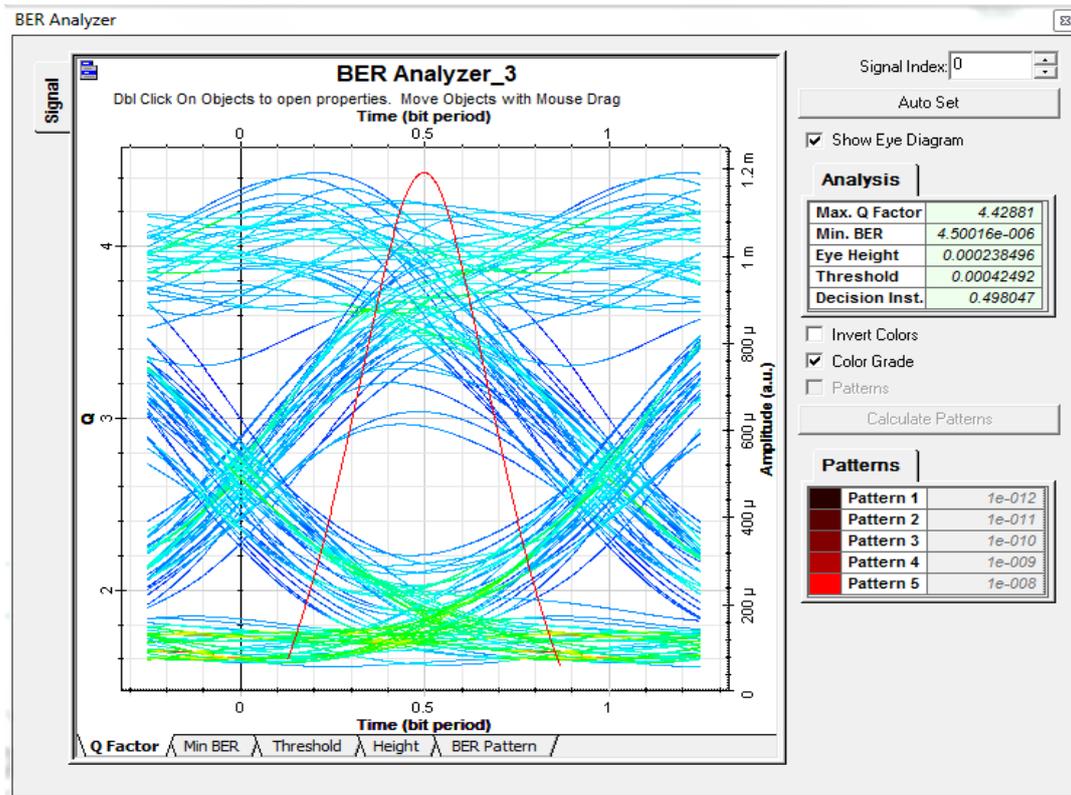


Figure3.49 : diagramme de l'œil

## Conclusion générale

---

Commentaire :

Digramme de l'œil se ferme un peu, la qualité est dégradée à cause des bruits.

### Interprétations :

#### ❖ Pour les spectres d'analyses

Le spectre du signal à la sortie du premier amplificateur présente une distorsion du signal avec une couche de bruit aux extrémités, ce qui dégrade les performances du système.

Le spectre du signal à la sortie du DCF montre en vert comment elle a pu réduire les pertes dues à la dispersion chromatique causée par la fibre qui est le support de transmission.

Le spectre du signal à la sortie de la loop de contrôle montre qu'en plus d'amplifier le signal, il a pu enlever certaines impuretés cachées qui pourraient rester après le passage du DCF du fait de sa dispersion négative et la puissance a également augmenté.

#### ❖ Pour le diagramme de l'œil

Selon les résultats obtenus sur les diagrammes de l'œil dans les 2 scénarios, nous avons enregistré que l'augmentation de la portée de la fibre optique SMF, à partir de 50 km jusqu'à 150 km, a une nette influence sur la liaison optique.

Les résultats montrent qu'après 100 km de distance et à 10Gb/s les coefficients de qualité obtenus sont inférieurs au minimum requis par les télécommunications acceptables ( $Q > 6$ ) et le signal de réception est déformé par comparaison avec le signal émis. Ceci est dû au bruit de l'émission spontanée dans la diode.

### 4.4 Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, on a simulé via le logiciel optisystem plusieurs transmissions WDM avec différents paramètres. On a interprété les résultats obtenus en se basant sur le digramme de l'œil, le facteur de qualité et le taux binaire et on a conclu que la performance d'une liaison optique peut être détériorée à cause de l'augmentation de la distance de la fibre optique.

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

Les exigences en matière de volume de communication et de fiabilité des réseaux de transmission par fibre optique et des flux de données augmentent, ont poussé à développer des technologies spécifiques. la technologie WDM qui est un multiplexage en longueurs d'ondes, a répondu a ces besoins. Et pour cela on a fait une étude théorique sur une liaison optique ainsi que les techniques de multiplexage. en fin on a fait une simulation d'une chaine multiplexée avec la technologie WDM via le logiciel optisystem, où on a étudié une chaine de 16 canaux ensuite on a augmenté le nombre de canaux a 32 canaux. Le format de signal choisi a été le NRZ avec un débit binaire de 10Gb/s. les résultats obtenus, ils ont été interprétés en se basant sur le diagramme de l'œil, le facteur de qualité et le taux binaire, lesquels nous ont servis de guide d'analyse sur le niveau de performance du système réalisé.

En appliquant cette technique, on a vu que le signal peut avoir des distorsions a cause de :

- la dispersion chromatique et l'atténuation créées par le canal de transmission.
- les interférences inter-symboles après détection.

Et pour résoudre ces problèmes il faut :

- adapter une fibre DCF pour compenser les pertes du canal de transmission.
- Un amplificateur optique EDFA.
- les effets de filtrage optique comme le filtre de Bessel et la régénération 3R pour éliminer les interférences inter-canal.

On a fini par déduire que le WDM est une technique à bas coût qui permet le passage d'un nombre important de canaux sur une seule fibre optique donc d'élargir la capacité des systèmes de transmission.

### Chapitre 1 : Etude d'une liaison optique

- [1] LAURENT. J; « Communication Optique à très haut débits ». Examen Probatoire. Département STIC. Centre de Paris ;2003.
- [2] [http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission\\_sur\\_fibre\\_optique/index.html](http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/index.html)
- [3] Bedadda Ayman et Guediri Lazhar« Etude et analyse des performances d'un réseau optique passif large bande bidirectionnel (BPON) » mémoire de master , Université EchahidHamma Lakhdar El-Oued ,2017/2018.
- [4] Riad SAIDI « ETUDE D'UNE STRUCTURE DE LIAISON PAR FIBRE OPTIQUE: CARACTERISATION DE LA PROPAGATION ET BILAN ENERGETIQUE » mémoire de magister , Université de Biskra,2010.
- [5] BELAID KATIA et DOUMER GHANIA « Simulation d'une liaison haut débit par fibre optique sur logiciel COMSIS » mémoire de master, Université MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU,2012.
- [6] DJAAFARI ABDELLAH «ÉTUDE DE LA PROPAGATION D'IMPULSIONS ULTRACOURTES DANS LES FIBRES OPTIQUES NON-LINÉAIRES ET DISPERSIVES » mémoire de master, Université ABOUBEKR BELKAID DE TLEMCEM,2011.
- [7] Nouadji Hassina«Etude d'une chaîne de transmission par fibre optique à très haut débit » mémoire de master, Université BADJI MOKHTAR ANNABA,2013.
- [8] [https://pmb.univ-saida.dz/butecopac/doc\\_num.php?explnum\\_id=637](https://pmb.univ-saida.dz/butecopac/doc_num.php?explnum_id=637)
- [9] [https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/112340/mod\\_resource/content/1/Chapitre%20%20LEDopto%C3%A9lectronique.pdf](https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/112340/mod_resource/content/1/Chapitre%20%20LEDopto%C3%A9lectronique.pdf)
- [10] Kafte Djogoo Kungwa«Etude d'une liaison de transmission par fibre optique et simulation d'un résonateur optique en anneau », Initelematique - Ingenieur Industriel 2016.
- [11] Petermann K., «Laser diode modulation and noise»,Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [12] SAOUCHI MOHAMED OKBA « ETUDE ET SIMULATION D'UN SYSTEME DE TELECOMMUNICATIONU-DWDM A 32 CANAUX EMIS PAR CONTINUUM A SIMILARITON OPTIQUE », mémoire de master , UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA,2017.

### Chapitre 2 : les différentes techniques de transmission

- [1] ARRIBI Meriem ELMAHI Aicha, « La technique WDM en télécoms optiques avancées », mémoire de doctorat , UNIVERSITÉ MUSTAPHA STAMBOULI DE MASCARA,2015-2016.
- [2] [https://www.connecthostproject.com › mux\\_1](https://www.connecthostproject.com › mux_1)
- [3] MERZOUK. K- « Etude d'un système bas coût de transmission optique par multiplexage temporel ». Thèse de doctorat Optique, Optoélectronique et Microondes. Institut Polytechnique de Grenoble; 2008.
- [4] ZOHRA BELHADJ HIBA NOUR EL IMENEAMMOUR « Etude et Simulation d'une liaison optique avec la technique WDM »,mémoire de master, Université Dr MOULAY Tahar de Saïda,2018-2019.
- [5] BOUZIDI TANI Asma, « Effet de l'espacement inter-canal et du débit binaire sur une liaison WDM », UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEM, 2012/2013.
- [6] BEAUQUIER, B- « Communication dans les réseaux optiques par multiplexage en longueur d'onde » Es Sc. Informatique. Thèse de doctorat de NICE - SOPHIA ANTIPOLIS; 2000.
- [7] [https://fibrenoire.fr/multiplexage/techno\\_wdm.html](https://fibrenoire.fr/multiplexage/techno_wdm.html)
- [8] LAURENT. J; « Communication Optique à très haut débits ». Examen Probatoire. Département STIC. Centre de Paris ;2003.
- [9] <https://www.universalis.fr/encyclopedie/zone-de-saturation/>

## Bibliographies et références

---

- [10] Jean-Louis VERNEUIL; « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s » ; thèse de doctorat ; UNIVERSITE DE LIMOGE ; novembre 2003.
- [11] BELAID KATIA et DOUMER GHANIA ; « simulation d'une liaison haut débit par fibre optique sur logiciel COMSIS » ; mémoire d'ingénieur d'état ; Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU ; 2012.
- [12] Boudemagh Hana ; « IMPACT DE LA DISPERSION CHROMATIQUE SUR LA TRANSMISSION SUR FIBRE OPTIQUE SIMULATION PAR COMSIS » ; mémoire de master ; UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI D'OUUM EL BOUAGUI ; 2015/2016.
- [13] Degachi Akram, Ounis Kamelet et Gohmes Abdessamed; « Réseau de Bragg sur fibre optique: application à la compensation de la dispersion chromatique dans les systèmes de transmission optique haut débit » ; mémoire de master ; Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Ouaïd ; 2019-2020.

### **Chapitre 3 : simulation d'une liaison optique WDM**

- [1] KAHLOUCHE Ahmed, TP N°1: « Initiation à l'utilisation du logiciel OptiSystem », Université de Mohamed Boudiaf – M'sila Année Universitaire 2018/2019.
- [2] LITIM Salsabil BELAID Chourouk , « Simulation d'une chaîne optique multiplexée » , mémoire de master, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA , 2019/2020.
- [3] Mohammed Amine et MOKRETAR Nabil NOURA, « Étude et Conception d'un Système de Transmission Optique en Utilisant la Technologie WDM 4 x 20 Gbit/s », mémoire de master, UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI DE CHLEF, Juil 2019.
- [4] KIMBIRI Seydou et KPEMISSI EYANA Piham, « Etude d'une liaison optique multiplexée RZ/NRZ 16 x 40 Gbit/s », mémoire de master, 2011/2012.