



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE



Université Saad Dahleb de Blida 1

Institut d'Aéronautique et des Études Spatiales

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : aéronautique

Spécialité : Avionique

Intitulé :

ETUDE D'UNE CHAÎNE DE LA TRANSMISSION OPTIQUE A LA BASE  
DE LA TECHNIQUE BIDIRECTIONNELLE EN APPLICATION  
AVIONIQUE : WDM-RF

**Préparé par :** - Redhouane ABBAS

- Riadh Zinneddine KADI

**Jury d'évaluation :**

- Promoteur : Mr.Krim, Université saad dahleb 1
- Président du jury : Mr.Dilmi, Université saad dahleb 1
- Examineur : Mr.Choutri Université saad dahleb 1

Année universitaire

2021- 2022

## **REMERCIEMENT**

## **REMERCIEMENT**

Il est particulièrement agréable, avant de présenter notre travail, d'exprimer nos gratitudees envers les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

On remercie tout d'abord les membres du jury pour l'honneur qu'ils ont accordé pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Qu'il nous soit permis d'adresser nos remerciement à notre encadreur, Dr. Krim Mohamed, pour la qualité de son encadrement et pour tous les conseils précieux qu'il nous a prodigués.

## **DEDICACES**

## **DEDICACES**

On dédie ce modeste travail à :

Nos chers parents. Pour leurs soutiens, leurs sacrifices et tous leurs efforts qu'ils ont fait pour nos éducations.

Tous ceux qui nous ont aidés pour accomplir ce mémoire de fin d'étude.

Tous les professeurs qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis, donc un grand merci pour vous.

**Redhouane ABBAS**

## **DEDICACE**

À tous ceux et celles qui me sont chers ...

Toute la promotion 2021-2022

**Riad Zineddine KADI**

## Résumé

Dans l'étude du système de la transmission optique appliquée dans le domaine avionique en Bus ARINC en transmission numérique, exemple radiofréquence est très important pour échanger les informations, cette étape consiste à avoir de différents chemins Unidirectionnel et Bidirectionnel, pour le chemin bidirectionnel on doit choisir le schéma de bloc le plus correspondant aux bons résultats (le facteur de qualité et le diagramme de l'œil). L'objectif visé pour étudier une chaîne de transmission optique WDM Bidirectionnelle et ses performances. Cette dernière est basée sur la technique du PON optique pour éviter les collisions, tout appliqué sous Simulink OptiSystem.

**Mots clés :** Transmission optique, Unidirectionnelle et Bidirectionnelle, fibre optique, DWDM, PON, RF.

## Abstract

In the study of the optical transmission system applied in the avionics field in ARINC Bus in the digital transmission, radio frequency example. It is very important to exchange information, this step consists in having different unidirectional and bidirectional paths, for the bidirectional path one must choose the block diagram that corresponds best to the correct results (the quality factor and the eye diagram). The objective is to study a Bidirectional WDM optical transmission chain and its performance. The latter is based on the optical PON technique to avoid collisions, all applied under Simulink OptiSystem.

**Keywords :** Optical transmission, Unidirectional and Bidirectional, optical fiber, DWDM, PON, RF.

## المخلص

في دراسة نظام النقل البصري المطبق في مجال إلكترونيات الطيران لنقل ARINC أي النقل الرقمي، يعد مثال التردد اللاسلكي مهمًا للغاية لتبادل المعلومات، وتتألف هذه الخطوة من وجود مسارات مختلفة أحادية الاتجاه وثنائية الاتجاه، بالنسبة للمسار ثنائي الاتجاه، يجب على المرء اختيار الكتلة الرسم التخطيطي الذي يتوافق بشكل أفضل مع النتائج الصحيحة (عامل الجودة ومخطط العين). ثم ان الهدف من دراسة سلسلة الإرسال البصري هو لدراسة الثنائية للاتجاه وأدائها. حيث تعتمد هذه الأخيرة على تقنية PON الضوئية لتجنب الاصطدامات، وكلها مطبقة في نظام Simulink OptiSystem.

الكلمات المفتاحية: الإرسال البصري، أحادي الاتجاه وثنائي الاتجاه، الألياف الضوئية، DWDM، PON، RF.

## **LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS**

**LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS**

**ACARS** : Aircraft Communication Addressing and Reporting System  
**ARINC** : Aeronautical Radio IN Corporation  
**APC** : Angled Physical Contact  
**ARP** : Adress Resolution Protocol  
**ATC** : Air Traffic Control  
**AVLAN** : Avionics Local Area Network  
**BAE System** : British Aerospace System  
**CAN** : Controller Area Network  
**Connecteur SC** : Subscriber  
**Connecteur ST** : Straight Tip  
**CO** : Central Office  
**CWDM** : Coarse Wavelength Division Multiplexage  
**DEL** : Diode electro-luminescente  
**DITS** : Digital Information Transfer System  
**DL** : Diode laser  
**DS-SS** : Direct sequence spread spactrum  
**DWDM** : Dense Wavelength Division Multiplexage  
**EDFA** : Erbium Doped Fiber Amplifier  
**EMI** : Electromagnetic Interface  
**FDM** : Frequency Division Multiplexage  
**FH-SS** : Frequency hopping spread spectrum  
**FJ** : Fiber-Jack or Opti-Jack  
**GPS** : Global Positioning System  
**GPWS** : Ground Proximity Warning System  
**HDTV** : High definition television  
**IP** : Identification Protocol  
**LAN** : Local area network  
**LC** : Lucent Connector or Little Connector or Local Connector  
**MAC** : Media Access Control  
**MIL STD** : Military Standard  
**MT-RJ** : Mechanical Transfer Registered Jack  
**OFDM** : Orthogonal Frequency Division Multiplexing  
**OLT** : Optical Link Terminal  
**ONT** : Optical Network Terminal  
**ONU** : Optical Network Unit  
**OTDM** : Optical Time Division Multiplexing  
**OSI** : Open System Interconnection

## LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

**PC** : Physical Control

**PIN** : Positive intrinsic negative

**PN** : Positive Negative

**PON** : Passive Optical Network

**RF** : Radiofréquence

**ARINC** : Aeronautical Radio IN Corporation

**SAE** : Society of Automobile Engineering

**SAL** : System Adress Label

**SFF** : Small From Factor

**TDM** : Time Division Multiplexage

**TDMA** : Time Division Multiple Access

**UAE** : Unmanned aerial vehicle

**VCSEL** : Vertical Cavity Surface Emitting Laser

**WDM** : Wavelength Division Multiplexage

**WIFI** : Wireless Fidelity

## **TABLE DES MATIERES**

**REMERCIEMENT**  
**DEDICACES**  
**RESUMES**  
**LA LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS**  
**TABLE DES MATIERES**

**INTRODUCTION GENERALE**

INTRODUCTION GENERALE .....	3
PROBLEMATIQUE : .....	7
ORGANISATION DE CE MEMOIRE : .....	9
REFERENCES .....	10

**CHAPITRE 1**

**SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR  
L'AVIONIQUE**

INTRODUCTION : .....	11
1. Système de télécommunication optique pour l'avionique : .....	11
1.1 Système de communication (modèle OSI avionique) : .....	11
1.2 Les différentes couches du modèle OSI : .....	12
2. Grandeur physique et un support de transmission de données [9] : .....	13
2.1 Phénomènes physiques permettant le transport de l'information : .....	13
La réfraction : .....	14
La réflexion totale : .....	15
Les conditions indispensables : .....	16
2. SUPPORT PHYSIQUE : .....	16
2.2.1 Bus ARINC .....	16
Définition de l'ARINC : .....	17
2.2.2 L'ARINC 429 : .....	17
4.2.3 Bus ARINC 429 : .....	18
2.2.3 La norme Arinc : .....	18
2.2.4 Le bus CAN : .....	18
3. Niveau trame : .....	19
5.1 Avantage et inconvénient de l'ARINC 429 : .....	20
4. Les bus utilisés en avionique .....	20
5. LIAISON PAR LA FIBRE OPTIQUE : .....	21
7.1 Fibre optique : .....	21
8.1 Constitution des fibres optiques : .....	22
8.2 Profil à saut d'indice : .....	23
8.3 Profil à gradient d'indice : .....	24
9. Types des fibres optiques : .....	24
10. LES LIMITATIONS : .....	26
A) L'atténuation : .....	26
B) La bande passante : .....	27
11. CLASSIFICATION DES FIBRES OPTIQUES : .....	28
12. LES COMPOSANTS A METTRE EN ŒUVRE : .....	30
12.1 Câble : .....	30

13.	LES AVANTAGES [10] : .....	34
14.	LES INCONVENIENTS [10] : .....	35
15.	LES APPLICATIONS DES FIBRES OPTIQUES [10] : .....	35
16.	CONCLUSION : .....	36

## **CHAPITRE 2**

### **LA CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE**

INTRODUCTION :	.....	39
1.	LA FIBRE OPTIQUE EN AVIONIQUE : .....	39
2.	CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE AVIONIQUE .....	40
2.1	LIAISON OPTIQUE POINT A POINT : .....	40
2.2	PRESENTATION D'UNE CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE [15] [16] [17] : .....	42
2.2.1	BLOC D'EMISSION : .....	42
A.	SOURCES OPTIQUE : .....	42
B.	LES TECHNIQUES DE MODULATION OPTIQUE : .....	43
2.2.2	BLOC DE RECEPTION : .....	44
2.	LE BLOC LINEAIRE : .....	46
3.	LE BLOC DE TRANSMISSION : .....	46
3.1	AMPLIFICATEUR OPTIQUE A FIBRE DOPEE D'ERBIUM : .....	47
4.	RESEAU LOCAL LAN / WDM AVIONIQUE : .....	50
4.1	LE RESEAU OPTIQUE PASSIF PON POUR APLIQUE EN AVIONIQUE : .....	50
4.2	ELEMENTS CONSTITUTIFS DU PON : .....	52
4.3	LES REGLES DE PARTAGE DE LA FIBRE : .....	53
4.4	LES PONS NORMALISES DE L'ITU : .....	53
4.5	LES FUTURES GENERATIONS DU RESEAU D'ACCES OPTIQUE EN AVIONIQUE : .....	55
4.6	ARCHITECTURE PON WDM (BROADCAST AND SELECT) : .....	55
5.1	LE MULTIPLEXAGE TEMPOREL OPTIQUE (OTDM) .....	58
5.2	LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE (WDM) : .....	59
A.	LE MULTIPLEXAGE DENSE (DWDM) : .....	60
B.	LE MULTIPLEXAGE DE CANAUX LARGEMENT ESPACES (COARSE WDM) : .....	61
5.2.1	PRINCIPE DE WDM : .....	62
5.2.2	DESCRIPTION DE WDM : .....	62
5.2.3	APPLICATION DE WDM : .....	63
5.2.4	LES AVANTAGES DE LA TECHNOLOGIE WDM : .....	64
5.2.5	LES LIMITATIONS DE LA TECHNIQUE WDM : .....	56
5.2.6	TYPES DE LA TECHNOLOGIE WDM : .....	56
A.	CWDM : .....	65
B.	DWDM : .....	66
5.2.7	STRUCTURE DU SYSTEME WDM : .....	68
6.	MODES DE TRANSMISSION DE WDM : .....	68
6.1	TRANSMISSION UNIDIRECTIONNELLE : .....	68
6.2	TRANSMISSION BIDIRECTIONNELLE : .....	69
7.1	BLOC DE L'EMETTEUR OPTIQUE .....	71
8.	CONCLUSION : .....	75

**CHAPITRE 3 :**  
**ETUDIER LES PERFORMANCE DE SYSTME WDM PON**  
**RADIO FREQUENCE EN APPLICATION AVIONQUE PAR**  
**L'IMPLIMENTATION OPTISYSTEME 0.7**

INTRODUCTION .....	77
1. WDM RF POUR AVIONIQUE : .....	78
2. LE SYSTÈME RF À FIBRES OPTIQUES .....	80
4. LES OBJECTIFS DE SIMULATION : .....	82
5. Simulation Appliquées en simulateur OptiSystem : .....	83
6. LE CRITERE DE QUALITE D'UNE TRANSMISSION : .....	85
7. LE CRITERE DE QUALITE D'UNE TRANSMISSION : .....	85
8. PRESENTATION DU SIMULATEUR OPTISYSTEM : .....	88
b. Interface de l'OptiSystem : .....	88
c. La bibliothèque : .....	89
d. Editeur du layout : .....	90
e. Les composantes d'une liaison optique : .....	90
9. RESULTATS DE SIMULATION ET INTERPRETATIONS.....	100
A) Premier scenario de la partie a : .....	100
B) Deuxième scenario de la partie B : .....	105
c) Troisième scenario du Partie C : .....	113
10. CONCLUSION : .....	119

**CONCLUSION GENERALE**

**BIBLIOGRAPHIES**

## **INTRODUCTION GENERALE**

# INTRODUCTION GENERALE

## SOMMAIRE INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE .....	3
PROBLEMATIQUE : .....	6
ORGANISATION DE CE MEMOIRE : .....	8
REFERENCES .....	9

### INTRODUCTION GENERALE

L'avionique est le système électronique de l'avion ; le mot avionique est une combinaison de « aviation » et « électronique ». Il peut aller à des systèmes de positionnement global, du GPS, aux radars ou aux systèmes de contrôle. Ils sont nécessaires pour contrôler l'aéronef et s'assurer qu'il peut remplir son rôle tout en maintenant la sécurité du vol. Au fur et à mesure que la technologie a progressé, la sophistication de l'avionique a progressé, au point que les futurs avions proposés peuvent désormais être considérés comme une plate-forme de capteurs à large bande passante. Les informations générées par ces capteurs doivent être transmises à d'autres zones de l'avion tel que les ordinateurs de vol et le matériel dans le cockpit [1]. De même, sur les avions commerciaux, il y a une tendance à l'augmentation constante des demandes de bande passante, les compagnies aériennes désireuses d'offrir la vidéo haute définition à la demande à chaque siège dans le cadre de systèmes avancés de divertissement en vol. Les débits de données projetés sont maintenant au point où les liaisons en cuivre ne seront pas en mesure de fournir la bande passante requise sur les futurs avions, civils et militaires, tout en maintenant un poids et des coûts réalisables. Les futurs avions devront utiliser des liaisons à fibre optique pour pratiquement répondre à la demande de la bande passante.

En plus de l'augmentation de la bande passante, il existe d'autres avantages associés à l'introduction du câble à fibre optique sur le cuivre, tels que des économies de poids significatives entraînant une réduction des coûts de fonctionnement par vol.

Le Boeing 777 étant le premier avion commercial à installer ces liaisons ; le système AVLAN a été lancé en 1995 et pouvait fonctionner jusqu'à 100 M bits par seconde (Mbps) [2]. Cette idée a été développée par Airbus qui a introduit un réseau dorsal entièrement en fibre optique sur l'Airbus A380 ; celui-ci fournit des divertissements et des informations à la demande à 550 passagers mais sera finalement de l'ordre de 750 à 800 passagers. Chacun de ces passagers sera connecté au backbone principal en fibre via une connexion filaire et la capacité du backbone principal est de 1 Gbps. Ces réseaux sont conçus pour l'aviation civile et la grande majorité du réseau et de ses composants se trouveront dans des zones pressurisées et

## INTRODUCTION GENERALE

conditionnées de l'avion. Les avions qui intéressent BAE Systems (ou British Aerospace Systems) et qui font l'objet de cette thèse sont les futurs avions militaires. Il peut s'agir d'un jet rapide, d'un avion de transport ou d'un véhicule aérien sans pilote, UAV (ou Unmanned aerial vehicles). Il y aura des différences entre les exigences des réseaux dans les domaines civils et militaires, allant de la puissance disponible aux composants de chaque réseau et de l'environnement dans lequel le réseau et ses composants associés doivent fonctionner.

Il existe également des différences dans la conception de chaque réseau. Dont la sorte dans lequel le flux de données est principalement unidirectionnel, d'un ordinateur central à chaque casque de siège avec une liaison à faible débit de données vers l'ordinateur central. Les débits de données dans chaque direction du réseau dans un avion militaire seront plus symétriques avec des débits de données élevés requis dans les deux sens. Même avec ces différences, l'évolution des réseaux de fibre optique dans le secteur militaire a été globalement similaire à celle du secteur civil. L'Eurofighter Typhoon par exemple est équipé d'un réseau de fibre optique en étoile mais fonctionnant à des débits de données faibles de 100 Mbps [3], cela doit être augmenté dans les futurs systèmes.

Les technologies de la nouvelle génération ont le potentiel de générer de grandes quantités de données, l'imagerie de mouvement à grande échelle, par exemple, peut produire jusqu'à 40 Gbps. Bien que cela puisse être pris en charge avec un réseau en cuivre, cela coûtera cher et ajoutera un poids considérable à l'avion, cela dépasse également de loin les capacités des liaisons et des réseaux avioniques optiques actuellement déployés. Les réseaux optiques nécessaires aux avions de nouvelle génération doivent apporter des améliorations significatives à ceux actuellement utilisés. Ce n'est plus le cas que des liaisons point à point et des réseaux à faible bande passante peuvent être déployés dans tout l'avion, de nombreux nœuds d'extrémité doivent être connectés soit à des points dans tout l'avion, soit à un ordinateur de vol central et à des bandes passantes plus élevées que celles actuellement utilisées. Le fait d'avoir plusieurs signaux transportés sur une seule fibre minimisera également les pénétrations qui peuvent être nécessaires dans toute la cellule et permettent l'utilisation de joints rotatifs optiques afin qu'une extrémité du réseau puisse tourner par rapport à l'autre. La solution évidente pour

## INTRODUCTION GENERALE

combiner des signaux consiste à utiliser le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM).

La transmission optique a pris le pas sur toutes les autres solutions comme technologie de transport grâce aux progrès en WDM.

La technologie WDM basée sur la multiplication de la capacité de transmission des fibres optiques par la combinaison de deux à 160 canaux sur une même fibre a réduit spectaculairement le coût par bit, favorisant l'augmentation de la capacité de transmission des réseaux longue distance.

A l'origine, le WDM est mis en œuvre uniquement pour des liaisons point à point. Le principe du multiplexage en longueur d'onde ou WDM (Wavelength Division Multiplexing), permet de transmettre simultanément sur la même fibre optique des signaux de deux ou plus longueur d'onde. On peut faire l'analogie avec les techniques de radiodiffusion, par exemple en téléphonie mobile, on multiplexe des fréquences différentes, par FDM (ou Frequency Division Multiplexing). Le grand intérêt du WDM est de multiplier la capacité de transmission d'une seule fibre optique utilisée en TDM par le nombre N de canaux en longueur d'onde. Cette technologie évite aussi d'installer des nouvelles fibres dans les systèmes existants. On utilise le terme DWDM, (Dense Wavelength Division Multiplexing) pour les systèmes multiplexés en longueur d'onde qui se situent dans la troisième fenêtre autour de  $\lambda = 1550$  nm avec un espacement dense entre canaux de 25 GHz, 50 GHz ou 100 GHz [6].

Le WDM a l'avantage d'être une technologie ouverte capable d'accepter n'importe quel type de signal numérique électrique et de le transposer dans le domaine optique pour garantir une transmission avec de faibles pertes, en toute immunité vis-à-vis des perturbations électromagnétiques et à très haut débit pour le signal composite résultant. Le multiplexage en longueur d'onde est donc une technologie de transport indépendante des protocoles.

Le WDM fait fonctionner chaque canal à une longueur d'onde différente. Ces canaux peuvent alors être combinés et portés par une seule fibre sur une grande distance, ils peuvent alors être séparés avec très peu de mélange des signaux avant décodage du signal au niveau des récepteurs.

### **PROBLEMATIQUE :**

Au niveau de transmission, les signaux transmis peuvent entrer en collision, par conséquent il y aura besoin d'une technique pour éviter ces collisions et pour bien échanger les informations, pour cela l'objectif principal de ce mémoire est basé sur WDM PON RF appliqué en optique au schéma unidirectionnel et bidirectionnel.

Dans l'étude du système de la transmission optique appliquée dans le domaine Avionique en Bus ARINC est très important pour échanger les informations, cette étape consiste à avoir des différents chemins Unidirectionnel et Bidirectionnel, pour le chemin bidirectionnel on doit choisir le schéma de bloc le plus correspondant aux bons résultats (le facteur de qualité et le diagramme de l'œil). Cette dernière est basée sur la technique du PON optique pour éviter les collisions. Les réseaux optiques sont rapides et sans erreur mais dus à certains effets de non-linéarité, ses performances se dégradent. La performance du multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) dans les systèmes radio sur fibre (RoF) se révèle fortement influencée par les caractéristiques de non-linéarité à l'intérieur de la fibre.

Le modèle conceptuel utilisé basé sur l'architecture globale du réseau du PON et les éléments de WDM PON, pour l'application en bus ARINC pour la transmission numérique [4].

Pour évaluer les caractéristiques de ce modèle proposé, nous avons modélisé trois objectifs :

**Le Première Objectif :** Transmission unidirectionnelle avec un signal sinusoïdal en étudiant les spectres d'émission avec deux et trois canaux.

**Le Deuxième Objectif :** Transmission bidirectionnelle en radio fréquence avec quatre canaux, en étudiant les caractéristiques pour évaluer les performances de ce système.

**Le Troisième Objectif :** Minimiser le nombre des blocs pour obtenir les résultats correspondants au facteur de qualité au diagramme de l'œil et en parallèle la probabilité d'avoir des collisions diminue, et pour bien étudier la méthode bidirectionnelle.

## **INTRODUCTION GENERALE**

Dans notre travail, nous avons basé sur la technique bidirectionnelle appliquée pour RoF (Radio over Fiber) à l'aide du Simulink OptiSystem.

L'objectif visé pour étudier une chaîne de transmission optique WDM bidirectionnelle et ses performances tout appliqué sous logiciel OptiSystem, ainsi que pour trouver le schéma de bloc correspondant aux bons résultats (le facteur de qualité et le diagramme de l'œil).

Le réseau proposé devrait tirer parti des économies d'échelle associées au marché des télécommunications par opposition à utiliser des composants sur mesure.

S'éloigne de l'idée de découpage du spectre et détaille une nouvelle technique d'économie d'énergie lors de l'utilisation d'un réseau optique passif WDM PON, avec des émetteurs laser et une amplification optique. Ceci est présenté comme une alternative à l'utilisation du réseau dans le système RF avionique.

Tout cela en réduisant les temps de latence et en assurant une gestion de la qualité de service à la couche physique. Ceci se résume à un fonctionnement autonome des éléments de réseau, l'optimisation et l'utilisation efficace des ressources.

Pour répondre aux besoins précités, la technique de multiplexage en longueur d'onde WDM, très utilisée dans le cadre du réseau métropolitain fait partie des solutions envisagées pour le réseau d'accès dans le cadre d'un déploiement de type PON (Passive Optical Network) [6].

C'est dans ce contexte que le présent travail de mémoire a été entrepris et décrira les différents éléments intervenant dans un système de transmission optique avionique à base la technique WDM Bidirectionnelle.

### **ORGANISATION DE CE MEMOIRE :**

Le travail est devisé en trois parties :

- **Le premier chapitre** est consacré à l'étude théorique de la fibre optique qui se résume dans la présentation de la fibre optique, la transmission par la fibre et la présentation des défauts de transmission par fibre optique.
- **Dans le second chapitre** on va décrire la chaine de télécommunication optique et les différentes techniques utilisées pour compenser les défauts de transmission.
- Enfin, **le troisième chapitre** sera consacré à la simulation d'une chaine de télécommunication optique en tenant compte des différents paramètres à savoir : la longueur de la fibre, la température, la sensibilité, le débit binaire, le coefficient de bruit en excès, le facteur d'amplification, les capacités des éléments photo-électriques, le flux énergétique émit par la source et le coefficient de modulation.
- Et on terminera par une conclusion.

### REFERENCES

- [1] Eoin Murphy , Wavelength Agnostic WDM Strategies for Avionic Telecommunications, A thesis submitted for the Degree of Doctor of Engineering, University of Strathclyde, October 2014
- [2] D. E. Anderson, M.W. Beranek '777 Optical LAN technology review', Electronic Components and Technology Conference 1998, pp 386-390.
- [3] Eurofighter Typhoon technical guide, page 28, from [www.eurofighter.com/downloads/TecGuide.pdf](http://www.eurofighter.com/downloads/TecGuide.pdf) retrieved 27/8/14.
- [4] The Application of Fiber Optic Wavelength Division Multiplexing in RF Avionics, Ngo Duc, Hung Nguyen, Mohammed Atiquzzaman, James Sluss, <https://www.researchgate.net/publication/24328530>, december 2004
- [5] Student, M.Tech Communication Engineering, Professor, SENSE Department, Vellore Institute of Technology, Chennai
- [6] P. Chanclou, A. Cui, F. Geilhardt, H. Nakamura et D. Nessel, "Network Operator Requirements for the Next Generation of Optical Access Networks", IEEE Network, vol. 26, no. 2, pp. 8 – 14, 2012.

## **CHAPITRE 1**

# **SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE**

**SOMMAIRE CHAPITRE 1**

INTRODUCTION :	11
1. Système de télécommunication optique pour l'avionique :	11
1.1 Système de communication (modèle OSI avionique) :	11
1.2 Les différentes couches du modèle OSI :	12
2. Grandeur physique et un support de transmission de données [9] :	13
2.1 Phénomènes physiques permettant le transport de l'information :	13
La réfraction :	14
La réflexion totale :	15
Les conditions indispensables :	15
2. SUPPORT PHYSIQUE :	16
2.2.1 Bus ARINC :	16
Définition de l'ARINC :	16
2.2.2 L'ARINC 429 :	17
2.2.3 Bus ARINC 429 :	17
2.2.3 La norme Arinc :	18
2.2.4 Le bus CAN :	18
3. Niveau trame :	19
5.1 Avantage et inconvénient de l'ARINC 429 :	20
4. Les bus utilisés en avionique :	20
5. LIAISON PAR LA FIBRE OPTIQUE :	21
7.1 Fibre optique :	21
8.1 Constitution des fibres optiques :	22
8.2 Profil à saut d'indice :	22
8.3 Profil à gradient d'indice :	23
9. Types des fibres optiques :	24
10. LES LIMITATIONS :	26
A) L'atténuation :	26
B) La bande passante :	27
11. CLASSIFICATION DES FIBRES OPTIQUES :	28
12. LES COMPOSANTS A METTRE EN ŒUVRE :	29
12.1 Câble :	29
13. LES AVANTAGES [10] :	34
14. LES INCONVENIENTS [10] :	35
15. LES APPLICATIONS DES FIBRES OPTIQUES [10] :	35
16. CONCLUSION :	36

**INTRODUCTION :**

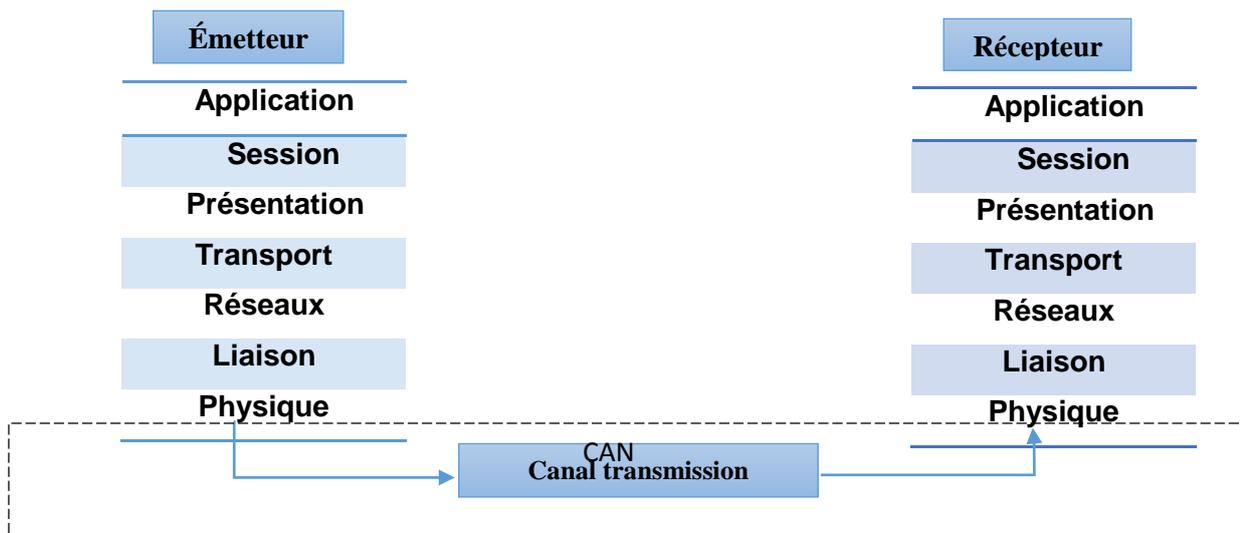
Dans ce chapitre, nous avons étudié la chaîne de télécommunication optique pour l'avionique, on va présenter des certaines notions de base sur la norme modèle iso pour télécommunication et la notion sur la lumière physique et leur application dans le domaine de transmission par le support de liaison par fibre optique.

**1. Système de télécommunication optique pour l'avionique :**

Le système de télécommunication optique pour l'avionique, ce dernier est un assemblage d'électronique et d'information d'avion. La transmission des données sera faite à l'aide des réseaux et protocoles, d'où la mise au point d'un point d'un protocole nommé ARINC pour faciliter la transmission et augmenter la fidélité des informations.

**1.1 Système de communication (modèle OSI avionique) :**

Un système de communications sécurisé représente une application prometteuse de l'estimation d'état des systèmes non linéaires. A partir d'un message contenant de masque de la donnée, l'émetteur génère un signal qui est transmis au récepteur par le canal. Le récepteur reconstruit et traite le message original, grâce à une "clé" partagée avec l'émetteur. La Figure (1.1) Montre les différentes couches de basse d'un système de communication moderne [7].



**Figure 1.1 :** Architecture de base d'un système de communication en 7 couches (modèle OSI avionique)

### 1.2 Les différentes couches du modèle OSI :

Le modèle OSI (ou Open System Interconnection) décrit sept couches avec les noms de : couches physiques, liaison, réseau, transport, session, présentation et application. Les différents protocoles qui définissent le réseau et les communications sont donc distribués dans chaque couche, selon leur utilité. Il est d'usage de diviser ces sept couches en deux : les couches basses, qui gèrent des fonctionnalités de base, et les couches hautes, qui contiennent les protocoles plus élaborés [8] :

- 1- **Couche application** : Le point d'accès aux services réseaux, elle n'a pas de service propre spécifique et entrant dans la portée de la norme.
- 2- **Couche Session** : elle permet de gérer les connexions et déconnexions et la synchronisation entre deux processus.
- 3- **Couche Présentation** : chargé du codage des données à transmettre. Elle s'occupe des conversions d'alignement et du chiffrement ou de la compression des données transmises.
- 4- **Couche Transport** : En charge de la liaison d'un bout à l'autre. S'occupe de la segmentation des données en petits paquets et vérifie éventuellement. Qu'elles ont été transmises correctement.
- 5- **Couche Réseau** : s'occupe de tout ce qui a trait à internet : l'identification des différents réseaux à interconnecter, la spécification des transferts de données entre réseaux, leur synchronisation, etc. Cette couche qui s'occupe du routage, la découverte d'un chemin de transmission entre récepteur et émetteur, ce chemin qui passe par une série de machines ou de routeurs qui transmettent l'information directement. Le protocole IP est Le protocole principal de cette couche.
- 6- **Couche Liaison** : s'occupe de la transmission d'un flux de bits entre deux ordinateurs, par l'intermédiaire d'une liaison point à point ou d'un bus. Pour simplifier, elle s'occupe de la gestion du réseau local. Elle prend notamment en charge les protocoles MAC (Media Access Control), ARP (Adress Resolution Protocol), et quelques autres.
- 7- **Couche physique** : La couche physique s'occupe de la transmission physique des bits entre deux équipements réseaux. Elle s'occupe de la transmission des bits, leur encodage, la synchronisation entre deux cartes réseau, etc. Elle définit les standards des câbles réseaux, des fils de cuivre, du WIFI, de la fibre optique, ou

de tout autre support électronique de transmission. elle propose plusieurs types de codage de l'information : DS-SS (direct-sequence spread spectrum), FH-SS (frequency-hopping spread spectrum), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

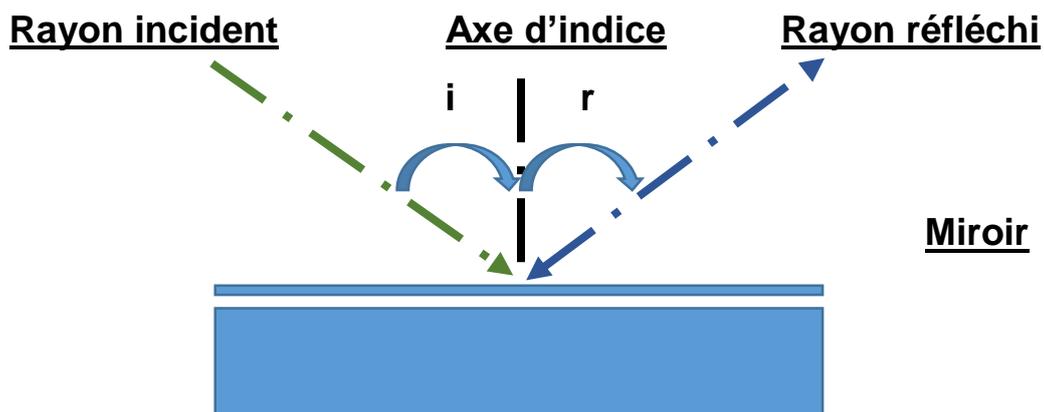
Un problème toujours posé dans le domaine, c'est la collision des données, avec l'avancement de la technologie des systèmes de transmission modernes, il y a un besoin croissant pour des modèles de communication WDM avancée basée sur la technique PON WDM en application avionique.

## 2. Grandeur physique et un support de transmission de données [9] :

### 2.1 Phénomènes physiques permettant le transport de l'information :

Le phénomène physique principal étant à l'origine du transport de la lumière au sein de la fibre optique est connu et maîtrisé depuis longtemps. Il porte le nom de réflexion totale. Afin de bien comprendre son principe, redéfinissons d'abord deux autres notions simples :

#### 1. La réflexion : $i = r$



**Figure 1.2** : Le phénomène de réflexion

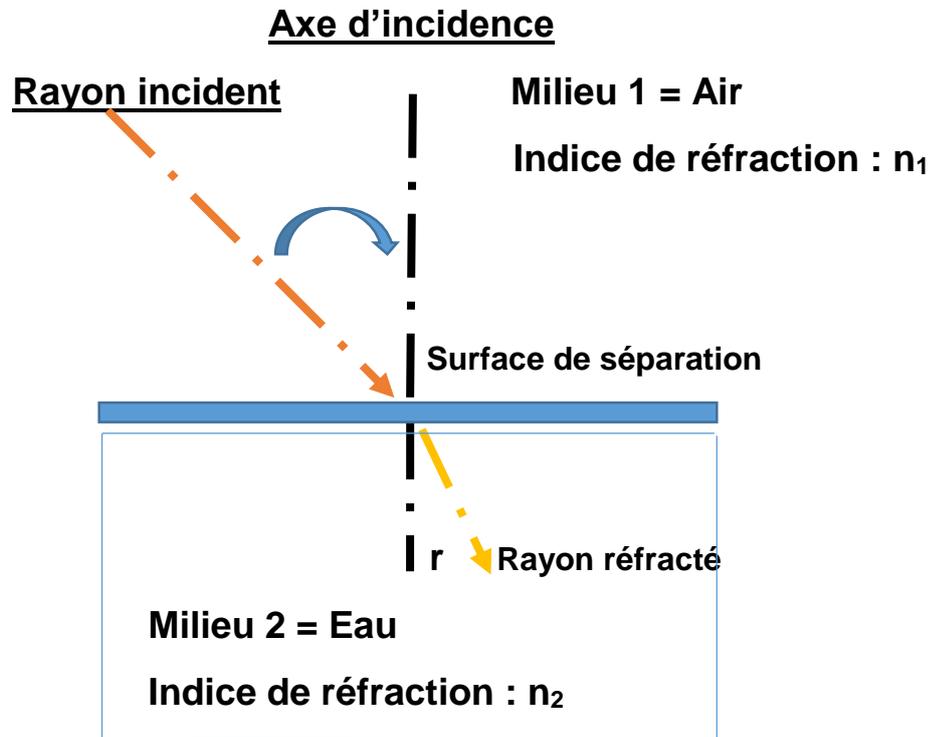
Lorsqu'un rayon lumineux (figure 1.2), appelé rayon incident, « tombe » sur une surface réfléchissante (exemple : un miroir) il subit une déviation dans le même plan suivant un angle de réflexion « r » qui est de même valeur que l'angle d'incidence « i »

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

par rapport à un axe appelé axe d'incidence, perpendiculaire à la surface de séparation.

La réfraction :

La figure suivante représente le phénomène de réfraction



**Figure 1.3** : Le phénomène de réfraction

$$i > r \quad n_2 > n_1 \quad \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.1)$$

La figure 1.3 illustre un autre phénomène optique : La réfraction. Elle agit lors du passage d'un rayon lumineux incident d'un milieu 1, par exemple de l'air, vers un milieu 2 différent, par exemple de l'eau. Ce rayon incident va subir une déviation lors de la traversée dans le second milieu. L'angle de réfraction « r » du rayon réfracté sera différent de l'angle d'incidence « i » par rapport à l'axe d'incidence déjà défini ci-dessus.

Les relations mathématiques qui en résultent sont indiquées à côté de la figure 1.3. Dans notre exemple, le milieu 2 est plus réfringent que le milieu 1. Son indice de réfraction  $n_2$  est plus grand que l'indice de réfraction du milieu 1  $n_1$ .

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

L'indice de réfraction est le rapport entre la vitesse de propagation d'un signal lumineux dans le vide et la vitesse de propagation du signal lumineux dans le milieu considéré.

$$n_{\text{milieu}} = \frac{c_0}{c_{\text{milieu}}} \quad (1.2)$$

### La réflexion totale :

Nous pouvons définir ce phénomène comme suit : Il y a réflexion totale lorsque l'angle d'un rayon lumineux incident, évoluant d'un milieu plus réfringent (+ dense) vers un milieu moins réfringent (- dense), est supérieur à la valeur de l'angle limite du milieu où se propage le rayon incident. La figure suivante représente la réflexion totale.

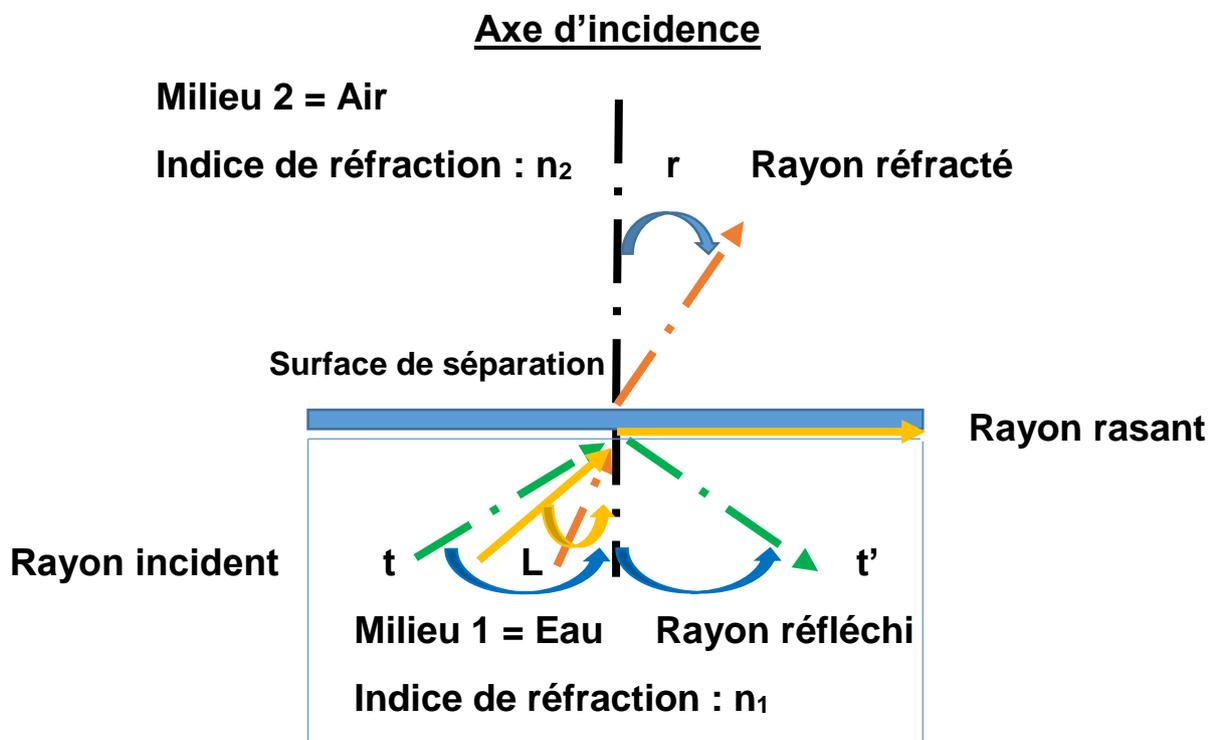


Figure 1.4 : La réflexion totale

Les conditions indispensables :

$$n_1 > n_2 \quad t > L \quad L = \text{angle limite} \quad t = t' \quad (1.3)$$

La figure I .4 montre qu'en-dessous de l'angle limite « L », les rayons lumineux (en rouge) subissent le phénomène de réfraction et traversent la surface de séparation

## **CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE**

des deux milieux. Le rayon (jaune) ayant son angle d'incidence égale à l'angle limite rase la surface de séparation. Par contre le rayon (vert) qui attaque la surface de séparation avec un angle d'incidence supérieur à l'angle limite n'est plus en mesure de « sortir » vers le deuxième milieu mais subit une réflexion totale dans le premier.

Dans une fibre optique, nous allons donc créer les conditions nécessaires et indispensables à la réflexion totale pour guider le signal lumineux dans le conduit en verre.

### **2. SUPPORT PHYSIQUE :**

Il s'agit d'une structure point à point. La communication est unidirectionnelle et pour une communication bidirectionnelle entre les systèmes, on utilise deux bus, un dans chaque direction. Un bus ARINC 429 utilise deux fils pour transmettre un encodage bipolaire avec retour à zéro. Les mots de 32 bits sont séparés par 4 bits-time NULL, il n'y a pas besoin d'un 3ème fil pour le signal d'horloge. Le bus unidirectionnel utilisé s'appelle DITS ce qui signifie : Mark33 Digital Information Transfert System. C'est une paire torsade.

Le bus ARINC 429 supporte deux types de débit : un haut débit de 100Kbps pour les hautes' données (1% des données) et un faible débit variant entre 12Kbps et 14,5Kbps pour les basses données.

#### **2.2.1 Bus ARINC :**

##### **Définition de l'ARINC :**

C'est une société détenue par les principales compagnies aériennes et des constructeurs aéronautiques américains. Comme pour définir les principaux standards de communications à l'intérieur des aéronefs et entre les aéronefs set le sol.

L'ARINC gère les opérations d'extension des systèmes radios, la répartition des fréquences, la standardisations des systèmes de communication, l'électronique à bord et l'échange d'information technique.

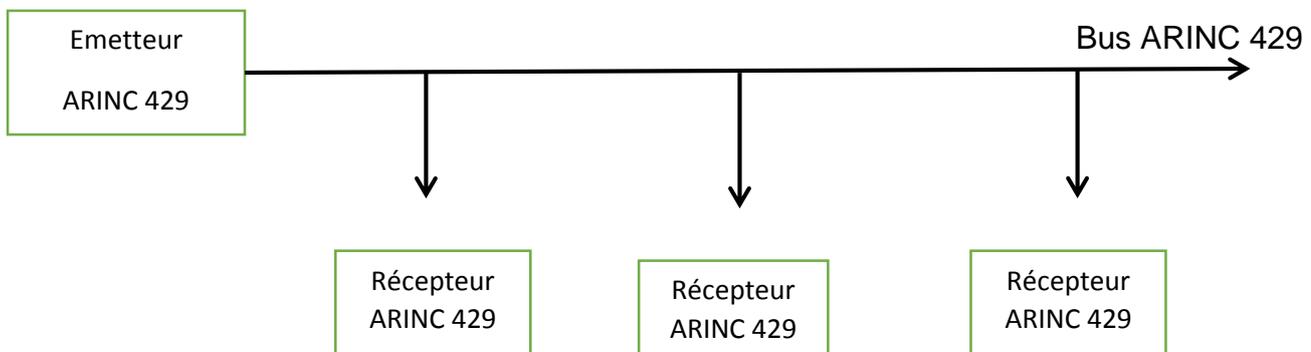
### Exemples des normes :

- 718- ATC
- 723-GPWS
- 724-ACARS
- 429- transmission numérique

### 2.2.2 L'ARINC 429 :

L'ARINC 429 est un des plus anciens bus avionique. Développé par Aeronautical Radio IN Corporation en 1977, il est encore utilise aujourd'hui sur des nouvelles plates-formes même si d'autres bus plus récents sont plus fréquemment retenus. Ce bus est un bus de données simple utilisant un seul émetteur et de 1 à 20 récepteurs par bus.

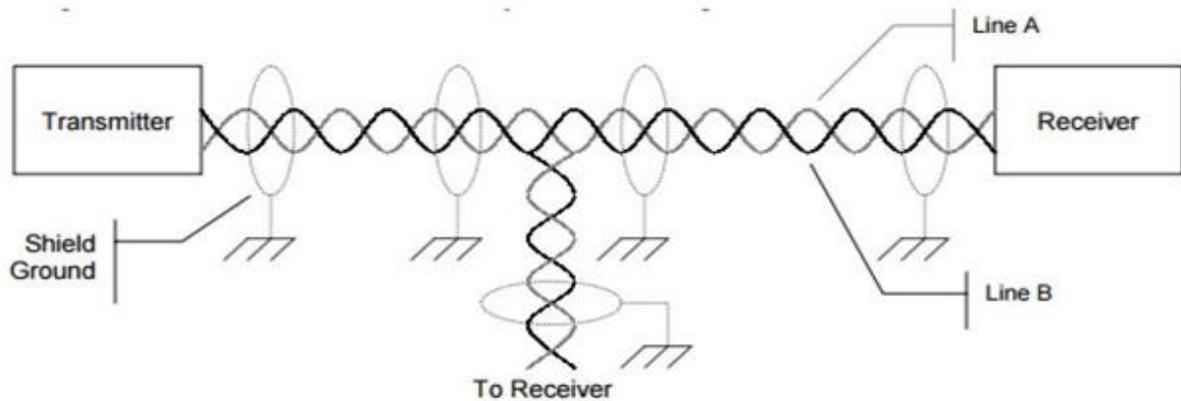
On le retrouve dans des avions tels que les Airbus A310/A320 et A330/A340, dans les Boeing du 727 an 767 et dans de nombreux autres systèmes avioniques tels que les hélicoptères Bell.



**Figure 1.5 :** Architecture Bus ARINC 429

### 4.2.3 Bus ARINC 429 :

Physiquement les signaux électriques sont transmis à travers des paires torsadées 78  $\Omega$ , chaque paire pouvant connecter un transmetteur à 20 récepteurs maximum.



**Figure 1.6 :** Support physique de la transmission ARINC

### 2.2.3 La norme Arinc :

Les niveaux électriques, la vitesse et le protocole de transmission des données.

Donc il est le bus informatique la plus rayonnée sur les systèmes avioniques complexes. Son architecture est basée sur la connexion des signaux électriques qui est réalisée l'intermédiaire d'une paire torsadée composée de 2 brins (A et B). Ce transfert est réalisé entre les deux lignes de la paire. L'impédance de cet émetteur est divisée également entre 2 lignes.

### 2.2.4 Le bus CAN :

Le bus CAN (Controller Area Network) est un moyen de communication série avec les systèmes embarqués de haute fiabilité et l'un des réseaux de terrains, il fonctionne dans la couche physique et liaison, il est normalisé au modèle ISO. On a 2 types de CAN dans la couche physique.

- CAN H (2,5 - 3,5 V)
- CAN L (2,5 - 1,5 V)

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

### 3. Niveau trame :

Les données sont transférées sur les bus séries ARINC 429 par des mots de 32 bits. Chaque mot est séparé par un trou inter-mots' de 4 bits (bit-time).

Nous sommes ici dans le cas d'une liaison point à point, donc le système de contrôle est aussi point à point. Trois protocoles sont définis dans ARINC 429 pour les données numériques, discrètes ou fichiers

Les transferts de données numériques ou discrètes sont effectués en utilisant un champ SAL (System Adress Label) unique pour identifier la donnée contenue dans chaque mot.

Les transferts de fichiers de données sont effectués par le protocole Bit-Oriented ou Williamsburg Dans ce protocole, la source initialise les communications en envoyant des codes prédéfinis. Si transfert Bit-Orienté est désiré, la source enverra le mot code : ALO. Si le récepteur peut recevoir les données, il répond avec ALR. Dans la plupart des cas, le message consiste en un mot de donnée. Le label définit le type de donnée du mot. Le Bit de parité permet vérifier la validité de la transmission.

#### Format des mots :

P	SSM	Données	SDI	LABEL
32	29	11	8	1

Ou :

- **P** : bit de parité (impaire)
- **SSM** : sign/status matrix
- **SDI** : source/destination identifiée
- **LABEL** : identifiant des données

**5.1 Avantage et inconvénient de l'ARINC 429 :**

**1. Avantage :**

- ✚ Simplicité topologie et protocole
- ✚ Déterminisme car il utilise un seul émetteur

**2. Inconvénient :**

- ✚ Emission et réception sur bus séparé donc câblage élevé et un débit faible

**4. Les bus utilisés en avionique**

Le Tableau 1.1 suivant Les bus utilisés en avionique

	<b>ARINC 429</b>	<b>ARINC 629</b>	<b>MIL STD-1553</b>	<b>ARINC 636</b>	<b>AFDX</b>
<b>Date</b>	1977	1989	1978		1977
<b>Utilisation</b>	Airbus A310/320 A330/340 Boeing 727/767 Hélicoptères Bell	Boeing 777	Militaires	A l'étude	Airbus A380
<b>Encodage</b>	Bipolaire RZ	Manchester II Doublet	Manchester II Biphase	NRZ 4B/5B	Manchester
<b>Support</b>	Paires torsadées unidirectionnelles	Paires torsadées bidirectionnelles	Paires torsadées Blindées bidirectionnelles	Fibre optique	Paires torsadées
<b>Débit</b>	100 KB/S 12.5 KB/S	2 MB/S	1 MB/S	100 MB/S	100 MB/S
<b>Longueur Des mots</b>	32 Bits	20 Bits	20 Bits	De 0 à 4478 octets	De 46 à 1500 octets
<b>Format des Message</b>	En général 1 mot	Jusqu'à 256 mots	Au max 32 mots	1 mot	1 mot
<b>Contrôle D'erreur</b>	1 Bit de parité	1 Bit de parité	1 Bit de parité par mot		

**Tableau 1.1 : Les bus utilisés en avionique**

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

**ARINC 429** est l'un des plus anciens bus utilisés. Il est fiable et simple mais on essaie toujours de diminuer le poids dans un avion c'est pour cela on doit concevoir des supports plus rapides et moins encombrants par l'utilisation de fibre optique.

### 5. LIAISON PAR LA FIBRE OPTIQUE :

La fibre optique est une grandeur physique et un support de transmission de données. Les systèmes de communication optique utilisent la lumière (onde lumineuse) pour transmettre l'information d'un lieu à un autre.

Selon la nature de support de transmission on différencie entre les bus avioniques qu'ils sont utilisés dans les 2 couches physiques (pour la transmission radio) et liaison. Ils détectent et corrigent les erreurs.

Pour la communication à l'intérieur des avions et entre les avions au sol et les systèmes radio, on trouve le bus ARINC qui est une norme aéronautique qui décrit à la fois une architecture, une interface électrique et un protocole pour véhiculer des données numériques.

#### 7.1 Fibre optique :

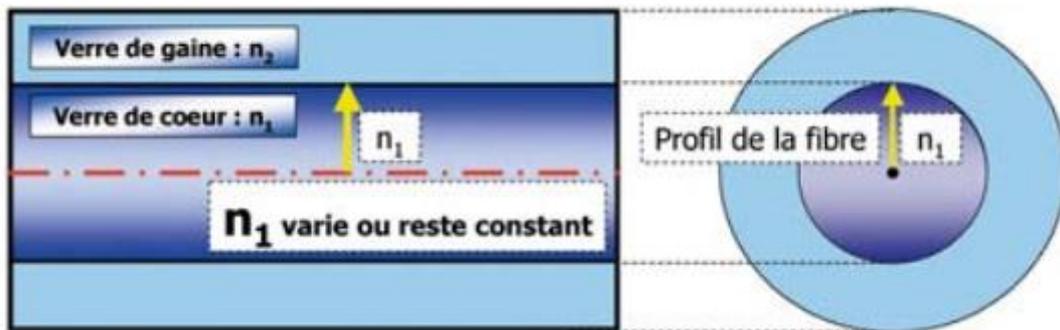
Une fibre optique est un guide d'onde cylindrique et diélectrique, elle est fine que des cheveux humains, la fibre optique a l'avantage grâce à ses composants dont elle est constituée de matériaux à faible perte tel que le verre de silice, elle se compose d'une partie centrale appelée le cœur, qui s'agit d'un indice de réfraction ( $n_1$ ), et d'une gaine optique aussi, qui s'agit d'un indice de réfraction ( $n_2$ ), entourée par un revêtement protecteur pour la protéger des dommages environnementaux et des dommages mécaniques. Le guidage de la lumière dans la fibre optique se fait par la réflexion totale et interne. Cela n'est garanti que si deux conditions sont réunies.

La première condition est que le cœur et la gaine sont constitués de matériaux transparents et que l'indice de la gaine est inférieure à celui du cœur, la deuxième condition s'agit d'envoyer le signal lumineux dans la fibre optique avec un certain angle, par rapport à l'axe, inférieur à l'ouverture numérique (ON) :

$$ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.4)$$

## 8. Types des fibres optiques et des limitations :

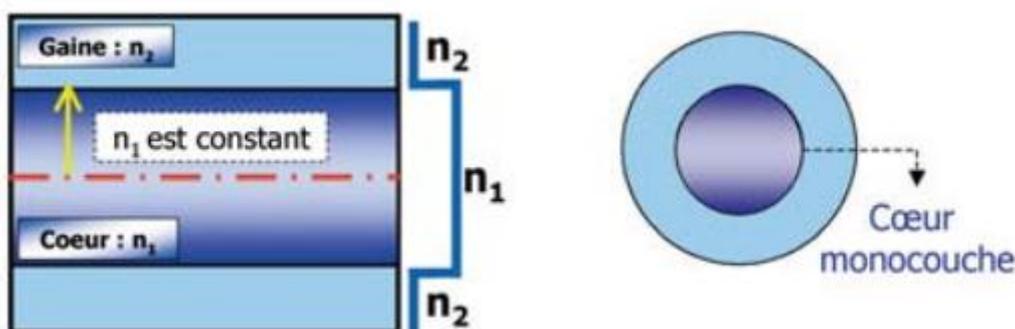
### 8.1 Constitution des fibres optiques :



**Figure 1.7 :** Constitution des fibres optiques

Une fibre optique est constituée de deux parties distinctes (figure 1.7), un cœur de verre d'indice de réfraction  $n_1$  et une gaine de verre d'indice de réfraction  $n_2$ . Cette dernière entoure le cœur. L'indice  $n_1$  est supérieur à  $n_2$  permettant ainsi la réflexion totale. Lorsqu'on considère l'indice de réfraction radialement depuis le centre du cœur jusqu'à la gaine, on parle du profil d'indice de réfraction. Cet indice peut être constant ou varier. Une enveloppe protectrice entoure complètement la gaine et offre ainsi une protection mécanique à l'ensemble cœur-gaine.

### 8.2 Profil à saut d'indice :



**Figure 1.8 :** Profil à saut d'indice

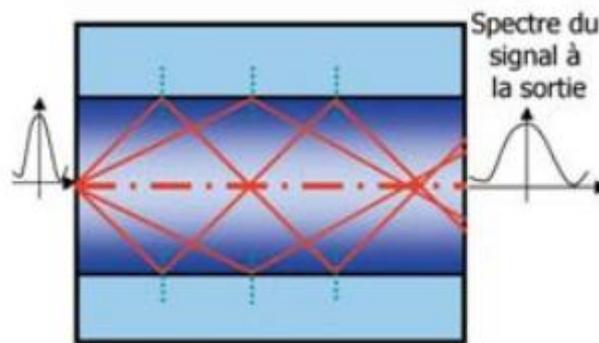
Lorsque l'indice de réfraction du cœur ne varie pas, on parle de profil à saut d'indice et le rayon lumineux ne subit aucune déviation dans le cœur. Son trajet est dévié au

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

niveau de l'interface cœur-gaine là où l'indice de réfraction change de valeur (figure 1.8).

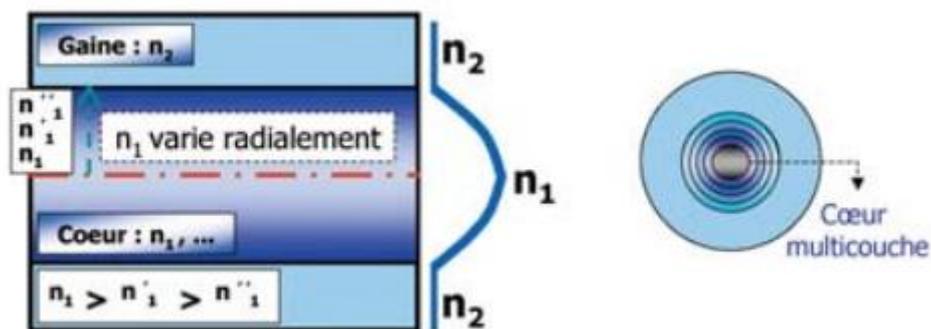
Ce type de profil est peu performants pour les transmissions à haut débit car les rayons lumineux qui s'y propagent suivent des trajets forts différents les uns des autres et se déplacent à différentes vitesses en fonction de leurs longueurs d'onde. Il y a donc à l'arrivée un étalement de spectre conséquent (figure 1.9).

Ce phénomène est appelé **dispersion intermodale**.



**Figure 1.9** : Phénomène de la dispersion intermodale

### 8.3 Profil à gradient d'indice :



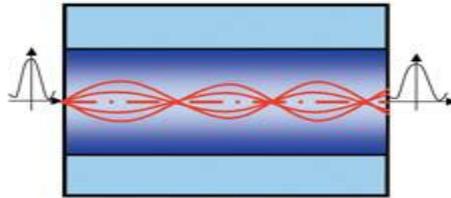
**Figure 1.10** : Profil à gradient d'indice

Avec ce type de profil (figure 1.10), l'indice de réfraction du cœur décroît radialement depuis le centre vers la gaine. On peut représenter le cœur comme une superposition de couches de verre d'indice de réfraction différent.

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

Cette disposition imprime aux différents rayons lumineux parcourant le cœur des trajets plus proches les uns des autres, donc un étalement de spectre moins important (figure 1.11).

Les fibres optiques multi modes actuelles sont de type à gradient d'indice car plus performantes. On réduit le phénomène de dispersion intermodale.



**Figure 1.11** : Phénomène de la dispersion intermodale

Les fibres optiques multi modes actuelles sont de type à gradient d'indice car plus performantes. On réduit le phénomène de dispersion intermodale.

### 9. Types des fibres optiques :

Il existe deux sortes de fibres optiques :

- Les fibres optiques MULTIMODES
- Les fibres optiques MONOMODES

Un mode est un rayon lumineux se propageant au sein du cœur. A certaines longueurs d'onde (850 et 1300 nm) et avec certaines dimensions du cœur (50 et 62,5  $\mu\text{m}$ ) plusieurs rayons lumineux traversent la fibre qui porte alors le nom de multi mode. À l'inverse, une fibre monomode n'autorise la propagation que d'un seul rayon lumineux. Il porte le nom de mode fondamental.

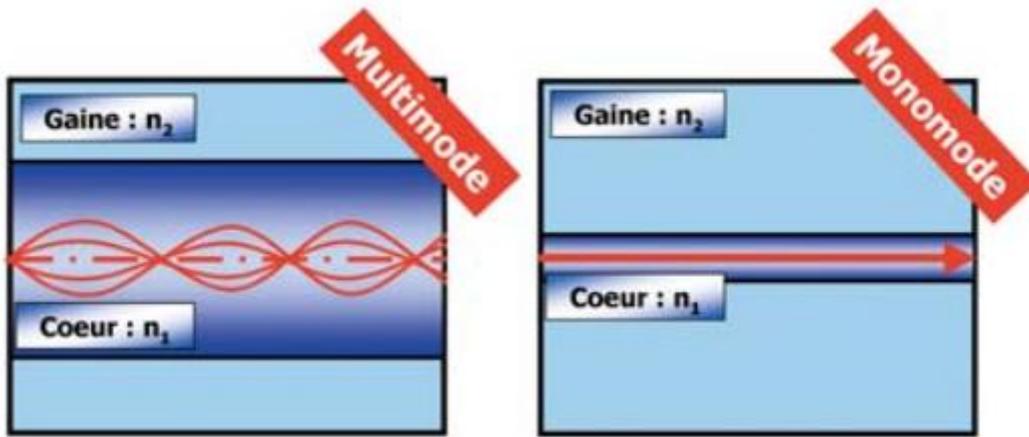
Les différences entre ces fibres sont :

#### 1. Les dimensions du cœur :

- ✚ 62,5  $\mu\text{m}$  et 50  $\mu\text{m}$  pour les multimodes
- ✚ 8  $\mu\text{m}$  et 9  $\mu\text{m}$  pour les monomodes

#### 2. Les longueurs d'onde employées :

- ✚ 850 et 1300 nm pour les multimodes
- ✚ 1310, 1550 et 1625 nm pour les monomodes

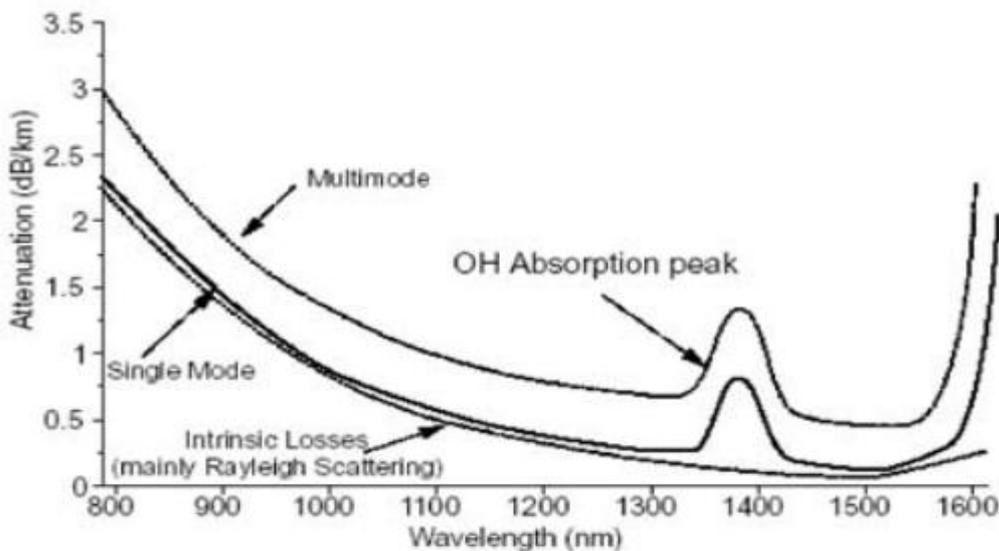


**Figure 1.12 :** Types des fibres optiques

Leurs performances sont également bien différentes. Les multimodes sont prévues pour couvrir de courtes distances (quelques centaines de mètres à 2 km max.), par exemple un réseau local, car leur atténuation est importante : 3,5 dB/km (valeur typique à 850 nm).

Par contre, les monomodes ont la capacité de parcourir plusieurs dizaines de kilomètre sans nécessiter l'emploi d'un préamplificateur, leur atténuation est beaucoup plus faible : 0,5 dB/km (valeur typique à 1310 nm). C'est une des raisons pour laquelle les opérateurs de télécommunication utilisent ce type de fibre.

Les longueurs indiquées ci-dessus ont été choisies car elles génèrent un minimum d'atténuation (figure 1.13).



**Figure 1.13 :** Graphe d'atténuation

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

Les longueurs indiquées ci-dessus ont été choisies car elles génèrent un minimum d'atténuation (figure 1.13).

### 10. LES LIMITATIONS :

Plusieurs paramètres sont à considérer lors de l'évaluation des performances des fibres optiques, cela se traduit souvent en longueur de câble plus ou moins importante en fonction des débits. Les deux paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission des fibres optiques sont :

- L'atténuation
- La bande passante

#### A) L'atténuation :

La lumière, qui se propage au sein de la fibre optique, subit une perte d'énergie appelée ATTÉNUATION. Cette dernière doit être la plus faible possible afin d'être en mesure de parcourir de grandes distances. Il faut en tenir compte lors de l'élaboration de liaisons optiques. Comme déjà mentionné plus haut, certaines longueurs d'onde sont plus propices que d'autres et présentent des affaiblissements moins élevés.

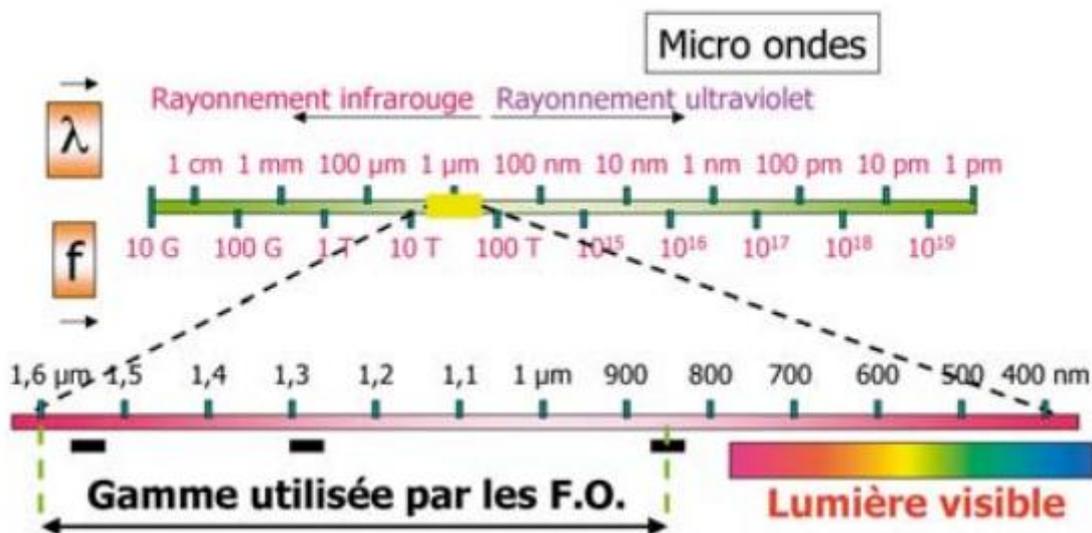


Figure 1.14 : Atténuation

Ce phénomène est provoqué par l'absorption et la diffusion, et dépend, entre autres, de la longueur d'onde du signal. L'absorption (OH<sup>-</sup>) se produit essentiellement à 1.390

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

nm, par contre la diffusion est présente à toutes les longueurs d'onde et est causée par l'hétérogénéité du verre.

Plusieurs méthodes existent pour mesurer cette atténuation, une d'entre elles sera exposée plus loin dans ce guide.

### **B) La bande passante :**

C'est le paramètre qui limite les performances des fibres optiques multimodes dans les réseaux locaux à haut débit (1 et 10 gigabit par seconde).

Il est caractérisé par un étalement temporel de l'impulsion lumineuse.

Ce phénomène, qui s'appelle la dispersion, dépend de la dispersion intermodale, de la dispersion du matériau et de la dispersion du guide, ces deux dernières constituent la dispersion chromatique.

- **Dispersion du matériau** : représente la dépendance de l'indice de réfraction de la silice avec la longueur d'onde.
- **Dispersion du guide** : représente la dépendance de l'indice du mode fondamental à la dimension du guide par rapport à la longueur d'onde.

Cette bande passante représente la quantité d'information (bit/sec.) que peut transporter une fibre sur une distance donnée, son unité est le MHz.km.

C'est ce paramètre qui, aujourd'hui, conditionne les distances maximales autorisées sur les liens optiques tant dans les réseaux étendus que dans les réseaux locaux (LAN).

Dans ces derniers (sur fibres multimodes), c'est la dispersion modale qui prédomine et devient gênante pour les transmissions à haut débit.

En première approximation, on peut dire que plus le cœur d'une fibre est gros, plus il y a de chemins différents pour les différents modes, donc plus importante sera la dispersion modale.

La bande passante devient donc un facteur limitatif important pour les applications Gigabit Ethernet. Il a donc fallu choisir une technologie d'émission appropriée : le laser, VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser).

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

Mais celui-ci a provoqué d'autres phénomènes indésirables, c'est pourquoi, il a été nécessaire d'introduire de nouvelles classes de fibres.

### 11. CLASSIFICATION DES FIBRES OPTIQUES :

L'évolution des fibres optiques a été importante cette dernière décennie, la bande passante des fibres multimodes est passée de 160 MHz.km à 2000 MHz.km.

Ces améliorations ont été provoquées par l'augmentation des débits dans les réseaux locaux. Le gigabit Ethernet et le 10 gigabit Ethernet requièrent des bandes passantes conséquentes.

Un système de classification a donc été élaboré afin de répertorier de façon précise les fibres et leurs performances permettant d'effectuer un choix plus rapide et plus précis en fonction des technologies utilisées.

Bande passante modale minimale MHz.km				
Type de fibre optique	Diamètre du brin $\mu\text{m}$	Bande passante d'émission – mode saturé (overfilled)		Bande passante effective en émission laser
		850 nm	1300 nm	850 nm
<b>OM1</b>	50 ou 62.5	200	500	Non spécifié
<b>OM2</b>	50 ou 62.5	500	500	Non spécifié
<b>OM3</b>	50	1500	500	2000

**Tableau 1.2 :** représente la classification ISO 11801 V2 des fibres multimodes en fonction des diamètres du cœur et de la longueur d'onde

Le tableau 1.2 représente la classification ISO 11801 V2 des fibres multimodes en fonction des diamètres du cœur et de la longueur d'onde.

La fibre optique monomode n'a pas de sous-classe, elle est répertoriée dans la catégorie OS1 (Optical Singlemode) et elle est conforme à la spécification des standards IEC 60793-2 type B.1 et ITU-T G652. Elle est couramment employée dans les réseaux de télécommunication. Elle permet la transmission du 10 Gbit/s sur des distances allant de 2 à 10 km.

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

- **La fibre OM1** : répond aux besoins des réseaux locaux depuis l'Ethernet 10 Mbps (10Base-FL) au Fast Ethernet 100 Mbps (100 Base-FX) sur 2 km. Elle peut également supporter le Gigabit Ethernet sur des distances de 275 m max. en 1000Base-SX (850 nm) et 550 m max. en 1000Base-LX (1300 nm).

Elle permet aussi le transport du 10 Gigabit Ethernet sur des liaisons de 33 m max. en 10GbaseS (850 nm) et 300 m max. en 10GbaseLX4 (1310 nm).

- **La fibre OM2** : répond aux besoins de l'Ethernet à 10 et à 100 Mbps comme la fibre OM1. Elle peut également transporter le Gigabit Ethernet sur des liens de 550 m max. en 1000 Base-SX (850 nm) et 550 m max. en 1000 Base- LX (1300 nm). Le 10 Gigabit Ethernet sont transmis sur 82 m max. en 10GbaseS (850 nm) et 300 m max. en 10GbaseLX4 (1310 nm).
- **La fibre OM3** : prévue pour supporter les besoins futurs des liaisons à 10Gbps et préconise des distances maximales de 300 m à 850 nm (10GbaseS).

Cette fibre optique « optimisée laser » dispose d'une bande passante supérieure aux autres types OM et constituera donc un meilleur choix lors de l'implémentation d'une nouvelle infrastructure physique de communication au sein d'un réseau local d'entreprise.

### 12. LES COMPOSANTS A METTRE EN ŒUVRE :

A l'instar des liaisons cuivre, les liaisons fibres optiques font appel à plusieurs composants qui sont assemblés entre eux afin de constituer un tout permettant l'établissement de communications à haut débit.

#### 12.1 Câble :

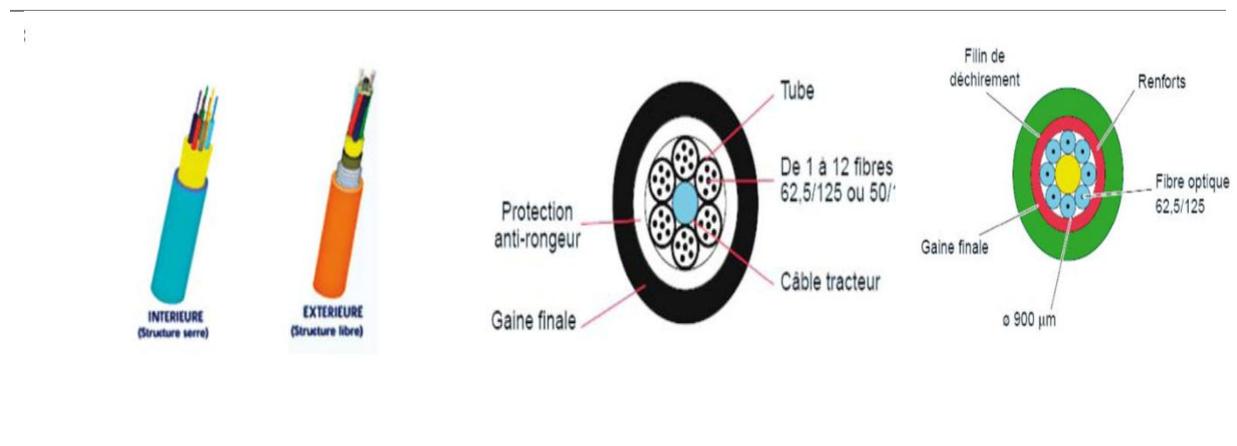
Il faut faire la différence entre une fibre optique et un câble à fibres optiques. Ce dernier est composé d'un nombre de fibres pouvant aller de 2 à plusieurs dizaines de fibres et ce en fonction des besoins. Le plus souvent dans les réseaux locaux d'entreprise, ce nombre est de 6 à 24. Il faut donc faire un choix sur deux critères principaux :

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

- Les performances des fibres qui supporteront les communications et ce en fonction des données reprises au paragraphe précédent (bande passante, débit, distance).
- Le type de câble à poser en fonction de l'environnement, tel que pose en intérieur, en extérieur, en caniveau, sous tube, en enterré, protection contre les rongeurs, retardateur de flamme ...etc.

### **Il existe deux grands types de câble à fibres optiques :**

1. Les câbles à revêtement lâche (loose tube cable), préconisés pour la pose horizontale et l'enfouissement direct. Ce câble est constitué de plusieurs tubes contenant chacun plusieurs fibres optiques. Ces dernières sont libres au sein du tube. Ce câble est utilisé pour les liaisons inter-bâtiment.
2. Les câbles à revêtement serré (tight buffered), dans lesquels une gaine plastique est directement appliquée sur la fibre ce qui la renforce mécaniquement et lui apporte la souplesse nécessaire à la réalisation de cordons.
3. Ce type d'agencement permet le raccordement direct de connecteur (principe break-out).

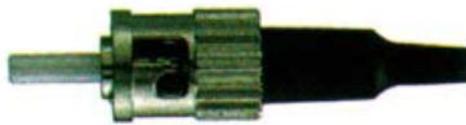


**Tableau 1.3 : Différents types de câblage**

## 12.2 Les Connecteurs :

Lors de la pose d'une liaison optique, il faut équiper la fibre d'un connecteur aux deux extrémités, permettant ainsi le raccordement, à l'aide de cordons de brassage, aux appareils actifs (commutateurs, routeurs,...). Les instances de normalisations (EIA/TIA-568 et ISO/IEC 11801) ont défini un standard commun appelé standard 2,5 mm car la technique utilisée est basée sur l'utilisation d'un embout optique (férule) de diamètre de 2,5 mm.

Celui est percé en son centre et permet la fixation de la fibre. Les connecteurs, à ce jour, les plus usités dans les réseaux locaux, sont les interfaces ST et SC.



**Figure 1.15 :** Connecteur ST



**Figure 1.16 :** Connecteur SC

Ces connecteurs existent en versions multimode et monomode. L'alignement est effectué sur la gaine extérieure. Lors de leur mise en vis-à-vis dans un coupleur (raccord), les extrémités optiques des embouts doivent être en contact l'une avec l'autre, on parle alors de connectique PC (Physical Contact).

Une version APC est également disponible en monomode. Dans cette version, les faces optiques sont polies avec un angle de 8° ou 9° ce qui permet d'obtenir une

## CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

meilleure réflectance. Elle est principalement employée dans les réseaux opérateurs à haut débit.

D'autres types de connecteurs sont également présents aujourd'hui sur le marché. Ils portent le nom générique de connecteur SFF (Small Form Factor).

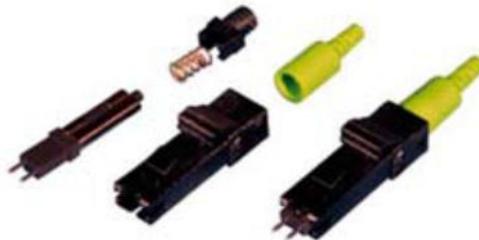
Ils apportent un changement tant au niveau de leurs dimensions, réduites, que du concept fiche mâle - fiche femelle tel que déjà présent en cuivre avec les RJ45 et dont la forme est proche de ces dernières. Ils permettent une plus grande concentration de connecteurs ainsi que le raccordement des fibres dans des prises femelles encastrées dans des boîtiers muraux ou en goulottes.



**Figure 1.17 : LC**



**Figure 1.18 : FJ**



**Figure 1.19 : MT-RJ**



**Figure 1.20 : MT-RJ**

### 12.3 Racks de distribution :

Les racks fibres optiques sont les équivalents des panneaux de distribution RJ45 côté cuivre. Ils sont la plupart du temps prévus pour être intégrés dans des armoires 19 pouces mais certaines versions peuvent être murales. En fonction du nombre de fibres à connecter, ils disposent de plusieurs positions (de 12 à plusieurs dizaines). Les connecteurs en provenance du câble à fibres optiques sont insérés dans des coupleurs fixés sur la face avant du panneau.



**Figure 1.21 : racks 19 pouces**



**Figure 1.22 :** Racks muraux

### 13. LES AVANTAGES [10] :

Les principaux avantages apportés par la fibre optiques sont les suivants :

- Très large bande passante, de l'ordre de 1GHZ pour 1Km qui permet le multiplexage sur un même support de très nombreux canaux, comme le téléphone, la télévision, etc.
- Grande légèreté, le poids d'un câble optique par unité de longueur, de l'ordre de quelque gramme au kilomètre, étant environ neuf fois plus faible que celui d'un câble conventionnel.
- Très faible atténuation, qui permet d'envisager un espacement important des points de régénération des signaux transmis. Le pas de régénération est supérieur à 10 Km, alors que, sur du câble coaxial, il est de l'ordre de 2 a 3Km.
- Absence de rayonnement, ce qui rend son emploi intéressant pour les applications militaires.
- Résistance aux conditions environnementales adverses ; Moins d'influence de liquides corrosifs, gaz et variations de température.
- Les prix de la fibre restent faibles, car la matière de base utilisée, la silice (verre très pur composé de dioxyde de silicium), est très abondante.

Tous les avantages cités permettent de diminuer le coût d'installation. Par exemple pour les grandes distances, on peut mettre la fibre optique avec les câbles de garde des tours d'hautes tensions.

## **CHAPITRE 1 SYSTEME DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE**

### **14. LES INCONVENIENTS [10] :**

L'emploi de la fibre optique présente quelques inconvénients qui permettent d'utiliser avec succès le câble cuivre :

- Difficultés de raccordement, aussi bien entre deux fibre qu'entre une fibre et le module d'émission ou de réception .En laboratoire, on peut réaliser des connexions pour lesquelles les pertes sont inférieures à 0.2 dB .sur le terrain, il faut faire appel à des connecteurs amovibles qui demandent un ajustement précis et occasionnent des pertes supérieures à 1 dB...
- Dérivations difficiles a réalisées, l'affaiblissement qui en découle dépassent souvent 5 dB. Ces dérivations sont pourtant nécessaires.
- Le multiplexage en longueur d'onde, qui consiste à faire transiter dans une même fibre plusieurs longueurs d'ondes, la fibre est totalement remplie, et de nouveaux progrès ne pourront être effectués que si une découverte importante est réalisée pour augmenter encore le nombre de longueurs d'onde.
- Les interfaces électrique / optique ainsi que les connecteurs sont d'un prix élevé.
- Dispersion chromatique (élargissement du signale entre le début et la fibre).
- Cout d'exploitation élevé.

### **15. LES APPLICATIONS DES FIBRES OPTIQUES [10] :**

- Transmission numérique à haute débit
- Réseaux nationaux et internationaux de télécommunications.
- Réseaux locaux en environnement bruité.
- Détection.

**16. CONCLUSION :**

On a présenté dans ce chapitre les différentes caractéristiques d'une liaison optique, et ses différentes structures, un rappel sur les types de sources optiques utilisées en émission et en réception, et on a présenté aussi les avantages et les inconvénients de la fibre ainsi que ses domaines d'application.

**CHAPITRE 2**  
**LA CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR**  
**L'AVIONIQUE**

**SOMMAIRE CHAPITRE 2**

INTRODUCTION :	39
1. LA FIBRE OPTIQUE EN AVIONIQUE :	39
2. CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE AVIONIQUE	40
2.1 LIAISON OPTIQUE POINT A POINT :	40
2.2 PRESENTATION D'UNE CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE [15] [16]	
[17] :	42
2.2.1 BLOC D'EMISSION :	42
A. SOURCES OPTIQUE :	42
B. LES TECHNIQUES DE MODULATION OPTIQUE :	43
2.2.2 BLOC DE RECEPTION :	44
2. LE BLOC LINEAIRE :	46
3. LE BLOC DE TRANSMISSION :	46
3.1 AMPLIFICATEUR OPTIQUE A FIBRE DOPEE D'ERBIUM :	47
4. RESEAU LOCAL LAN / WDM AVIONIQUE :	50
4.1 LE RESEAU OPTIQUE PASSIF PON POUR APLIQUE EN AVIONIQUE :	50
4.2 ELEMENTS CONSTITUTIFS DU PON :	52
4.3 LES REGLES DE PARTAGE DE LA FIBRE :	53
4.4 LES PONS NORMALISES DE L'ITU :	53
4.5 LES FUTURES GENERATIONS DU RESEAU D'ACCES OPTIQUE	55
EN AVIONIQUE :	55
4.6 ARCHITECTURE PON WDM (BROADCAST AND SELECT) :	55
5.1 LE MULTIPLEXAGE TEMPOREL OPTIQUE (OTDM)	58
5.2 LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE (WDM) :	59
A. LE MULTIPLEXAGE DENSE (DWDM) :	60
B. LE MULTIPLEXAGE DE CANAUX LARGEMENT ESPACES (COARSE WDM) :	61
5.2.1 PRINCIPE DE WDM :	62
5.2.2 DESCRIPTION DE WDM :	62
5.2.3 APPLICATION DE WDM :	63
5.2.4 LES AVANTAGES DE LA TECHNOLOGIE WDM :	64
5.2.5 LES LIMITATIONS DE LA TECHNIQUE WDM :	65
5.2.6 TYPES DE LA TECHNOLOGIE WDM :	65
A. CWDM :	65
B. DWDM :	66
5.2.7 STRUCTURE DU SYSTEME WDM :	68
6. MODES DE TRANSMISSION DE WDM :	68
6.1 TRANSMISSION UNIDIRECTIONNELLE :	68
6.2 TRANSMISSION BIDIRECTIONNELLE :	69
7.1 BLOC DE L'EMETTEUR OPTIQUE	71
8. CONCLUSION :	76

## CHAPITRE 2 LA CHAÎNE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

### INTRODUCTION :

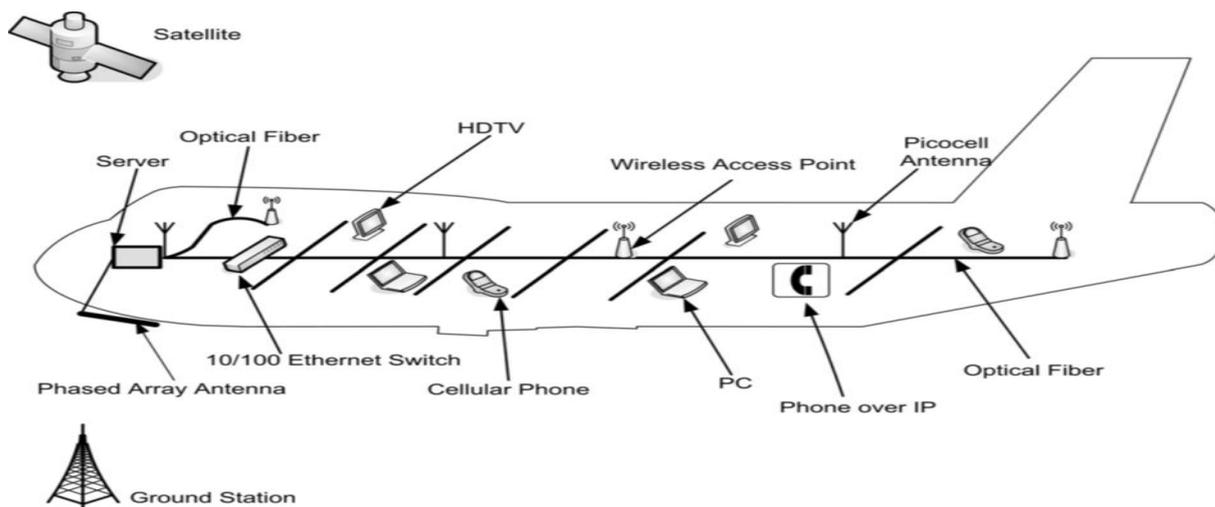
Dans ce chapitre, on étudie la chaîne de télécommunication optique pour le domaine arien, et leur performance d'application dans la transmission des signaux RF, sur canal ligne de fibre optique. Ces signaux analogiques sont séquentiellement multiplexés et ils sont à différents points sur le long de la fibre optique. Les données indiquent que le WDM est bien adapté aux applications avioniques.

#### 1. LA FIBRE OPTIQUE EN AVIONIQUE :

Depuis fort longtemps, la science a démontré que l'application de la fibre optique est réussie en multiplexage en longueur d'onde (WDM) à l'environnement avionique pour prendre en charge la transmission de données analogiques (exemple application des signaux RF) dans cette section nous avons étudié deux point essentielle sont :

- 1- La fibre optique offre de nombreux avantages pour la transmission des signaux RF en applications avioniques. La fibre optique présente considérablement moins de perte, peut prendre en charge des signaux nécessitant beaucoup plus bande passante, est insensible aux interférences électromagnétiques (EMI) et offre des économies de taille et de poids significatives par rapport au câble coaxial. [11]  
Récemment, la disponibilité de l'Internet à bord des avions commerciaux ajoute une crédibilité accrue aux ambitions de fournir de nouveaux services d'information pendant le vol [12]. La mise en œuvre à bord des signaux de voix sur IP (VoIP), de télévision haute définition (HDTV) et de radiofréquence (RF) utilisés pour transporter les signaux cellulaires, comme le montre la figure 2.1, est une force motrice derrière les enquêtes sur l'utilisation de la fibre optique.

## CHAPITRE 2 LA CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE



**Figure 2.1** : La fibre Optique en Avionique pour transmission des signaux analogique RF [11]

2- Technologie de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) pour prendre en charge les exigences de la dorsale de communication à large bande passante. Le WDM est une technique qui permet de combiner et de transmettre plusieurs signaux avec différents formats de modulation et largeurs de bande sur une seule fibre optique.

Traditionnellement, le WDM a été utilisé par l'industrie des télécommunications pour augmenter la capacité de transport d'informations numériques des fibres optiques. Dans cette étude, un réseau WDM prenant en charge des canaux RF analogiques a été démontré comme une application réussie qui répond aux exigences de l'avionique environnement.

### **2. CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE AVIONIQUE :**

La transmission optique est l'acheminement de l'information (données) sous forme de la lumière d'un point d'émission vers un point de réception, elle est assurée par une chaîne de télécommunication optique qui comporte trois blocs : un bloc d'émission, un bloc de transmission et un bloc de réception.

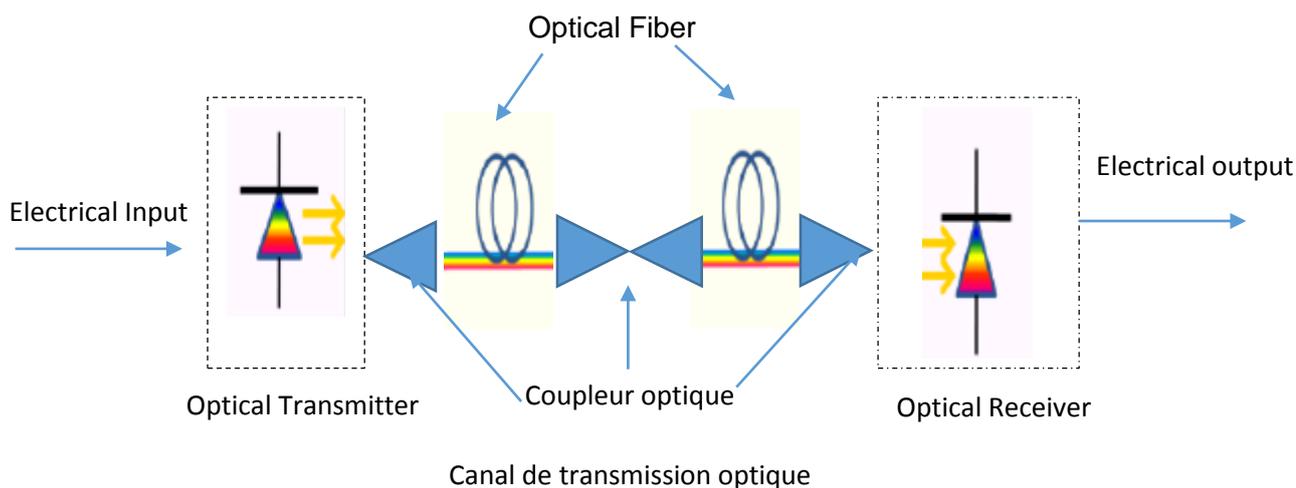
#### **2.1 LIAISON OPTIQUE POINT A POINT :**

Un système de transmission optique se compose de composants suivants : Un émetteur, un multiplexeur/démultiplexeur, une ligne de transmission, censée se composer de fibres optiques et d'amplificateurs optiques qui substituent les régénérateurs électriques et d'un récepteur [13].

## CHAPITRE 2 LA CHAÎNE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

La partie émission optique est constituée d'une diode électroluminescente (DEL) ou une diode laser (DL) ayant pour rôle de transformer le signal électrique en signal optique. Ensuite, le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information.

La partie réceptrice photo détecteur convertit le signal optique reçu en signal électrique.



**Figure 2.2 :** Schéma représentatif d'une chaîne de télécommunication optique  
(Liaison optique point à point)

La figure 2.2 montre un schéma fonctionnel générique d'un système de communication optique typique. Il se compose d'un émetteur, d'un canal de communication et d'un récepteur, les trois éléments communs à tous les systèmes de communication [14].

L'émetteur optique convertit le signal électrique sous forme optique et lance le signal optique résultant dans la fibre optique. Il se compose d'une source optique, d'un modulateur et d'un coupleur de canaux. Des lasers semi-conducteurs ou des diodes électroluminescentes sont utilisés comme sources optiques. Le signal optique est généré en modulant l'onde porteuse optique. Un récepteur optique convertit le signal optique reçu à l'extrémité de sortie de la fibre optique en signal électrique d'origine.

Il se compose d'un coupleur, d'une photo détectrice et d'un démodulateur. Le coupleur focalise le signal optique reçu sur la photo détectrice. Les photodiodes semi-conductrices sont utilisées comme photo détecteurs en raison de leur compatibilité avec l'ensemble du système.

### 2.2 PRESENTATION D'UNE CHAÎNE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE [15] [16] [17] :

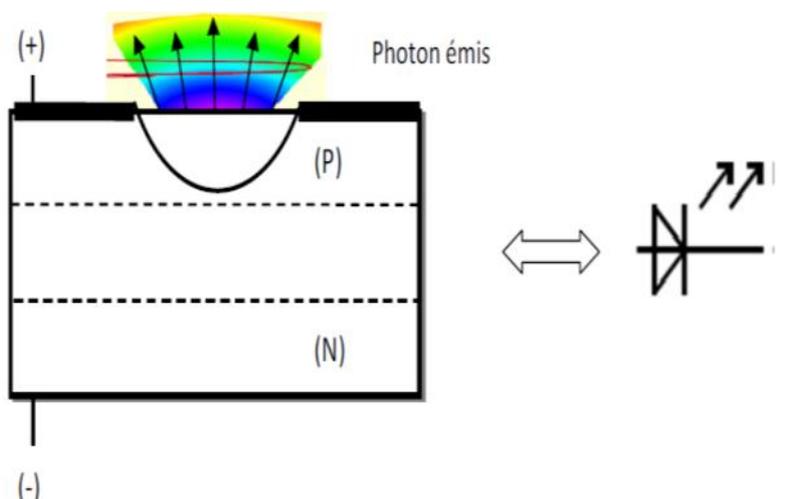
#### 2.2.1 BLOC D'EMISSION :

Son rôle consiste à délivrer à la fibre optique un signal sur lequel les données sont inscrites. Elle comprend notamment une source lumineuse (généralement un laser) et un système de modulation.

##### A. SOURCES OPTIQUES :

Dans le domaine des télécommunications optiques, deux types de sources lumineuses sont utilisées : les diodes électroluminescentes (DEL) et les diodes LASER.

**Diodes électroluminescentes (LED, Light Emission Diode) :** Une LED est une jonction PN polarisée en direct. Les électrons ou les trous, qui constituent les porteurs majoritaires sont injectés dans le voisinage de la jonction. Leurs recombinaisons donnent lieu à une émission de la lumière.

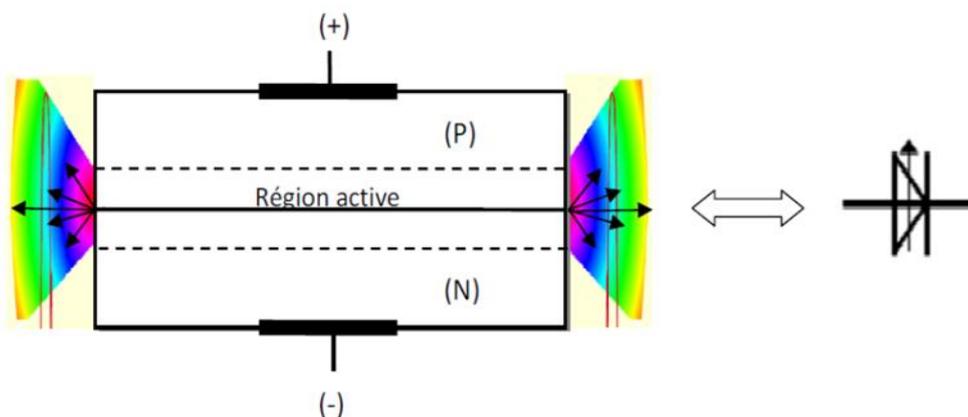


**Figure 2.3 :** La diode LED

**La diode LASER :** La diode LASER se base sur trois processus fondamentaux pour effectuer la génération de la lumière. Ces processus sont l'absorption, l'émission spontanée et l'émission stimulée. Pour obtenir l'effet LASER, il est nécessaire de favoriser l'émission stimulée ou empêcher les deux autres processus. Deux conditions doivent être réalisées pour favoriser cette émission stimulée et ainsi obtenir l'effet LASER :

**a)** Il faut avoir suffisamment d'électrons dans l'état d'énergie supérieure. Dans un semi-conducteur, ceci est réalisé par une opération dite de pompage électrique qui consiste à promouvoir un maximum d'électrons dans la bande de conduction : c'est ce qu'on appelle une inversion de population.

**b)** Il faut favoriser l'émission stimulée : il faut donc avoir suffisamment de photons incidents (excitateurs). Pour cela, on enferme le semi-conducteur dans une cavité résonnante.



**Figure 2.4 : La diode LASER**

### B. LES TECHNIQUES DE MODULATION OPTIQUE :

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les graver sur le signal lumineux à envoyer dans la fibre. Pour cela, il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques. Le dispositif optique qui module le faisceau LASER continu est appelé un modulateur. En fonction de la technologie et du taux de modulation, on utilise en général trois techniques : la modulation dite 'OOK', la modulation directe et la modulation externe.

#### **La modulation par la technique du 'OOK' (On-Off-Keying) :**

Dans cette technique, on utilise un obturateur rapide qui agit sur le faisceau LASER. Quand l'obturateur s'ouvre, il permet à la lumière de passer à travers la fibre ; quand il est fermé, la lumière est bloquée. L'obturateur optique affecte la puissance optique du faisceau LASER.

#### **La modulation directe :**

La méthode consiste à faire varier le courant de la source. Il en résulte une variation proportionnelle de la puissance émise qui suit le signal modulateur. Pour les communications optiques à moindre coût, ce type de modulateur est privilégié, car il utilise peu de composants.

### **La modulation externe :**

La modulation externe consiste à graver les données électriques sur un signal optique continu en utilisant un modulateur. Ainsi, les défauts de la modulation directe qui sont liés au LASER ne seront plus présents sur le signal optique. Le modulateur est commandé par une tension externe  $v(t)$ . Cette tension appliquée au modulateur a pour propriété de modifier le facteur de transmission en sortie.

En traversant le modulateur, il subit les modifications du facteur de transmission et le signal de sortie se trouve modulé selon  $v(t)$ . Un driver est souvent présent entre les données et le modulateur afin de fixer les niveaux de  $v(t)$  et choisir les modifications du facteur de transmission.

Dans l'industrie des télécommunications optiques, on utilise principalement deux types de modulateurs externes :

- ✚ Le modulateur à électro-absorption
- ✚ Le modulateur de Mach-Zehnder

### **2.2.2 BLOC DE RECEPTION :**

Le récepteur est chargé de convertir au mieux le signal optique en signal électrique en lui apportant le minimum de dégradation. Ce module est composé de plusieurs blocs fonctionnels [15] [18] [19] [20] :

- 1. Le bloc de "premier étage" :** composé du photo-détecteur. Il peut être accompagné d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photo-courant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photo-détecteur.
- 2. Le bloc "linéaire",** composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre, réducteur de bruit.
- 3. Le bloc "récupération des données",** correspondant au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation.

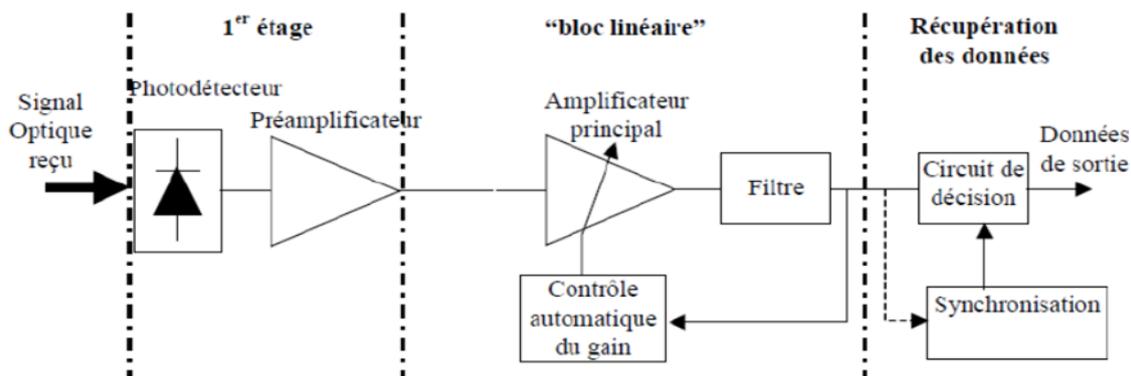


Figure 2.5 : Le bloc de réception

### 1. LE BLOC DU PREMIER ETAGE :

#### 1.1 PHOTO-DETECTEUR :

Photo-détecteur son rôle est de convertir le signal lumineux en signal électrique, il se comporte comme un générateur de courant (photo diode PN, photo diode PIN, photo diode à effet d'avalanche PDA).

##### 1.1.1 PHOTO DIODE PN :

Photo diode PN est une jonction PN polarisée en inverse, lorsque elle est exposée à la lumière, les électrons minoritaire de P absorbent les photons lumineux et vont passer vers N puis ils seront extrais à l'extérieur par le champ électrique de générateur, créant ainsi un faible courant électrique.

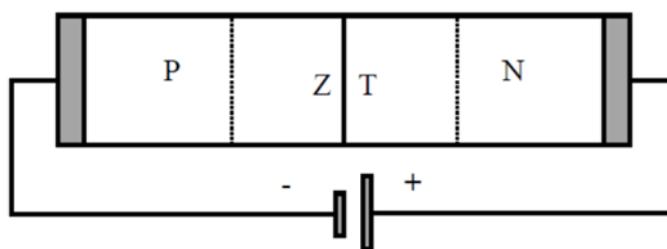
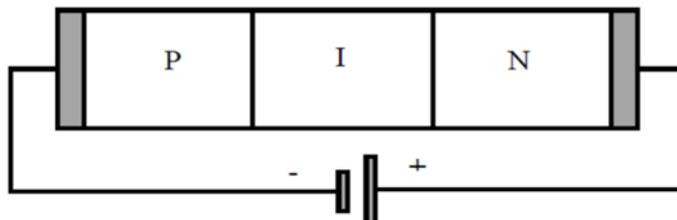


Figure 2.6 : Photo diode PN

### 1.1.2 PHOTO DIODE PIN :

Photo diode PIN est une jonction PN intercalée par une couche intrinsèque I, dans le but de diminuer le dopage de N pour augmenter d'avantage le courant électrique générer par la jonction.



**Figure 2.7 :** Photo diode PIN

### 1.1.3 PHOTO DIODE A EFFET D'AVALANCHE PDA :

Photo diode à effet d'avalanche PDA est une jonction PN polarisée en inverse, d'une manière à ce que, la tension de polarisation soit proche à celle de claquage de la jonction, créant ainsi un champ électrique important à la zone de charge d'espace, qui y accélère les électrons passant par la zone de recombinaison, créant à leur tour d'autre électron dans la région N.

## 2. LE BLOC LINEAIRE :

### 2.1 L'AMPLIFICATION ELECTRIQUE :

Le courant émis par le Photo souvent assez faible. Il est donc nécessaire d'utiliser un amplificateur en sortie de photorécepteur.

### 2.2 CIRCUIT DE FILTRAGE :

Afin de minimiser le bruit à la bande.

### 2.3 LE CIRCUIT DE DECISION :

On doit assurer au récepteur une qualité forme du signal détecté est réalisée grâce au bloc de décision.

## 3. LE BLOC DE TRANSMISSION :

Assure la liaison entre le bloc de transmission et le bloc de réception, il comporte les composants suivants.

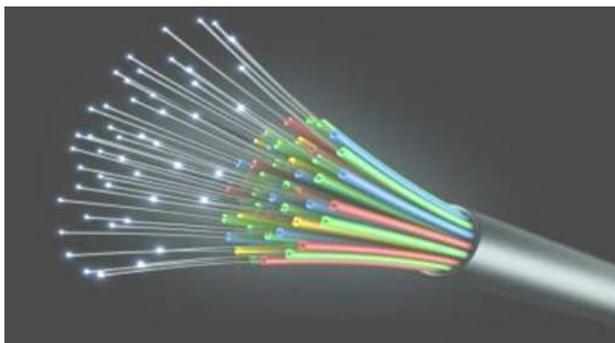
### **3.1 LES AMPLIFICATEURS :**

Lors de la transmission d'un signal optique, il peut y arriver que le signal transmis se dégrade et pour le régénérer.

### **3.2 LE CABLE DE TRANSMISSION :**

La fibre optique est un support physique de transmission de données IP à très haut débit qui varie de 50 Mbit/s à 250 Mbit/s en émission et de 100 Mbit/s à 1Gbit/s en réception, elle peut l'assurer jusqu' à des Térabits/s, et ceci grâce à la technologie WDM.

La fibre optique peut être assimilée à un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière d'une manière guidée à des vitesses élevées sur de grandes distances sans affaiblissement qui peut être que de l'ordre de 0.2 dB/km à comparer aux 15 dB/km du cuivre.



**Figure 2.8 :** Un bout de fibre optique

### **3. TYPES DES AMPLIFICATEURS :**

#### **3.1 AMPLIFICATEUR OPTIQUE A FIBRE DOPEE D'ERBIUM :**

##### **A) DESCRIPTION :**

Il comporte un morceau de fibre optique monomode dopée d'erbium, de longueur d'environ 10 - 20 m, diode LAZER (source d'excitation), multiplexeur et des isolateurs.

##### **B) FONCTIONNEMENT :**

La diode LAZER pompe une lumière de longueur d'onde de 980 nm ou de 1480 nm (ces deux longueurs d'onde sont les mieux adaptées pour excite les ions Er<sup>+3</sup> au niveau d'énergie supérieur, ce qui permet de réaliser l'inversion de population et de plus les diodes lasers à longueurs d'onde sont disponibles), qui sera coupler avec le

signal à multiplexeur, celui-ci doit présenter une perte d'insertion faible aux deux longueurs d'onde afin d'optimiser le rendement optique du système. Il est nécessaire de placer deux isolateurs, l'un à l'entrée et l'autre à la sortie afin que le dispositif n'engendre pas un effet LASER.

### C) CARACTERISTIQUES :

- ✚ Un gain se situant dans la fourchette 25 à 45 dB
- ✚ Puissances de saturation allant de 1 à 10 mW (0 à 10 dBm).
- ✚ Le gain diminue avec la puissance d'entrée du signal, alors qu'il augmente avec la puissance de pompe.
- ✚ Le rendement, défini comme le rapport du gain (dB) à la puissance de pompe injectée dans la fibre (en mW).

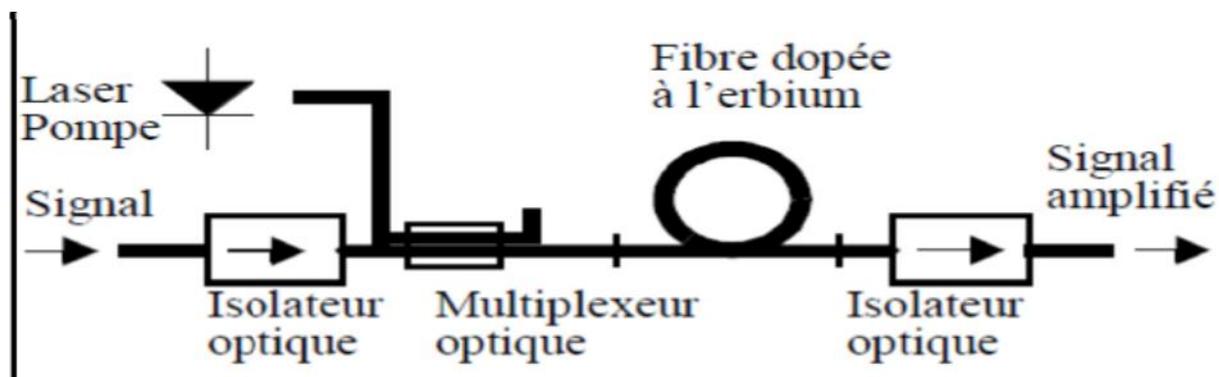


Figure 2.9 : Amplificateur optique à fibre dopée d'erbium

### 3.2 AMPLIFICATEUR OPTIQUE A SEMI-CONDUCTEUR :

#### A) DESCRIPTION :

Sont à base des LAZERS à semi-conducteurs, qui n'ont pas de miroirs aux extrémités, mais ils n'ont un revêtement antireflet dans le but de diminuer les réflexions de la lumière vers l'intérieur du circuit. De plus ils sont traversés par une lumière fournie par une source externe.

#### B) FONCTIONNEMENT :

La lumière incidente entre dans le circuit, elle est amplifiée, puis elle sort par l'autre bout pour être couplée dans la fibre. Idéalement, il n'y a pas de réflexion du signal vers l'amplificateur. Les pertes de couplage du faisceau incident dans l'amplificateur sont très élevées, car le diamètre du faisceau est supérieur à l'épaisseur de la couche

active. En plus, le gain de l'amplificateur dépend de la polarisation de la lumière incidente.

### C) CARACTERISTIQUES :

- ✚ Un gain élevé (jusqu'à 30 dB) selon le semi-conducteur, la longueur d'onde, le courant injecté et la puissance du signal incident.
- ✚ Une puissance de saturation en sortie autour de 5 - 10 mW.
- ✚ Une bande passante optique, de l'ordre de 5 THz (soit environ 40 nm autour de 1550 nm).
- ✚ Les pertes de couplage du faisceau incident dans l'amplificateur sont élevées, en raison de la supériorité du diamètre du faisceau sur l'épaisseur de la couche active du semi-conducteur

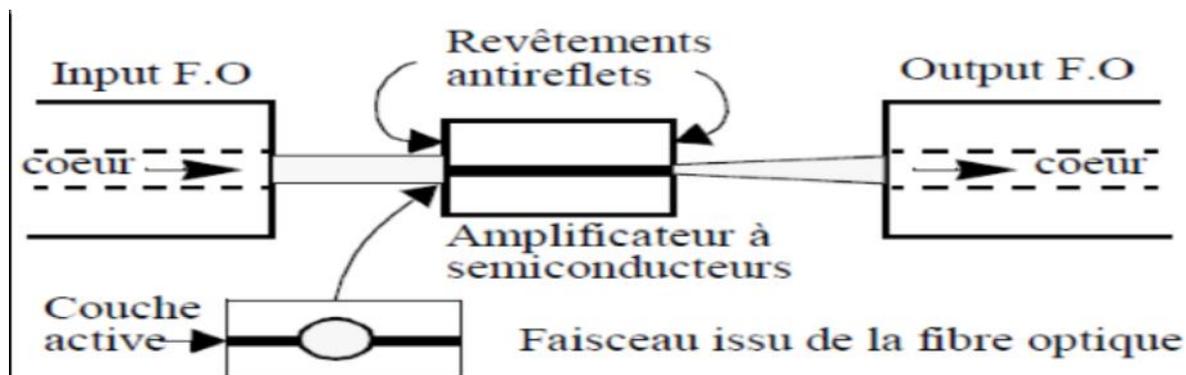


Figure 2.10 : Amplificateur optique à semi-conducteurs

### 3.3 AMPLIFICATEUR DE RAMAN :

#### A) FONCTIONNEMENT :

Il est basé sur l'utilisation d'un laser émettant un signal de forte puissance dont la direction et la longueur d'onde sont choisies, qui permet de provoquer les transferts d'énergie et conduit à la réalisation d'amplificateurs.

#### B) CARACTERISTIQUES :

- ✚ Le gain peut atteindre quelques dizaines de décibels.
- ✚ 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.

### **4. RESEAU LOCAL LAN / WDM AVIONIQUE :**

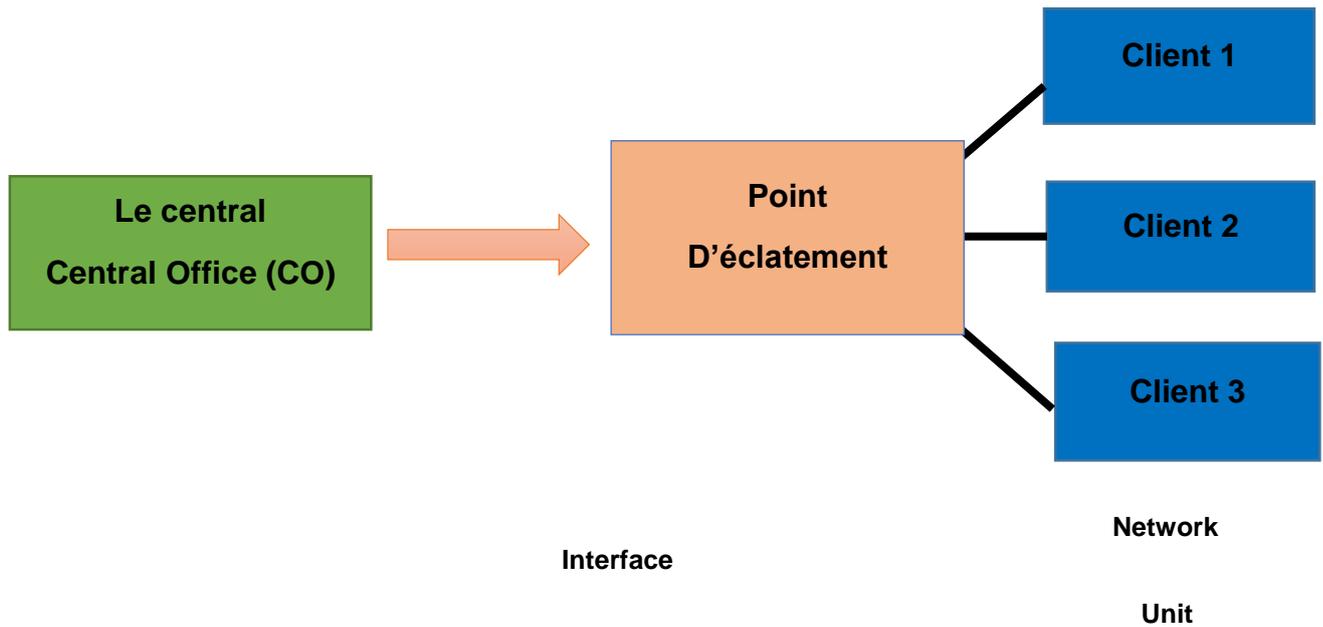
Afin de développer un réseau de style PON adapté à l'avionique tout en tirant parti des composants et de certaines techniques du secteur des télécommunications, des normes pour un LAN WDM sont en cours d'élaboration par SAE International (Society of Automobile Engineering), définition finale de ces normes sont toujours en cours. Les normes sont conçues pour créer un cadre permettant d'utiliser des réseaux WDM optiques qui prendront en charge un certain nombre de protocoles et prendront en charge un grand nombre de canaux avec des bandes passantes élevées qui sont attendues sur les futurs avions. Actuellement, les rapports d'information sur les aéronefs AIR6004, AIR6005 et AIR6006 définissent respectivement un glossaire de termes, des exigences générales et les états actuels et requis de la simulation et de la modélisation du LAN WDM avionique.

Ces normes sont une partie importante du développement des réseaux WDM pour aéronefs bien qu'à l'heure actuelle elles soient actuellement orientées vers des définitions à un niveau de fonctionnement supérieur à celui sur lequel porte cette mémoire.

#### **4.1 LE RESEAU OPTIQUE PASSIF PON POUR APLIQUE EN AVIONIQUE :**

Le réseau optique passif PON (Passive Optical Network) est l'architecture très majoritairement choisie, il est composé d'éléments optiques passifs, car les distances à parcourir ne nécessitent pas de régénération du signal ; ceci évite le besoin de courant électrique entre le nœud central de distribution et l'abonné, et réduit les coûts de matériel, d'installation, d'opération, et d'entretien du réseau.

Sur la figure (2.11), on distingue trois parties principales dans l'architecture du réseau d'accès : le central, le point d'éclatement, le client.



**Figure 2.11** : Architecture de base du réseau d'accès (PON)

- ✚ Le central (Central office –CO) coordonne l'émission – réception des données en provenance des utilisateurs ou l'inverse, et permet de faire la liaison avec les réseaux supérieurs,
- ✚ Le point d'éclatement a pour rôle de distribuer le flux descendant et montant à destination
- ✚ Network Interface Unit situé au niveau du bloc utilisateur et permet la connexion au réseau, selon le type de technologie d'accès cette partie peut avoir plusieurs appellations telles que ONU (Optical Network Unit), ONT (Optical Network Terminal) comme nous allons le voir plus bas.

### 4.2 ELEMENTS CONSTITUTIFS DU PON :

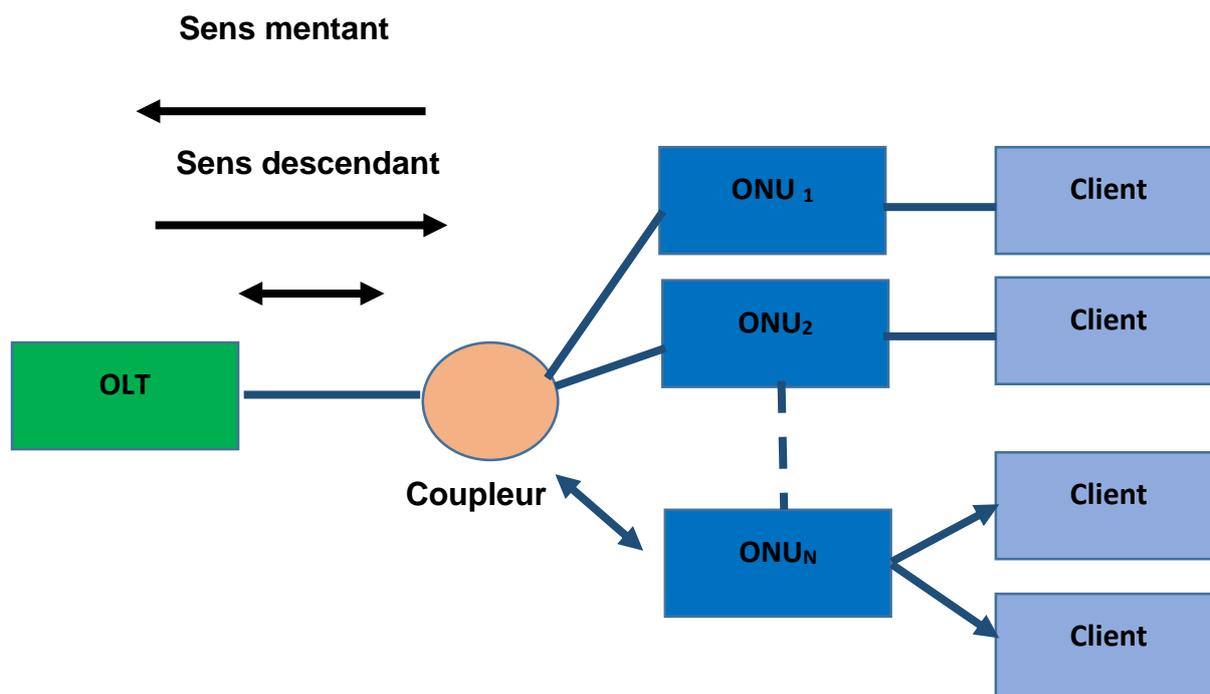


Figure 2.12 : Les éléments constitutifs du PON

- ✚ Le terminal de liaison optique OLT (Optical Link Terminal) : élément actif au niveau du central constitue l'équipement d'émission - réception.
- ✚ L'ONU (Optical Network Unit : la partie client est partagée entre plusieurs clients et suivie d'une transmission secondaire (cas des FTTCab/Curb/Building) ; elle sélectionne les paquets à destination de l'abonné qui lui est raccordé.
- ✚ Terminal du réseau optique l'ONT (Optical Network Terminal) : c'est l'interlocuteur direct de l'OLT. Il est placé au niveau de chaque logement dans le cas mono-client FTTH ; il constitue la partie réceptrice des signaux descendants et émettrice des signaux montants.
- ✚ Le **Coupleur** est un équipement passif qui divise le signal dans le sens descendant et additionne les signaux dans le sens montant. Les pertes qui affectent de façon très importante le budget de liaison sont l'inconvénient majeur du coupleur. Ces pertes s'élèvent à  $10 \times \log N$  pour un coupleur  $1 \times N$ , ce qui donne environ 15 dB pour un partage entre 32 utilisateurs. Le passage à des taux de partage plus importants est donc très limité.

## **CHAPITRE 2 LA CHAÎNE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE**

### **4.3 LES REGLES DE PARTAGE DE LA FIBRE :**

Le trafic descendant et le trafic montant sont envoyés sur deux longueurs d'onde différentes (1490 nm pour la voie descendante, et 1310 nm pour la voie montante). Pour le sens descendant, l'OLT diffuse les données des abonnés destinataires, multiplexées en temps (TDM). Puis, le signal est divisé par un coupleur (splitter) et dirigé vers les ONUs. Par conséquent, chaque ONU sélectionne le paquet qui lui est destiné et supprime les autres paquets.

Dans le sens montant (de l'abonné vers le réseau métropolitain), l'ONU émet ses données dans l'intervalle de temps qui lui a été attribué. Cette transmission repose donc sur une technique TDMA (Time Division Multiple Access). L'inconvénient principal de cette liaison est la nécessité de synchronisation des ONUs et des OLTs afin d'éviter les collisions et les pertes de données.

### **4.4 LES PONS NORMALISES DE L'ITU :**

A l'heure actuelle les PONS déployés incluent les réseaux hauts débits optiques passifs (BPON : Broadband Passive Optical Network) appuyés par l'instance de normalisation ITU (ou IUT)- International Telecommunication Union), les réseaux optiques passifs Ethernet (EPON : Ethernet Passive Optical Network) appuyés par le groupe d'Ethernet IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), les réseaux optiques passifs gigabit (GPON : Gigabit-capable Passive Optical Network) [UIT - T G984.1], et le 10G PON (IEEE 802.3av - 2009 et l'UIT - T G.987).

Le G-PON utilise l'ATM pour la voix, l'Ethernet pour les données et une encapsulation propriétaire pour d'autres services. Par contre l'EPON utilise l'IP pour transporter les données, la voix et la vidéo. Parmi les normes portant sur les technologies PONS définies à l'ITU-T, les principales sont la série ITU-T G.983, ITU-T G984 et ITU-T G.987 qui définissent le BPON, le G-PON et le XG-PON respectivement. Les caractéristiques de ces normes sont représentées dans le Tableau 2.1.

Tous ces PON utilisent le multiplexage temporel (TDM) dans le sens descendant, où les données sont envoyées sur une seule et même porteuse optique, et Time Division Multiple Access (TDMA) pour le sens montant. Des travaux sont en cours sur WDM - PON.

	<b>BPON</b>	<b>EPON</b>	<b>GPON</b>	<b>XG-PON</b>
<b>Standard</b>	ITU G983	IEEE 802.3ah	ITU Rec.G984.x	ITU G984
<b>Débit Mbit/s</b>	622.08 (D) 155.52 (M)	1000 symétriques	2488 (D) 1244 (M)	9952 (D) 2488 (M)
<b>Longueur d'onde descendante (nm)</b>	1490	1940	1940	1577
<b>Longueur d'onde montante (nm)</b>	1310	1310	1310	1270
<b>Nombre de clients</b>	64Max	16 à 32	60	Possible 132
<b>Distances (km)</b>	20	20	60 max	20 max
<b>Budget optique (dB)</b>	15/20/25	15/20	15/20/28	29/31 demandé

**Tableau 2.1** : Récapitulatif des performances des réseaux PON normalisés

La différence concerne principalement le débit et le nombre de clients desservis par standard. Les longueurs d'ondes montantes et descendantes sont différentes pour le G-PON et le XG-PON.

Le XG-PON (ou 10 Gigabit PON) est quasi-finalisé en normalisation à l'IUT depuis fin 2010.

Ce standard propose un débit 10 Gbit/s descendant et 2.5 Gbit/s montant. Dans une prochaine étape ce débit pourrait être symétrisé à 10 Gbit/s. Cette solution est uniquement incrémentale en débit par rapport au G-PON avec tout de même un changement sur le plan d'allocation en longueur d'onde autorisant la superposition des deux générations (G-PON et XG-PON).

### 4.5 LES FUTURES GENERATIONS DU RESEAU D'ACCES OPTIQUE

EN AVIONIQUE :

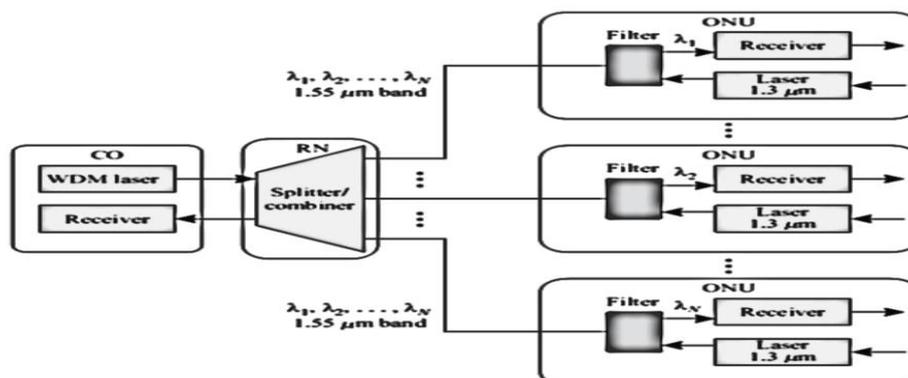
La technique de multiplexage utilisée pour concevoir les futurs réseaux d'accès optiques est influencée par le nombre d'utilisateurs, le débit par utilisateur, la distance de fonctionnement et le coût de l'architecture : par conséquent de nouvelles techniques de multiplexage seront peut-être alors nécessaires.

Les paragraphes suivants présentent différentes solutions utilisables pour un accès très haut débit avec quelques architectures types des futures générations du réseau PON qui sont en cours d'étude.

### 4.6 ARCHITECTURE PON WDM (BROADCAST AND SELECT) :

Cette architecture est une évolution de l'architecture des PON actuels. L'élément principal qu'est le coupleur passif 1xN est conservé, il va diffuser toutes les longueurs d'onde émises par le central à tous les clients ("broadcast"). Ensuite il s'agit à chaque ONU de filtrer correctement pour ne recevoir que les données qui lui sont destinées ("select").

L'inconvénient majeur est qu'il faut autant de filtres différents que de clients raccordés au coupleur. Une solution plus souple est d'avoir un filtre accordable chez chaque client, et d'accorder la longueur d'onde de filtrage correctement à distance. Ceci permet d'avoir des modules identiques à l'ONU, ce qui est favorable à la production de masse et à une baisse des coûts. Il existe une configuration unidirectionnelle avec deux fibres, une pour chacune des voies montante et descendante ou bidirectionnelle une seule fibre pour les deux sens figure (2.13).



**Figure 2.13** : Architecture PON WDM bidirectionnelle « Broadcast and select »

## CHAPITRE 2 LA CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

Comme déjà mentionné auparavant, les pertes du coupleur sont proportionnelles au nombre de ports  $N$  : et sont égales, en décibel, à  $10\log(N)$ , ce qui donne le tableau suivant :

Coupleur	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64	1x128
Pertes	3dB	6dB	9dB	12dB	15dB	18dB	21dB

A ces pertes, fonction du partage, il faut rajouter les pertes intrinsèques du coupleur, les pertes dues à la fibre (20 km équivalent environ à 5 dB), les pertes des filtres optiques (0,5 à 7 dB suivant la technologie employée, la forme du filtre, sa largeur à 3 dB, s'il est accordable ou non), les pertes des multiplexeurs à l'OLT ainsi que les pertes des soudures et connecteurs (1 à 2 dB). Ce budget de liaison fait qu'il est difficile de dépasser 64 ONUs par PON comme dans les PONs TDM.

- ✚ La diffusion impose l'utilisation d'un cryptage des informations pour préserver la confidentialité des données, tout comme dans les PON TDM.
- ✚ Le filtre accordable peut amener une possibilité de reconfiguration mais pour un coût assez élevé actuellement.

### 5. LES TECHNIQUES DE TRANSMISSION : DETAIL SUR LES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE :

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

<b>Bande</b>	<b>Description</b>	<b>Longueur d'onde (nm)</b>
<b>La bande O</b>	<b>Original</b>	<b>1260 à 1360</b>
<b>La bande E</b>	<b>Extended</b>	<b>1360 à 1460</b>
<b>La bande S</b>	<b>Short</b>	<b>1460 à 1530</b>
<b>La bande C</b>	<b>Conventional</b>	<b>1530 à 1565</b>
<b>La bande L</b>	<b>Long</b>	<b>1565 à 1625</b>
<b>La bande U</b>	<b>Ultra Long</b>	<b>1625 à 1675</b>

**Tableau 2.2** : Les différentes bandes de transmission pour fibre optique

Théoriquement, les débits qui peuvent être transmis sont extrêmement élevés. C'est d'autant plus intéressant qu'aujourd'hui le nombre et la taille des informations échangées sont de plus en plus importants. Néanmoins, actuellement, le traitement électronique des signaux électriques avant modulation et après détection n'atteint pas de telles fréquences.

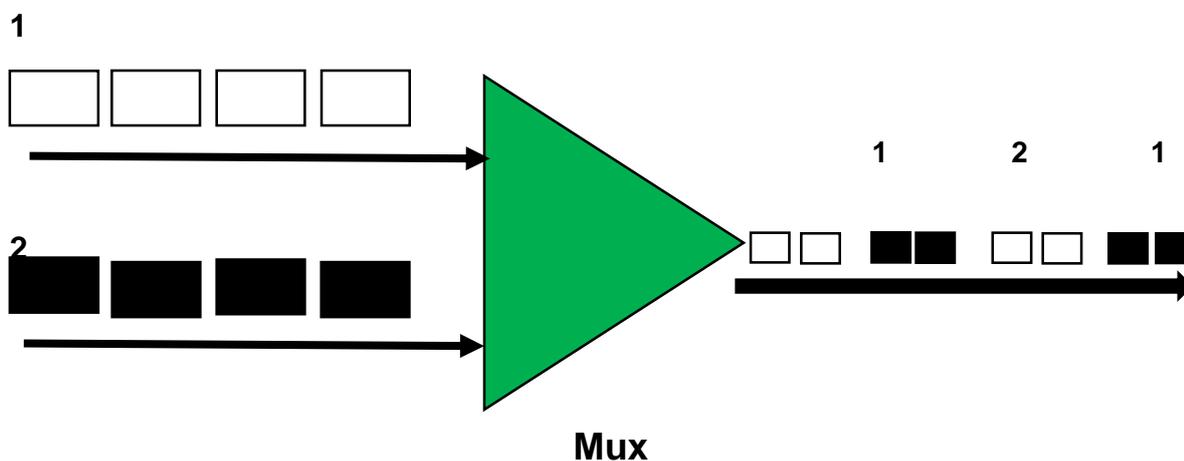
C'est pourquoi diverses solutions ont été imaginées pour profiter des capacités de la fibre optique et augmenter le transfert d'informations sur un même canal. Dans la plupart des cas, le principe reste identique : utiliser  $N$  signaux au débit  $D$  équivalent en termes de capacité à un signal au débit  $N \cdot D$ . C'est ce qu'on appelle le multiplexage, et les débits transportés seraient plus importants. Pour conserver l'intégrité de chaque signal sur le canal, le multiplexage introduit, entre les signaux, une séparation temporelle, spatiale ou fréquentielle.

### 5.1 LE MULTIPLEXAGE TEMPOREL OPTIQUE (OTDM) :

Le multiplexage TDM (Time Division Multiplexing), ou Multiplexage à Répartition Temporelle (MRT)) consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un intervalle de temps, à tour de rôle pour chaque utilisateur

(Figure 2.14). L'allocation de cette bande passante se fait en divisant l'axe du temps en périodes de durée fixe, et chaque utilisateur ne va transmettre que pendant une de ces périodes déterminée.

Le multiplexage TDM permet alors de regrouper plusieurs canaux de communications à bas débits sur un seul canal à débit plus élevé (par exemple, conception d'un débit 40 Gbits/s, à partir de 4 séquences à 10 Gbits/s).

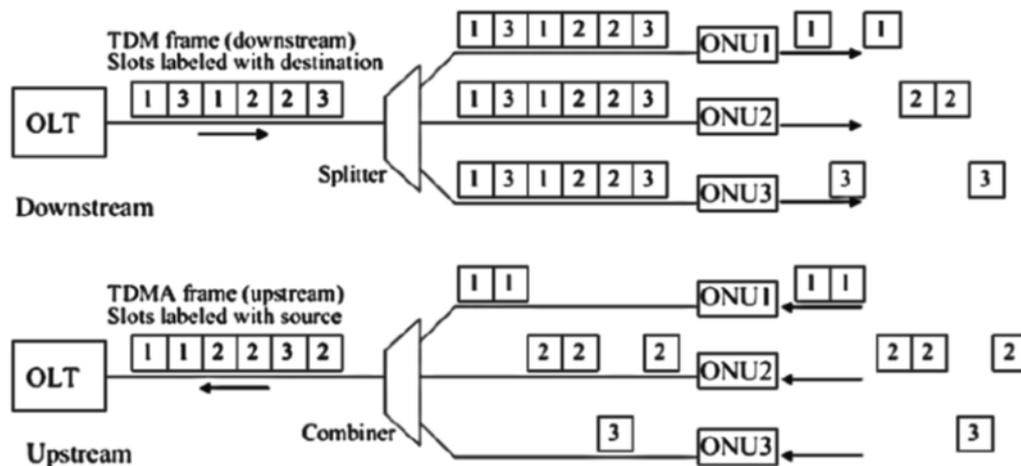


**Figure 2.14 :** Répartition des périodes dans le cas d'un multiplexage TDM pour 2 utilisateurs

Le multiplexage temporel peut être réalisé optiquement (OTDM, Optical Time Division Multiplexing). L'émetteur est constitué de N sources optiques en parallèle modulées au débit  $D_b$  bit/s. Cette technique nécessite un codage de type RZ pour que les impulsions codées aient une durée inférieure à  $T_b/N$  et que le multiplexage optique puisse se faire sans recouvrement optique.

Le multiplexage optique temporel fournit une technique d'accès utilisable dans les réseaux locaux. Le temps est partagé entre les différents utilisateurs : chacun d'eux dispose d'une tranche temporelle pour émettre. Les différents signaux sont

« Assemblés » pour être transmis sur une porteuse optique unique.



**Figure 2. 15 :** Le principe du TDM PON (sens descendant – Downstream) et (sens montant - Upstream)

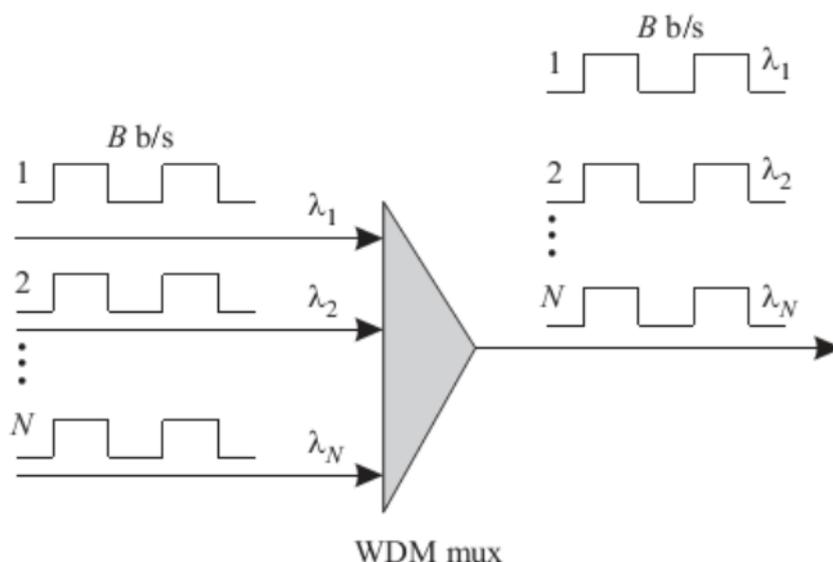
**Limites du TDM :**

- ✚ Avec la montée en débit, le coût des sous-systèmes émetteur-récepteur optiques devient très important.
- ✚ La limite en vitesse de l'électronique pose problème à des débits élevés.
- ✚ Le multiplexage temporel TDM PON rencontre des limites au niveau de la synchronisation et des modules de réception à l'OLT.

Le défi est de concilier la montée en débit et la réutilisation de l'infrastructure existante. Le TDM-PON pourrait être considéré comme une solution attractive uniquement pour un débit inférieur ou égal à 10 Gbit/s. Par conséquent, l'utilisation de la longueur d'onde est envisagée pour un débit agrégé de 40 Gbit/s dans l'accès.

**5.2 LE MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE (WDM) :**

Le multiplexage à répartition de longueur d'onde WDM permet de transmettre l'information sur plusieurs longueurs d'onde, et de multiplier ainsi le débit de la liaison. Le signal lumineux composé de toutes ces longueurs d'onde va transiter sur la fibre, et le récepteur ou le nœud de répartition n'aura qu'à démultiplexer le signal pour obtenir les différents canaux de départ.



**Figure 2.16** : Schéma de principe du multiplexage WDM

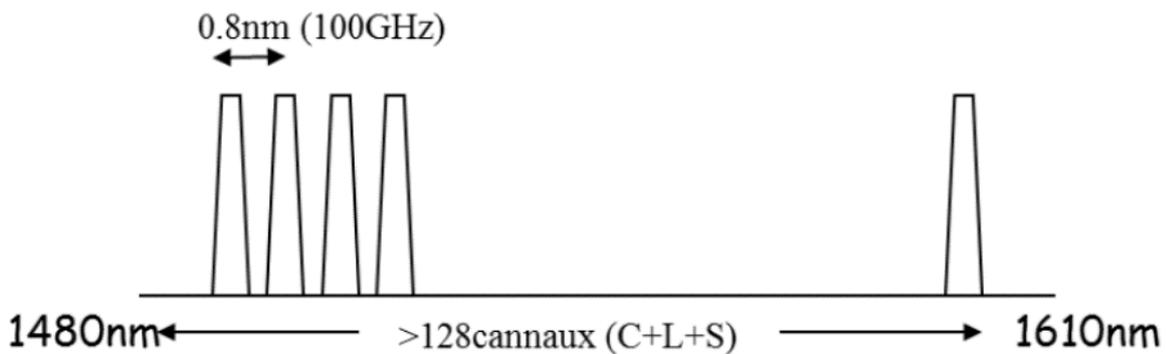
L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à des longueurs d'ondes différentes mais assez proches, et démultiplexeurs/démultiplexeurs optiques pour combiner/séparer l'ensemble des signaux optiques dans la fibre. Il permet aux équipementiers d'opérer de précieuses économies en évitant le déploiement de fibres supplémentaires. L'installation d'une liaison WDM ne nécessite pas une restructuration complète des réseaux existants. Il suffit d'ajouter aux extrémités des lignes actuelles des composants de multiplexage et démultiplexage, accompagnés d'amplificateurs optiques pour compenser les pertes intrinsèques des composants. Cependant ces modifications entraînent un coût conséquent à prendre en compte en particulier dans le cadre du réseau d'accès.

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

### A. LE MULTIPLEXAGE DENSE (DWDM) :

On parle de Dense WDM lorsque l'espacement entre canaux est inférieur à 1.6nm. De ce fait, le nombre de canaux qui peuvent être véhiculés dans une fibre optique est important (jusqu'à 32 canaux sur la bande C et 128 sur l'ensemble des bandes : C, S et L) (figure 2.17). C'est pour ce type de liaison que l'engouement est le plus grand, le débit proposé étant très important.

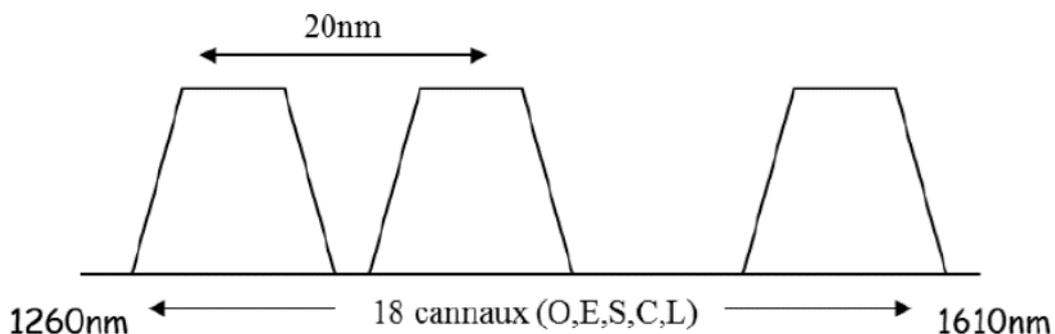
Cependant la liaison DWDM nécessite une technologie très coûteuse. Il est nécessaire d'avoir des sources lasers et des récepteurs stabilisés en température, et des composants multiplexeurs/démultiplexeurs aussi stables que possible à cause du faible espacement entre canaux. Ce système est essentiellement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



**Figure 2.17** : Exemple d'allocation en longueur d'onde pour le DWDM

### B. LE MULTIPLEXAGE DE CANAUX LARGEMENT ESPACES (COARSE WDM) :

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



**Figure 2.18** : Exemple d'allocations en longueur d'onde pour le CWDM

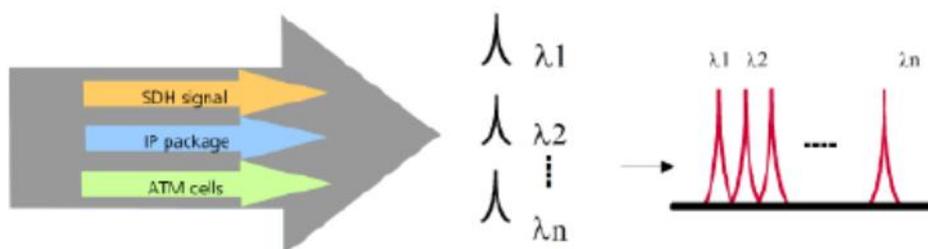
## CHAPITRE 2 LA CHAÎNE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

### 5.2.1 PRINCIPE DE WDM :

A l'inverse de la technologie TDM qui n'utilise qu'une seule longueur d'onde par fibre optique, la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) met en œuvre un multiplexage de longueurs d'onde. L'idée est d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes.

Le WDM consiste à diviser le spectre optique en plusieurs sous canaux, chaque sous canal étant associé à une longueur d'onde. La fibre optique se prête bien à ce type d'usage car sa bande passante est très élevée : de l'ordre de 25 000 GHz.

Elle présente donc un fort potentiel au multiplexage de très nombreux canaux sur de longues distances.

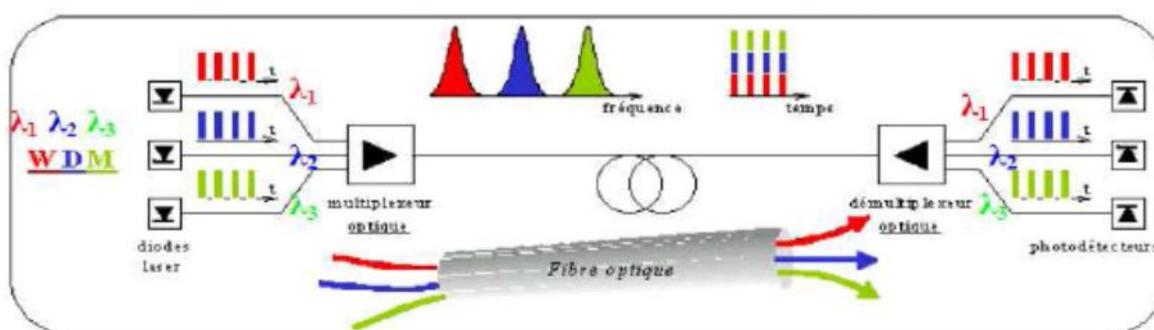


**Figure 2.19 :** WDM concept

### 5.2.2 DESCRIPTION DE WDM :

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à longueurs d'ondes différentes mais assez proches dans le voisinage des 1550 nm, et de multiplexeur / démultiplexeur optiques pour combiner/ séparer l'ensemble des signaux optiques dans la fibre.

La figure 2.20 représente un exemple d'une liaison utilisant le multiplexage WDM.



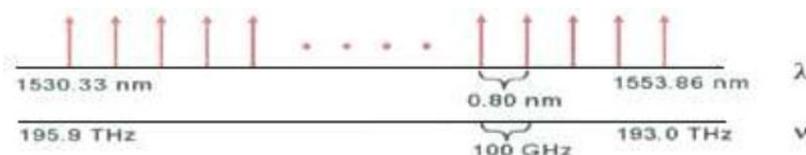
**Figure 2.20 :** Schéma de principe du multiplexage WDM

## CHAPITRE 2 LA CHAÎNE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

Afin d'assurer une bonne qualité de transmission du multiple dans la fibre, il est important de déterminer l'espacement minimum à respecter entre les longueurs d'ondes émises par chacune des sources. Cette grandeur dépend de plusieurs choses : 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  $N \cdot D$ . Cette dernière est souvent définie comme la capacité du système.

La norme ITU-T définit la plage de longueurs d'ondes est de 1.6 ou 0.8 nm. Le peigne de fréquence dans les réseaux WDM est présenté dans la figure 2.21.



**Figure 2.21** : Peigne des fréquences en WDM

### 5.2.3 APPLICATION DE 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 trouve aujourd'hui des systèmes à  $4 \cdot 10$  Gb/s,  $16 \cdot 10$  Gb/s. Mais le véritable point de départ du développement des systèmes de transmission WDM s'est fait lorsqu'il a été associé à l'amplification optique.

En effet, l'apparition des amplificateurs à fibre dopée à l'Erbium (EDFA) a permis l'amplification simultanée de l'ensemble des  $N$  canaux d'un multiplex, sans distorsion du signal utile et envoyer des canaux dans une fibre optique plutôt que  $N$  fibres devenait un avantage économique indiscutable. S'il y a encore peu de temps, l'espacement entre canaux était de l'ordre de 1 nm.

Une seconde application du WDM concerne les réseaux locaux. Chaque abonné se voit alors attribuer une longueur d'onde, c'est-à-dire une « couleur ».

Cette méthode présente l'avantage de permettre une évolution continue du réseau par l'adjonction de nouveaux services ou de nouveaux abonnés simplement par insertion d'une nouvelle longueur d'onde.

### 5.2.4 LES AVANTAGES DE LA TECHNOLOGIE WDM :

Nous pouvons mentionner quelques avantages du multiplexage optique en longueur d'onde :

- ✚ La technologie WDM garantit des débits de transmission élevée et de taux de partage dans le réseau d'accès.
- ✚ Dans la technologie WDM, la transmission est transparente, permet aussi une indépendance vis-à-vis les protocoles et une indépendance entre canaux (on peut trouver sur une même fibre optique de la voix dans des trames SDH, de la vidéo dans des cellules ATM), comme il est illustré sur la figure 2.22.
- ✚ Nous pouvons contribuer à plusieurs applications dans cette technologie, à titre d'exemple : le multiplexage en longueurs d'onde pour la commutation et le routage optique.
- ✚ La limite de débit imposée par la technique TDM peut être dépassée en introduisant le WDM et en affectant une longueur d'onde par utilisateur.

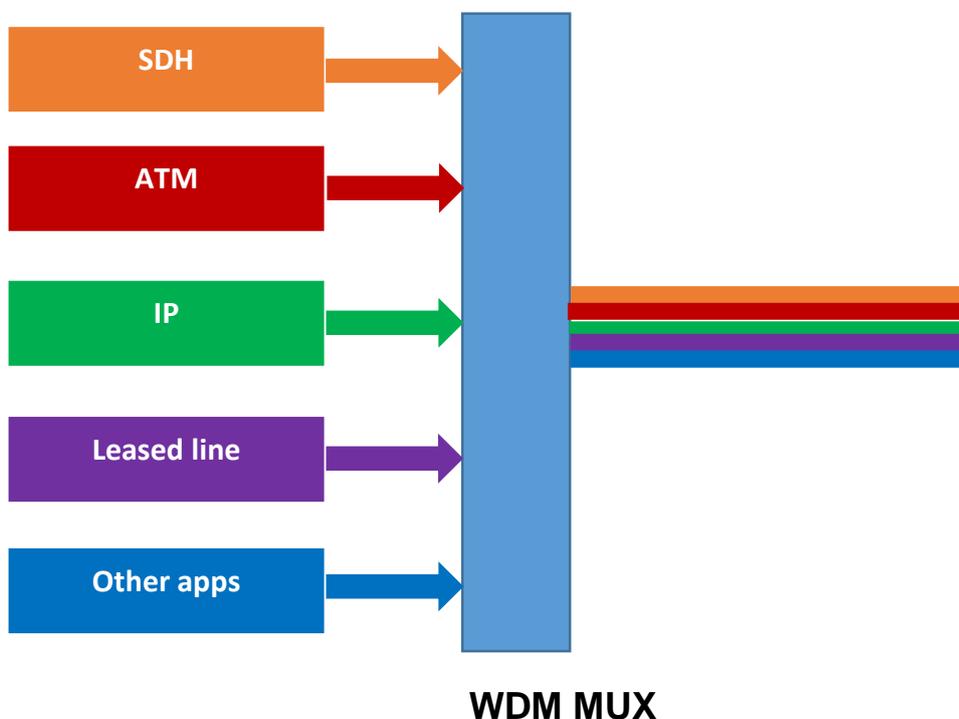


Figure 2.22 : Différents protocoles sont multiplexés

### 5.2.5 LES LIMITATIONS DE LA TECHNIQUE WDM :

Nous pouvons citer quelques limitations du multiplexage optique en longueur d'onde comme suit :

- ✚ Effet de la diaphonie due à d'autres phénomènes non-linéaires (produisent lors de la propagation du signal dans la fibre optique dépendamment du niveau de puissance véhiculé).
- ✚ Effet de la diaphonie due à la conversion Raman.
- ✚ Effet de la polarisation au niveau des multi/démultiplexeurs (pertes d'insertion).
- ✚ Effet de filtrage de longueur d'onde sur les lasers multimodes.
- ✚ Espace entre voies lié aux relations d'incertitude.

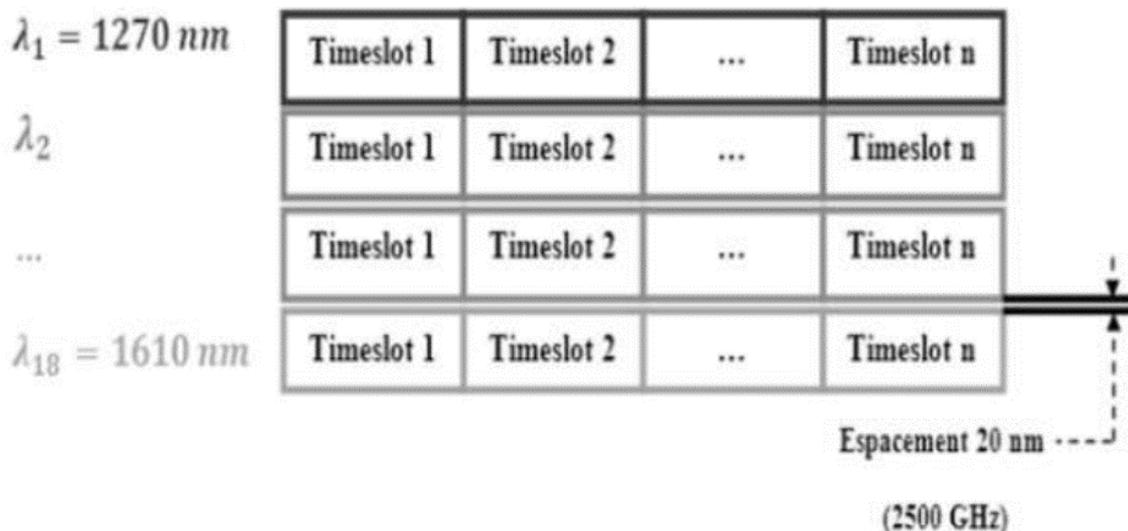
### 5.2.6 TYPES DE LA TECHNOLOGIE WDM :

On distingue plusieurs types de multiplexage en longueur d'onde. Dans cette section, nous mentionnons les plus utilisés dans les applications de transmission optique :

#### A. CWDM :

La technologie CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) est adaptée pour le transport courte distance. En outre, le système CWDM est idéalement adéquat pour des infrastructures en fibre optique avec des portées de fibres qui sont à 50 km ou moins et qui n'ont pas besoin de la régénération du signal ou de la présence des amplificateurs optiques, utilisent des lasers qui ont un débit de 2,5 Gbps (OC-48/STM-16) et peuvent multiplexer jusqu'à 18 longueurs d'onde. Cela fournit un maximum de 45 Gbps sur une seule fibre optique.

Le laser de transmission et le détecteur de réception sont généralement intégrés dans un ensemble unique appelé un émetteur-récepteur optique. Les multiplexeurs optiques et démultiplexeurs sont définis à ces longueurs d'onde. Ils ne nécessitent pas un contrôle étroit en longueur d'onde, ce qui explique leur coût moins élevé par rapport aux équipements DWDM.



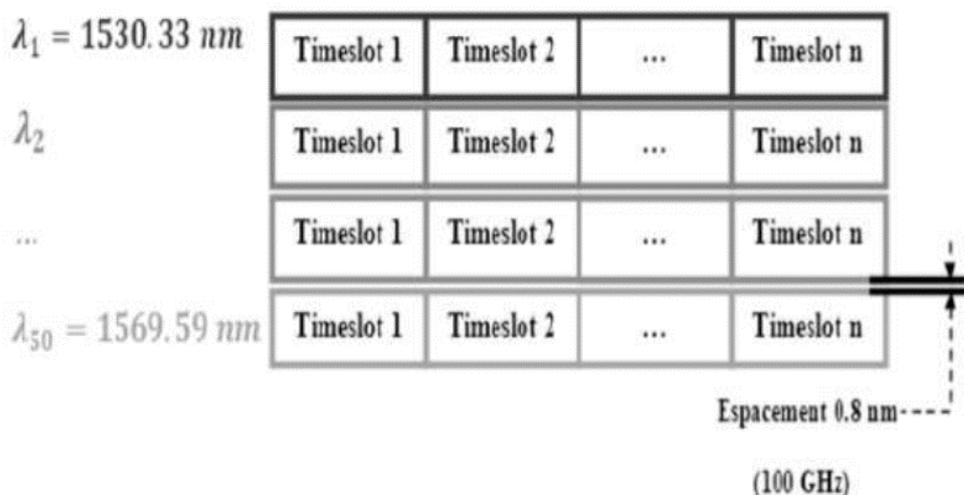
**Figure 2.23 :** Longueurs d'onde CWDM

Ci-dessus, le système CDWM est caractérisé par un espacement entre canaux de 20 nm ou 2500 GHz (spécifiés par la norme ITU G.694.2). La grille CWDM est définie en termes de séparation de longueur d'onde. Cette grille est constituée de 18 longueurs d'onde définies dans la plage 1270 nm à 1610 nm.

B. DWDM :

La technologie DWDM est adaptée pour le transport courte et longue distance de données.

En outre, le système DWDM est parfaitement adapté dans le Metro ou longue distance où les demandes de capacité sont extrêmement élevées. Cette grande capacité demande un résultat de l'agrégation des services reçus des clients multiples à la périphérie de l'entreprise, utilisent des lasers qui ont un débit pouvant aller jusqu'à 10 Gbps (OC-192/STM-64) et peuvent multiplexer jusqu'à 240 longueurs d'onde. Cela fournit un maximum de 2,4 Tbps sur une seule fibre optique. De plus, les nouveaux systèmes DWDM seront en mesure de soutenir 40 Gbps avec un maximum de longueurs d'onde de 300 chaînes, résultant en 12 Tbps de bande passante sur une seule fibre optique. Les émetteurs-récepteurs optique des systèmes DWDM consomment plus d'énergie et dissiper la chaleur beaucoup plus que les émetteurs-récepteurs des systèmes CWDM. Cela crée une obligation pour le refroidissement des sous-systèmes de DWDM.



**Figure 2.24 :** Longueurs d'onde DWDM

La répartition en longueur d'onde de la technologie CWDM est illustrée sur la figure 2.24 ci-dessus. Cependant, les systèmes DWDM Metro déployés utilisent généralement un espacement de fréquence de 100 GHz ou de 200 GHz. L'espacement commun du DWDM peut être 200, 100, 50, 25, ou 12,5 GHz avec un nombre de canaux pouvant atteindre jusqu'à 300 ou plusieurs canaux à des distances de plusieurs milliers de kilomètres avec l'amplification et la régénération le long de cette route. Comme spécifiés par le standard ITU G.694.1, les systèmes DWDM sont caractérisés par un espacement entre canaux de 50 ou 100 GHz. La grille de fréquence de DWDM est ancrée à 193,1 THz. Les systèmes DWDM ont de façon significative une granularité plus fine entre les longueurs d'onde (espacement typique de 100-GHz) par rapport à leurs homologues CWDM. Selon la grille ITU, les produits DWDM fonctionnent dans la bande C entre 1530 et 1565 nm ou dans la bande L entre 1565 et 1625 nm. L'un des avantages du DWDM est le gain dans la région de l'EDFA (Amplificateur à Fibre dopée Erbium) qui correspond à la bande C. Les longueurs d'onde peuvent être amplifiées pour compenser les pertes dues à la longue distance de transmission des fibres ou /et les pertes passives élevées (pertes du coupleur, du multiplexeur, etc...).

### 5.2.7 STRUCTURE DU SYSTEME WDM :

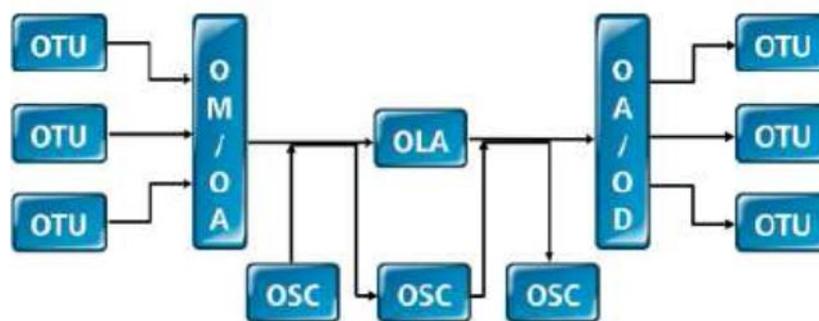


Figure 2.25 : Structure de système WDM

- ✚ **OTU (Optical Transponder Unit)** : La réception des services clients et de convertir en un signal WDM normalisé.
- ✚ **OM (Optical Multiplexer)** : Multiplexeur des services de différentes longueurs d'onde.
- ✚ **ODU (Optical De-multiplexer Unit)** : Démultiplexeur des services.
- ✚ **OA (Optical Amplifier)** : Amplificateur Optique.
- ✚ **OSC (Optical Supervisory Channel)** : Canal de supervision optique.

### 6. MODES DE TRANSMISSION DE WDM :

#### 6.1 TRANSMISSION UNIDIRECTIONNELLE :

La figure suivant (2.26) représente la transmission unidirectionnelle

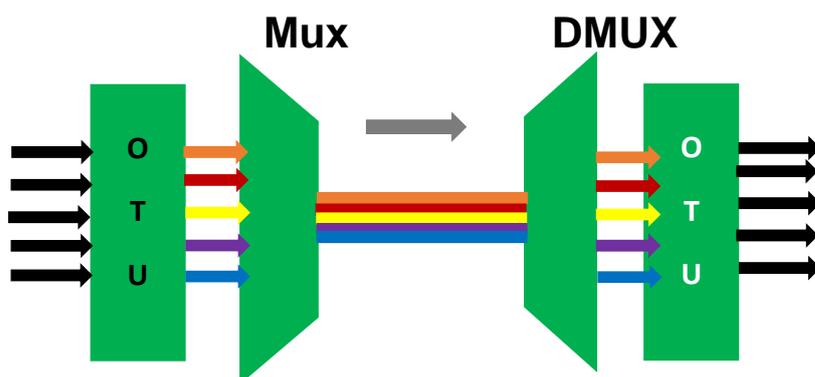
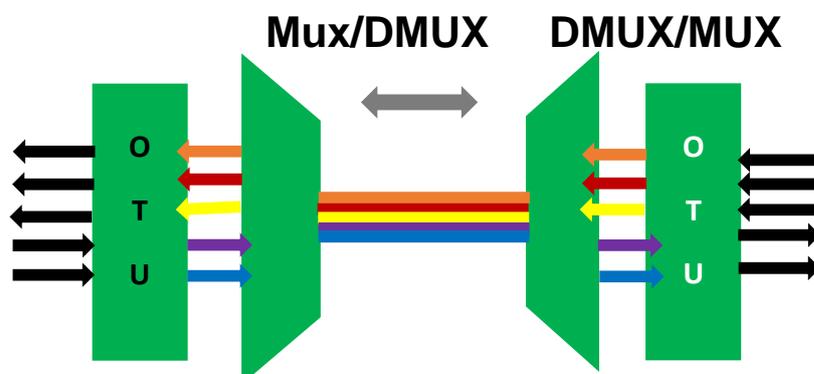


Figure 2.26 : Transmission unidirectionnelle

Le système WDM unidirectionnelle adopte deux fibres optiques, un implémente que la transmission de signaux dans un sens, et un autre équipement (ADM) met en œuvre la transmission de signaux dans la direction opposée, largement utilisé dans le monde entier.

### 6.2 TRANSMISSION BIDIRECTIONNELLE :

Le système WDM bidirectionnel onde utilise une seule fibre optique qui transmet des signaux optiques.

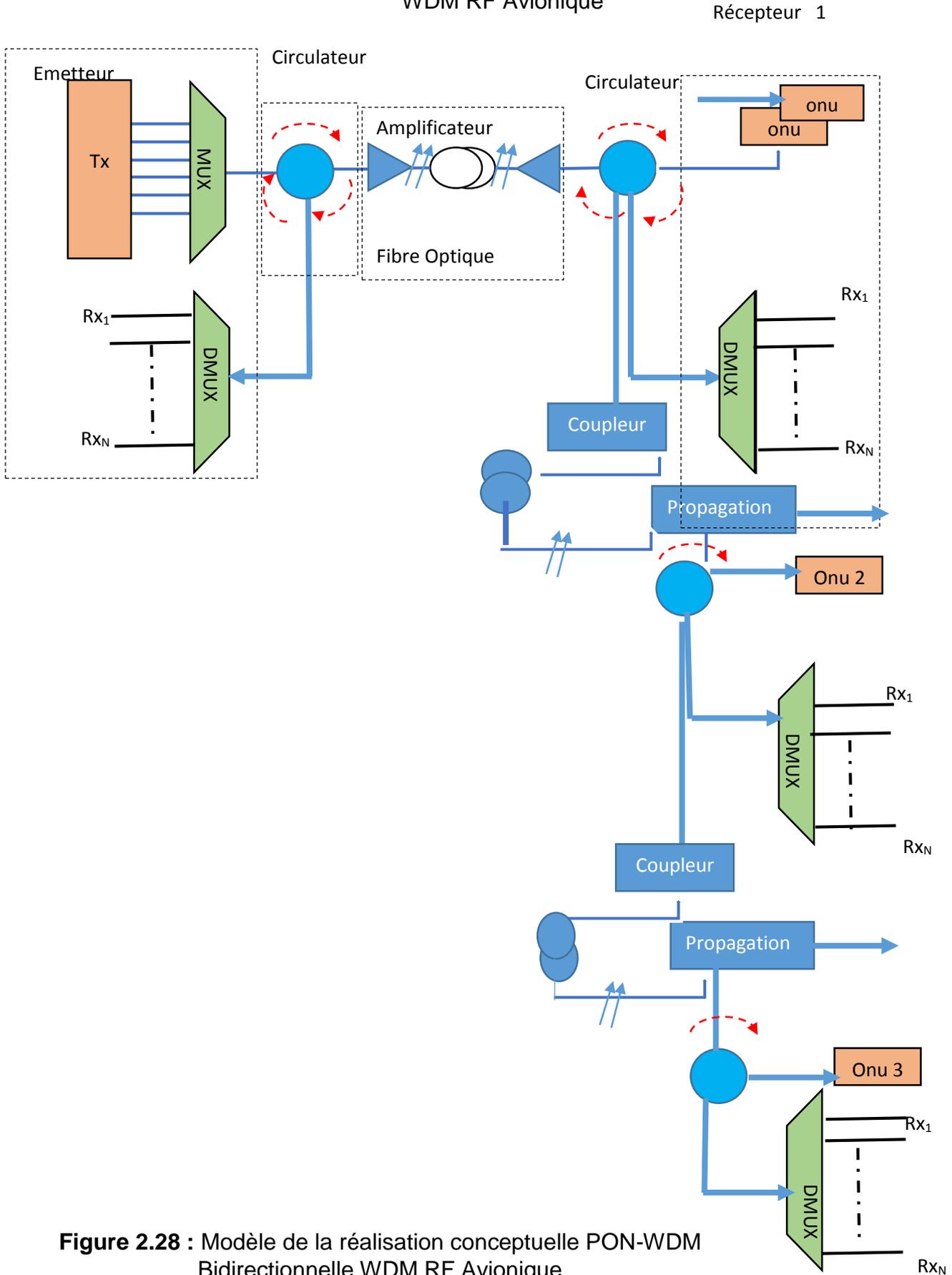


**Figure 2.27** : Transmission bidirectionnelle

Le système WDM bidirectionnel onde utilise une seule fibre optique qui transmet des signaux optiques dans les deux directions simultanément en longueurs d'onde différentes.

**7. LE MODELE CONCEPTUEL APPROCHE WDM RF AVIONIQUE**

La Figure 2.28, Modèle de la réalisation conceptuelle PON-WDM Bidirectionnelle WDM RF Avionique



**Figure 2.28 :** Modèle de la réalisation conceptuelle PON-WDM Bidirectionnelle WDM RF Avionique

## CHAPITRE 2 LA CHAÎNE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

A partir du modèle WDM network détaillé en [21], nous avons utilisé un autre modèle conceptuel du système radiofréquence WDM appliqué dans le domaine avionique.

### 7.1 BLOC DE L'ÉMETTEUR OPTIQUE :

#### **Le bloc émetteur optique contient :**

Les émetteurs à fibre optique sont les pièces d'un réseau à fibre optique qui traduisent un signal électronique en signal optique. Ce signal peut ensuite être envoyé le long des fibres optiques en verre sous forme d'impulsion lumineuse. Les fibres optiques sont la forme de télécommunications la plus avancée, car elles sont capables d'envoyer des informations à grande largeur de bande sur de très longues distances, sans le risque d'interférence électromagnétique car les fibres sont en verre. Les émetteurs à fibre optique sont utilisés dans de nombreuses applications, telles que pour la transmission de signaux téléphoniques, Internet ou la télévision par câble.

Les émetteurs à fibre optique sont généralement des dispositifs semi-conducteurs. Les deux principaux types sont les LED (diodes électroluminescentes) et les diodes laser.

Les LED produisent une lumière incohérente qui est couplée dans la fibre optique. Elles sont le plus souvent utilisées dans les réseaux locaux.

Les diodes laser produisent une lumière cohérente directionnelle, c'est à dire que moins de lumière est dispersée et perdue lors du processus de transmission. Les diodes laser à cavité verticale et à émission par la surface (VCSEL) ont largement supplanté les LED car elles offrent généralement une vitesse et une puissance supérieures.

### 7.2 BLOC MUX / DMUX :

**Un multiplexeur** est un circuit permettant de concentrer sur une même voie de transmission différents types de liaisons (informatique, télécopie, téléphonie, télétex) en sélectionnant une entrée parmi N. Il possèdera donc N entrées, une seconde entrée de  $\log_2(N)$  bits permettant de choisir quelle entrée sera sélectionnée, et une sortie. Il sert d'accès aux réseaux de transmission de données.

La valeur d'une des deux entrées  $E(i)$ , sera propagée sur la sortie S suivant la valeur de  $a$  (appelé autorisation) si  $a=1$  alors toutes les valeurs de la sortie valent 0 si  $a=0$  alors on voit l'adresse (A)  $S=E(a)$ , exemple :

## CHAPITRE 2 LA CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

- Si  $k=2$  on a 2 adresses telles que  $A_0=0$  et  $A_1=1$  chaque  $E$  doit avoir 2 valeurs si au  $t=1$  alors en décimale  $A_1A_0=2$  on prend  $E_2$ . Un MUX simple réalise la fonction logique :  $S = \text{au } t. (A_0'A_1'E_0 + A_0'A_1'E_1 + A_0A_1'E_2 + A_0A_1'E_3)$  On trouvera donc des multiplexeurs « 2 vers 1 » (1 bit de sélection), « 4 vers 1 » (2 bits de sélection), « 8 vers 1 » (3 bits de sélection), etc. Certains multiplexeurs transmettent aussi bien les signaux numériques que les signaux analogiques.

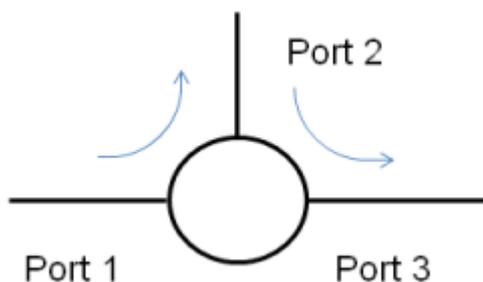
Le circuit accomplissant la fonction inverse est appelé démultiplexeur ou encore décodeur.

**Un démultiplexeur** est un circuit combinatoire à  $N+1$  entrées et  $2^N$  sorties. Les  $N$  entrées, appelées entrées d'adressage, permettent d'envoyer sur l'une des sorties la dernière entrée, appelée entrée de donnée.

Un décodeur est un cas particulier dans lequel on relie l'entrée donnée du démultiplexeur à 1. Le décodeur est donc un circuit combinatoire à  $N$  entrées et  $2^N$  sorties. Sélectionner une sortie grâce aux entrées d'adressage la fera passer de l'état 1 à l'état 0.

### 7.3 BLOC DE CIRCULATEUR (PON) :

Un est un composant de fibre optique largement disponible dans le commerce. La fonction de base d'un circulateur est illustrée à la figure (2.29), la lumière entrant au port 1 traverse le circulateur et sort au port 2. L'entrée lumineuse au port 2 sera émise au port 3 et ainsi de suite. Les circulateurs testés en cette thèse sont asymétriques, c'est-à-dire que le dernier port (port 3) ne circule pas vers le premier port (port 1).



**Figure 2.29** : Bloc de circulateur (PON)

## CHAPITRE 2 LA CHAÎNE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

La conception précise du circulateur testé dans ce travail n'est pas connue bien que le fonctionnement sera similaire à ceux décrits dans le livre blanc d'IBM).

Cela explique que, bien qu'il n'y ait pas de conception de principe unique pour un circulateur, le principe sous-jacent peut être expliqué à l'aide d'un rotateur de Faraday. Un Faraday le rotateur fera tourner la polarisation de la lumière qui le traverse, bien qu'il n'annule pas cela rotation si la lumière revient à travers le rotateur de Faraday. Ceci est connu sous le nom de propagation optique non réciproque et permet la construction de dispositifs tels que des isolateurs et circulateurs.

### **7.4 BLOC DU MILIEU DE TRANSMISSION BIDIRECTIONNELLE / UNIDIRECTIONNELLE OPTIQUE :**

#### **7.4.1 MILIEU DE TRANSMISSION OPTIQUE BIDIRECTIONNELLE :**

Dans la chaîne optique bidirectionnelle, les signaux optiques à longueurs d'onde multiples sont transmis à travers une seule fibre dans les deux directions de réception et d'émission. Ce mode est principalement utilisé côté client, mis en œuvre grâce à la fonctionne filtrage d'un module optique bidirectionnel à fibre unique. Différentes longueurs d'onde centrales sont utilisées pour les deux directions.



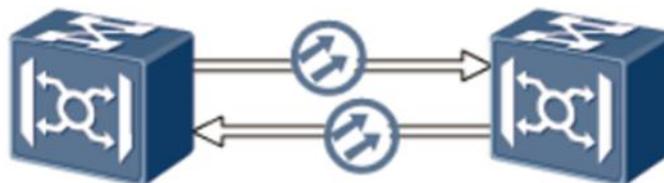
**Figure 2.30** : Une fibre bidirectionnelle

#### **FONCTIONNALITE :**

- ✚ Ce mode se caractérise par une économie de **50%** des ressources en fibre par rapport au mode unidirectionnel à fibre unique.
- ✚ Cependant, sa conception et l'exploitation et la maintenance du système WDM sont plus compliquées.
- ✚ Les plages de protection doivent être configurées pour séparer les longueurs d'onde afin d'éviter les interférences de signal dans deux directions, ce qui gaspille les spectres.

### 7.4.2 MILIEU DE TRANSMISSION OPTIQUE UNIDIRECTIONNELLE :

Dans le mode Unidirectionnelle à fibre unique, le système WDM transmet des signaux optiques à longueurs d'onde multiples dans des directions de réception et de transmission à travers des fibres séparées.



**Figure 2.31** : Une fibre unidirectionnelle

#### FONCTIONNALITE :

- ✚ Conception simple et faibles exigences.
- ✚ Isolation simple des défauts et surveillance des performances.
- ✚ En pratique Unidirectionnelle à fibre optique et mise en réseau flexible facilitant la mise à niveau et l'expansion des capacités.

Dans ce travail de simulation on a basé sur la méthode bidirectionnelle grâce à ces caractéristiques.

### 7.5 BLOC DU RECEPTEUR OPTIQUE RX :

Les récepteurs encore appelés détecteurs optiques utilisent le principe de l'effet photoélectrique. Deux types de composant peuvent être utilisés :

Les phototransistors et les photodiodes. Les photodiodes PIN et les photodiodes à avalanche sont les plus utilisées car elles sont peu coûteuses, simples d'utilisation et possèdent les performances adéquates.

L'atténuation et la déformation du signal sont des conséquences directes de la longueur du canal de transmission.

Afin de conserver le signal optique de la source, les systèmes de transmission optique peuvent utiliser trois types d'amplificateurs (répéteurs) :

- ✚ Regeneration (amplification seule).

## CHAPITRE 2 LA CHAINE DE TELECOMMUNICATION OPTIQUE POUR L'AVIONIQUE

- ✚ Regeneration-reshaping (amplification et remise en forme).
- ✚ Regeneration-reshaping-retiming (amplification, remise en forme et synchronisation).

### **8. CONCLUSION :**

On a vu dans ce chapitre les processus, que comportent la chaîne de télécommunication optique et leurs applications dans le domaine de transmission des données avionique et on a présenté l'essentiel sur les éléments de chaque bloc.

Dans ce chapitre, l'objectif est d'apporter l'ensemble des éléments de base pour bien appréhender le fonctionnement des liaisons optiques dans l'accès, passe en revue les structures des réseaux optiques de façon générale afin de se familiariser avec les termes et les technologies employés, et présente les différentes techniques de transmission utilisées (WDM/DWDM).

Les solutions pour un accès très haut débit ont été présentées sur la base d'architectures types des futures générations de réseau PON (Passive Optical Network). Des architectures qui sont toujours en cours d'étude telles que l'architecture WDM-PON, qui possède une bande-passante très élevée, jusqu'à un débit de l'ordre de 10 Gbit/s et plus par client. Aussi, le fait que chaque abonné communique sur une longueur d'onde spécifique permet de garantir une excellente sécurité au niveau de la couche physique, et d'éviter la collision entre les abonnés. De plus, avec cette solution à base de multiplexage en longueur d'onde, on peut obtenir une transparence au niveau du protocole entre les différents ONUs.

Par conséquent, le WDM est entrevu actuellement comme une solution attractive pour la future génération d'accès optique et c'est l'une des solutions sur laquelle repose le travail de simulation présenté ultérieurement. Son inconvénient majeur est en revanche le coût élevé des sous-systèmes d'émetteur-récepteur. L'idée du PON WDM est d'utiliser à la fois les avantages de l'allocation dynamique de la bande passante et la capacité du WDM pour augmenter le nombre de clients par PON.

**CHAPITRE 3 :**  
**ETUDIER LES PERFORMANCE DE SYSTME WDM PON RADIO**  
**FREQUENCE EN APPLICATION AVIONQUE PAR**  
**L'IMPLIMENTATION OPTISYSTEME 0.7**

## SOMMAIRE DU CHAPITRE 3

INTRODUCTION.....	78
1. WDM RF POUR AVIONIQUE :.....	79
2. LE SYSTÈME RF À FIBRES OPTIQUES .....	81
4. LES OBJECTIFS DE SIMULATION :.....	82
5. Simulation Appliquées en simulateur OptiSystem : .....	83
6. LE CRITERE DE QUALITE D'UNE TRANSMISSION : .....	85
7. LE CRITERE DE QUALITE D'UNE TRANSMISSION : .....	85
8. PRESENTATION DU SIMULATEUR OPTISYSTEM :.....	88
b. Interface de l'OptiSystem :.....	88
c. La bibliothèque :.....	89
d. Editeur du layout : .....	90
e. Les composantes d'une liaison optique :.....	90
9. RESULTATS DE SIMULATION ET INTERPRETATIONS.....	100
A) Premier scenario de la partie a :.....	100
B) Deuxième scenario de la partie B :.....	105
c) Troisième scenario du Partie C :.....	113
10. CONCLUSION :.....	119

### INTRODUCTION

Le développement est toujours en mode croissant, et notamment il s'agit des systèmes de télécommunication en introduisant de plus en plus des composants plus au moins complexes qui demandent une grande précision pour leur intégration dans des systèmes déjà existants en réalité, ainsi qu'il est accompagné d'une importante évolution des outils informatiques qui réduisent les frais, le temps et les difficultés expérimentales en permettant la conception, la simulation et la visualisation des performances atteintes en pratique par l'utilisation des logiciels très performants tels que le simulateur OptiSystem retenue pour notre étude.

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) est une technologie qui permet la transmission de plusieurs flux d'informations simultanément sur une fibre optique. Cela fournit un rapport coût-efficacité pour augmenter la capacité des réseaux existants sans la nécessité d'ajouter des supports supplémentaires.

Cette note d'application explique les capacités du logiciel OptiSystem pour explorer les différentes conceptions pour optimiser les performances de ces réseaux d'accès et les applications en plusieurs domaines tel que le domaine avionique.

Ce chapitre propose sur une description exhaustive d'OptiSystem, le logiciel de simulation retenu pour cette étude, destinée à faciliter la connaissance et la maîtrise du simulateur par les futurs utilisateurs, ainsi que pour bien comprendre les composants de la chaîne de télécommunication optique et le rôle de chacun de ces composants dans cette chaîne.

### 1. WDM RF POUR AVIONIQUE :

Les technologies des transmissions des informations de l'avionique numérique à radiofréquence (RF) sont surchargeant les capacités et la fiabilité des réseaux de communication RF existants basés sur les coaxiaux câbles à bord des avions modernes. Les futurs systèmes avioniques nécessiteront une bande passante élevée à bord des liaisons de communication légères, insensibles aux interférences électromagnétiques et hautement fiables.

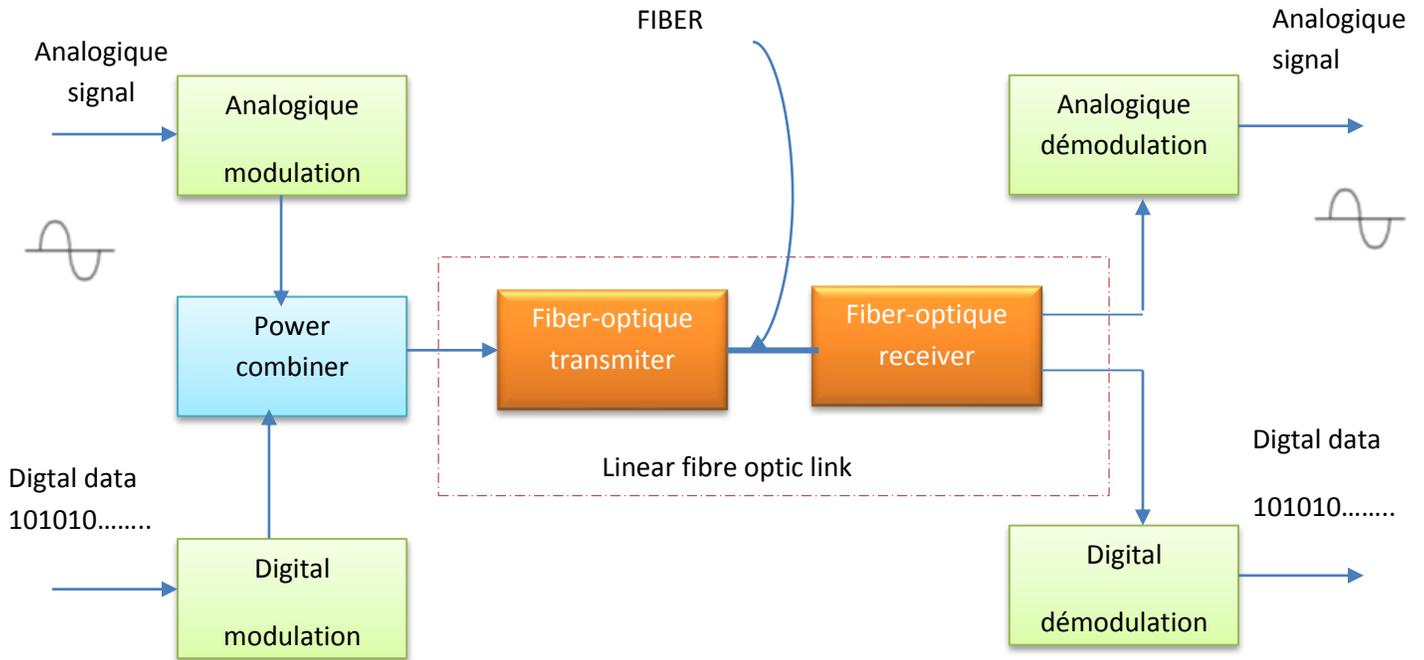
Les réseaux à fibre optique peuvent relever tous ces défis de manière rentable. Depuis peu, la fibre optique embarquée systèmes de communication, où un réseau à fibre optique agit comme un réseau local (LAN) pour les numériques communications de données, sont devenus un sujet de recherche et de développement intensifs. Cependant, moderne les systèmes d'avionique numérique nécessitent un système capable de transporter des RF à micro-ondes et à ondes millimétriques signaux qui transportent des données numériques à bord d'un avion.

De tels réseaux optiques transportant des signaux RF sont complètement différent des systèmes de communication numériques par fibre optique.

Progrès récents de la technologie optoélectronique, y compris les dispositifs optoélectroniques linéaires et la longueur d'onde multiplexage par division (WDM), ont ouvert un certain nombre de possibilités pour concevoir la fibre optique embarquée réseaux, y compris les réseaux tout optiques pour la communication de signaux RF avioniques numériques.

L'objectif de ce mémoire est de présenter un d'architectures de réseaux optiques pour la transmission de signaux RF transportant données numériques dans un avion [22].

La Figure 3.1 Une liaison à fibre optique linéaire transporte des signaux RF où le signal RF peut être modulé par un une technique de modulation analogique ou numérique.



**Figure 3.1.** Une liaison à fibre optique linéaire transporte des signaux RF où le signal RF peut être modulé par un une technique de modulation analogique ou numérique [22]

## **2. LE SYSTÈME RF À FIBRES OPTIQUES**

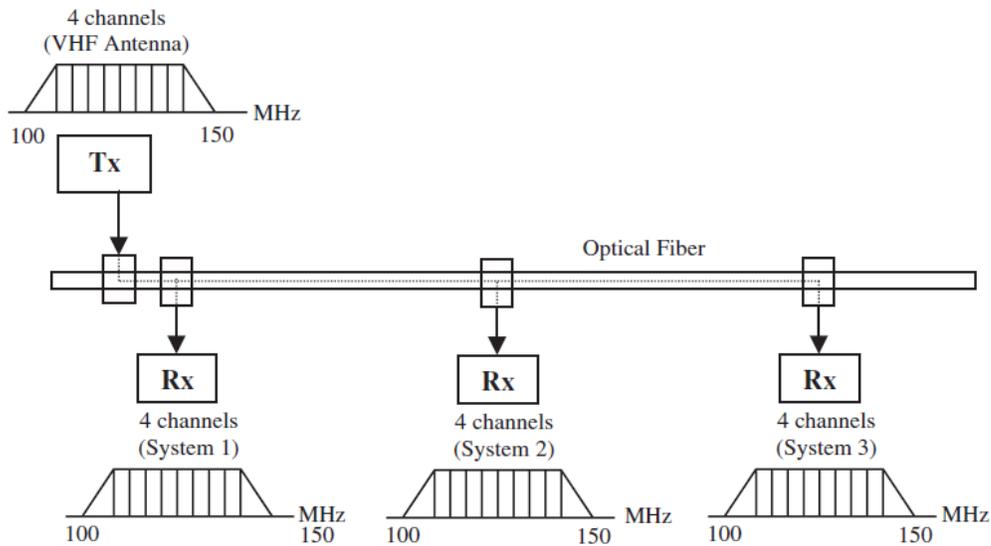
Dans les sous-sections suivantes, nous montrons comment le système RF peut être mis en œuvre en utilisant une architecture basées sur des réseaux optiques. Les systèmes mentionnés ci-dessus pourraient consister en systèmes de navigation, systèmes atmosphériques, systèmes d'alarme incendie et fumée, communication au sol systèmes, etc...

### **Exemple :**

La figure 3.2 montre un système RF où un système VHF embarqué ayant quatre canaux dans le 100– 150MHz .La gamme de fréquences de 150 MHz communique avec une antenne VHF et un système UHF embarqué ayant 24 canaux dans la gamme de fréquences 950 1450MHz communique avec une antenne UHF.

## **3. Approche système WDM RF :**

La figure 3.2 montre l'approche traditionnelle de la fibre optique pour mettre en œuvre le système de communication RF dans la Figure 2(Voire Chapitre2). Un système de distribution de signaux à fibre optique. Tx représente l'émetteur à fibre optique et Rx représente récepteur à fibre optique. Des fibres optiques distinctes sont utilisées pour chaque liaison point à point.



**Figure 3.2 :** Un système de distribution de signaux à fibre optique. Tx représente l'émetteur à fibre optique et Rx représente récepteur à fibre optique [22]

#### 4. LES OBJECTIFS DE SIMULATION :

Nous avons effectué trois objectifs en étudiant les performances du système de transmission de données, une simulation de transmission en optisystem 7.0.

- **Premier Objectif 1 :** Transmission unidirectionnelle avec un signal sinusoïdal en étudiant les spectres d'émission avec deux et trois canaux.
- **Dixième Objectif 2 :** Transmission bidirectionnelle en radio fréquence avec quatre canaux, en étudiant les caractéristiques pour évaluer les performances de ce système.
- **Troisième Objectif 3 :** Minimiser le nombre des blocs pour obtenir les bons résultats correspondants au facteur de qualité et au diagramme de l'œil et en parallèle la probabilité d'avoir des collisions diminue.

## 5. Simulation Appliquées en simulateur OptiSystem :

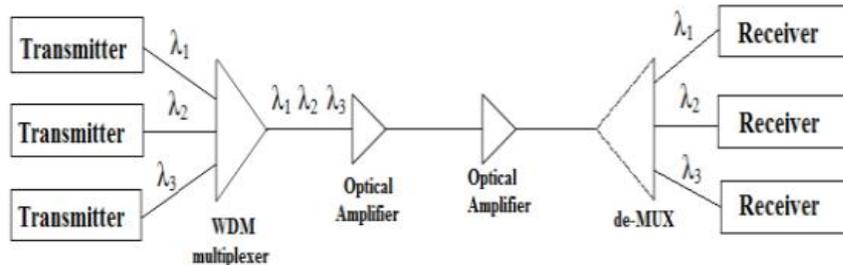
Dans cette section nous avons étudié trois parties de simulation appliquées en simulateur OptiSystem

### a. Partie A du simulation :

Etude de performance de la radio fréquence WDM RF appliquée en OptiSystem, notre simulation est réalisée et analysée à l'aide du logiciel OptiSystem.

#### 1. scénario de la partie A

Le schéma suivant représente fonctionnel de RoF WDM réseau optique passif est illustré à la figure 3.3. La technologie RoF présente de nombreux avantages par rapport à la distribution de signaux électroniques comme une large bande passante, installation simple, entretien facile, faible atténuation et une répartition dynamique des ressources.



**Figure 3. 3 :** Schéma fonctionnel d'un système WDM utilisant plusieurs canaux de Longueur d'onde et amplificateurs optiques [23]

#### 2. Etude les performances des spectres

- **Mélange à quatre vagues :**

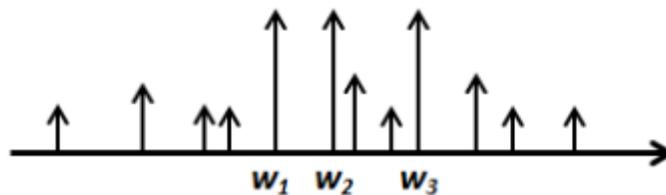
Le mélange se produit en raison de l'interférence de la longueur d'onde d'origine FWM et les produits croisés générés. Pour la longueur d'onde d'entrée  $N$ , ils seront  $M$  produits de mélange, donnés par [24] :

$$M = \frac{N^2}{2} (N - 1) \quad (3.1)$$

Par exemple, dans un système à trois canaux qui subit l'effet de FWM, neuf bandes latérales sont générées près des trois entrées d'origine de longueur d'onde  $w_1$ ,  $w_2$  et  $w_3$  comme indiqué sur la figure 3.4 (b) et (a). Les produits supplémentaires s'éloignent des longueurs d'onde d'entrée d'origine.



(a)



(b)

**Figure 3.4 :** (a) Deux longueurs d'onde d'entrée  $w_1$   $w_2$  et la longueur d'onde résultante des bandes latérales dues au FWM . (b) Trois longueurs d'onde d'entrée  $w_1$   $w_2$ ,  $w_3$  et les bandes latérales dues au FWM

- **Exemple**

En supposant qu'il y a deux longueurs d'onde d'entrée comme  $w_1 = 1550$  nm et  $w_2 = 1551$  nm Alors les longueurs d'onde interférentes générées autour les trois longueurs d'onde originales sont  $2w_1 - w_2 = 2 \times 1550 - 1551 = 1549$  nm et  $2w_2 - w_1 = 2 \times 1551 - 1550 = 1552$  nm.

De même lorsque les trois longueurs d'onde d'entrée sont  $w_1=1550$  nm,  $w_2 = 1551$  nm et  $w_3 = 1552$  nm. Ensuite l'interférence les longueurs d'onde générées autour des trois longueurs d'onde d'origine sont  $w$ .

### **b. Partie B de simulation :**

Une source laser à semi-conducteurs doit fournir une lumière stable dans une bande passante étroite et spécifique qui transporte des données numériques modulées en un signal analogique. L'émetteur transforme les bits électriques en impulsions optiques, dans cette partie on a effectué une simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM avec 4 canaux. Avec une bande passante de 100 GHz et une longueur de fibre de 100 m avec trois UNO et trois démultiplexeur et chaque UNO contient quatre récepteurs Rx

### **c. Partie C de simulation :**

On a étudié les termes de facteur Q et de BER.

Dans cette partie C nous avons étudié et évalué la performance d'une liaison optique, pour différentes valeurs d'atténuation.

### **6. LE CRITERE DE QUALITE D'UNE TRANSMISSION :**

Pour évaluer de telle qualité pour les systèmes WDM, il y'a 3 principaux critères : le taux d'erreurs binaires (BER), le facteur de qualité (Q) et le diagramme de l'œil, interprètes ainsi :

### **7. LE CRITERE DE QUALITE D'UNE TRANSMISSION :**

Pour évaluer de telle qualité pour les systèmes WDM, il y'a 3 principaux critères : le taux d'erreurs binaires (BER), le facteur de qualité (Q) et le diagramme de l'œil, interprètes ainsi :

- **Taux d'erreur binaires :**

Une qualité de transmission numérique est simple à évaluer ; il suffit donc de comparer la séquence de symboles envoyés à celle de symboles reçus, et de compter les erreurs (nombre de fois ou "0" est détecté pour un "1" émis ou vice versa. Le taux d'erreurs

binaires 'Bite Errer Rate' est le rapport du nombre d'erreurs sur celui de bits transmis lors de la mesure.

$$BER = \frac{\text{Nombre de bits érronés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad (3.2)$$

La mesure de qualité globale d'un système de canaux multiplexés en longueurs d'onde passe nécessairement par une mesure du BER de tous les canaux. Si un seul canal parmi plusieurs présentes des erreurs, BER du système global est proche de celui du canal présentant des erreurs.

- **Facteur de qualité :**

Utilisant l'oscilloscope, le signal mesure a l'entrée du canal contient une contribution due au signal utile ainsi qu'un apport en bruit dû a l'ensemble des éléments de la chaine de transmission. Dans le diagramme de l'œil qui retrace le signal mesure, le signal utile est représenté par les niveaux moyens  $\mu_1$  et  $\mu_2$ . Le 'bruit' représentant les déviations des puissances optiques autour de ces niveaux moyens, est quantifie en combinant les écarts-types  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$ . Le facteur Q est définit donc à partir de relevé du diagramme de l'œil par :

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma_1 + \sigma_2} \quad (3.3)$$

Ou

Q est d'habitude exprime en dB en utilisant la formule suivante :

$$Q = 20 \cdot \log_{10}(Q) \quad (3.4)$$

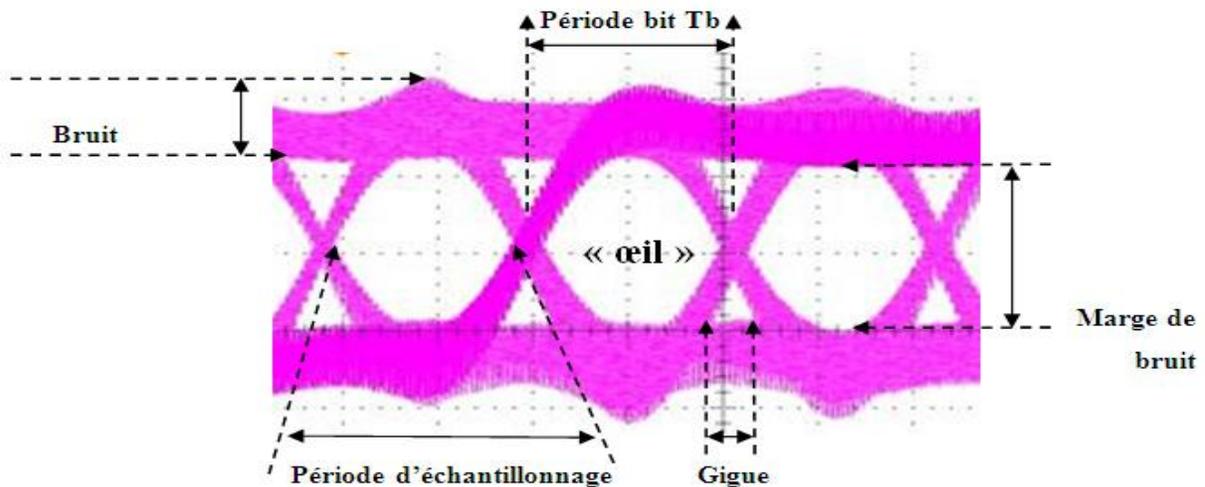
- **Diagramme de l'œil :**

La qualité de transmission numérique est évaluée par le taux d'erreur binaire (Bit Error Rate, BER), il existe des appareils spécialisés engendrent des séquences aléatoires et comparent le signal en sortie de la liaison optique avec le signal d'entrée. Le BER est obtenu en divisant le nombre d'erreurs par le nombre total de bits. Compte tenu de la haute qualité des transmissions optiques, on spécifie des BER jusqu'à  $10^{-12}$  ce

qui correspond à un bit erroné pour mille milliards de bits transmis, il faut donc effectuer les mesures pendant un intervalle de temps suffisamment long afin d'obtenir une mesure fiable. Par exemple on emploie presque deux minutes pour des mesures à un débit de 10 Gb/s.

On utilise souvent en télécommunications la méthode dite du diagramme de l'œil pour décrire la dégradation par le bruit et la dispersion d'un signal numérique. Une séquence aléatoire de bits est visualisée sur un oscilloscope en mode d'accumulation en fonction du temps, la somme de tous ces signaux aboutissent à une forme du signal appelé l'œil.

Sans bruit, les traces se superposent exactement. Quand le bruit augmente les signaux varient et la trace s'épaissit, les transitions dans le temps deviennent aussi moins définies à cause de la gigue qui augmente, on dit que « l'œil se ferme »



**Figure 3.5** : Diagramme de l'œil d'une transmission par fibre optique [25].

## 8. PRESENTATION DU SIMULATEUR OPTISYSTEM :

### a. OptiSystem ("Optical communication System Design Software")

OptiSystem est un logiciel de simulation développé par une société canadienne, pour permettre aux chercheurs et aux ingénieurs de modéliser et simuler des systèmes de télécommunications optiques afin de concevoir, essayer et optimiser toute liaison optique. Cet outil dote d'une interface interactive allant des outils numériques à des fonctionnalités graphiques et d'une interface utilisateur, possède un nouvel environnement de simulation très puissant et une définition hiérarchique de composants et systèmes. Ses capacités peuvent être facilement augmentées grâce à l'ajout de composants d'utilisateur et d'interfaces sans failles a une gamme d'outils couramment utilisés [26].

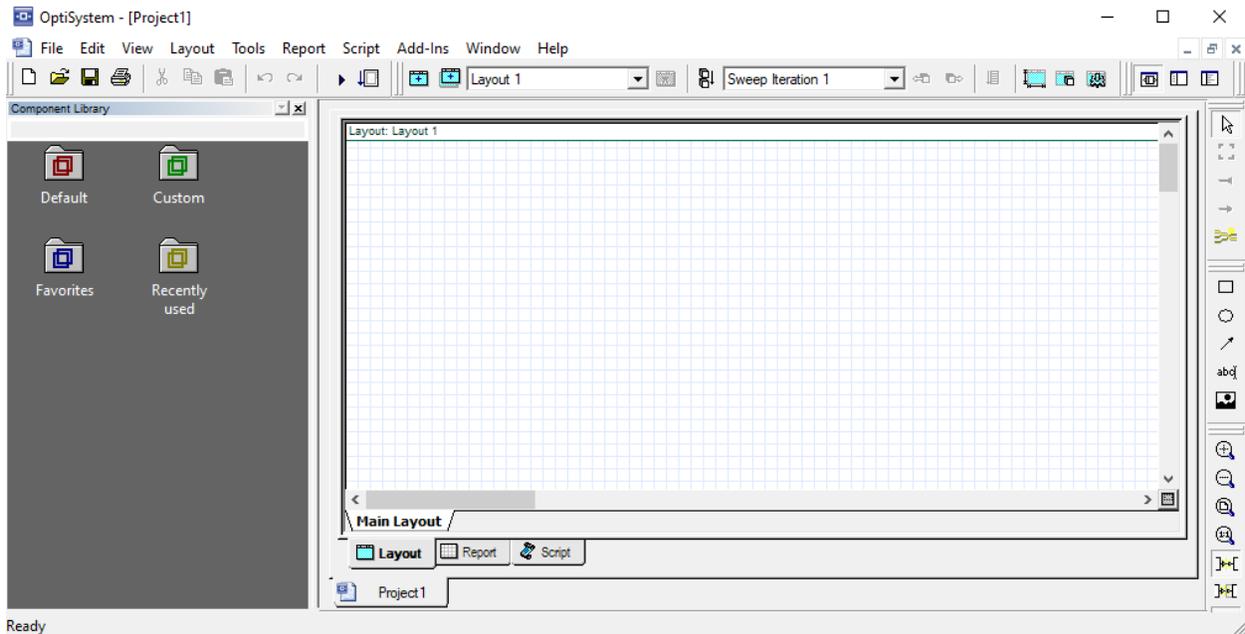
La démarche à suivre se décompose en deux étapes

- Construire le schéma bloc.
- Analyser le schéma [27].

### b. Interface de l'OptiSystem :

Elle contient une fenêtre principale repartit en plusieurs parties :

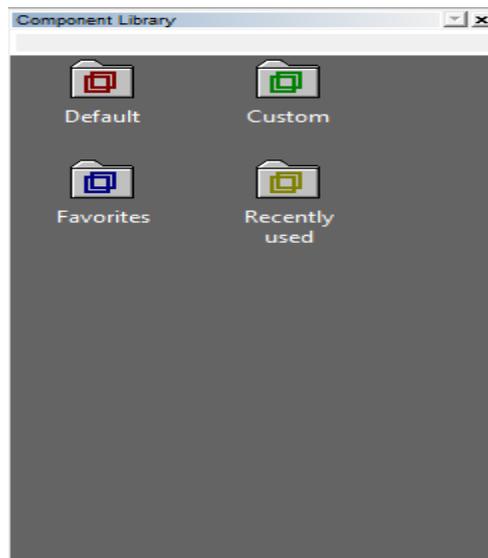
- Bibliothèque.
- Editeur du layout.
- Projet en cours.



**Figure 3.6:** Interface graphique du logiciel OptiSystem

### c. La bibliothèque :

La bibliothèque est une base de donnée qui contient tout type de modèles qui permettent de réaliser les différents schémas blocs, comme les entrées, régénérateurs, codeurs, modulateur, filtres,...etc.



**Figure 3.7 :** La bibliothèque du logiciel OptiSystem

**d. Editeur du layout :**

L'éditeur de layout et la fenêtre qui permet de concevoir des schémas bloc avec des différents composants de la bibliothèque où on peut les configurer en modifiant ces paramètres.

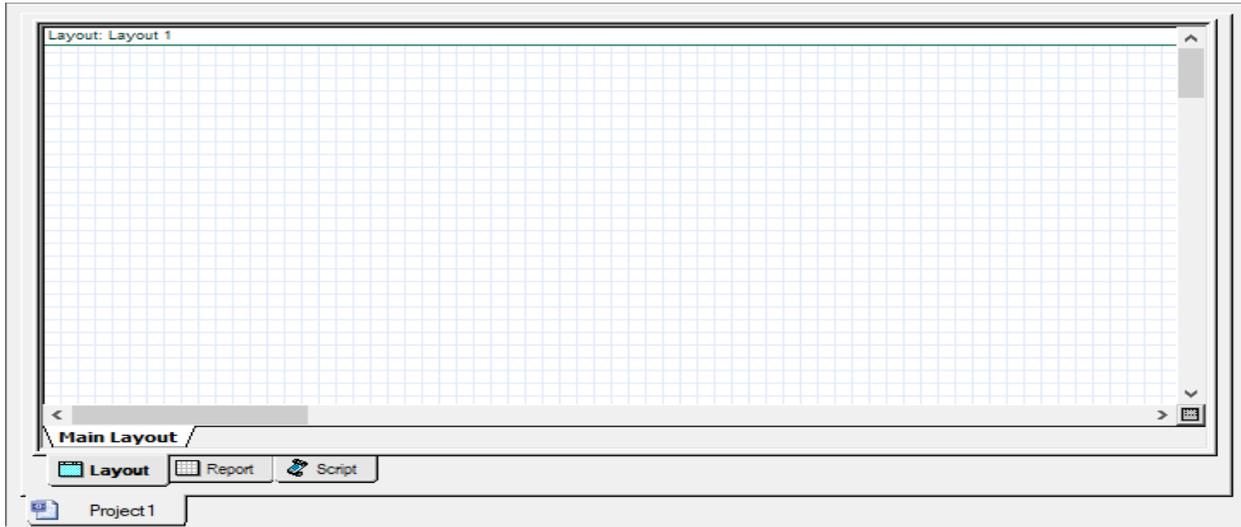


Figure 3.8 : Éditeur du layout

**e. Les composantes d'une liaison optique :**

Cette partie nous décrira la description des composants présents dans un système de transmission optique. Ces derniers sont choisis en fonction des objectives de simulation, et nous avons détaillé leurs fonctionnements et leurs limites.

a) **WDM Mux** : c'est un multiplexeur optique qui regroupe sur une meme sortie plusieurs longueurs d'onde issues de différentes entrées.

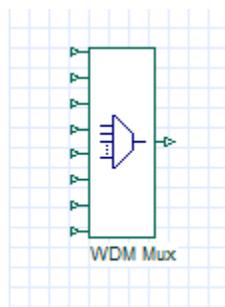


Figure 3.9 : Modele de simulation d'un multiplexeur

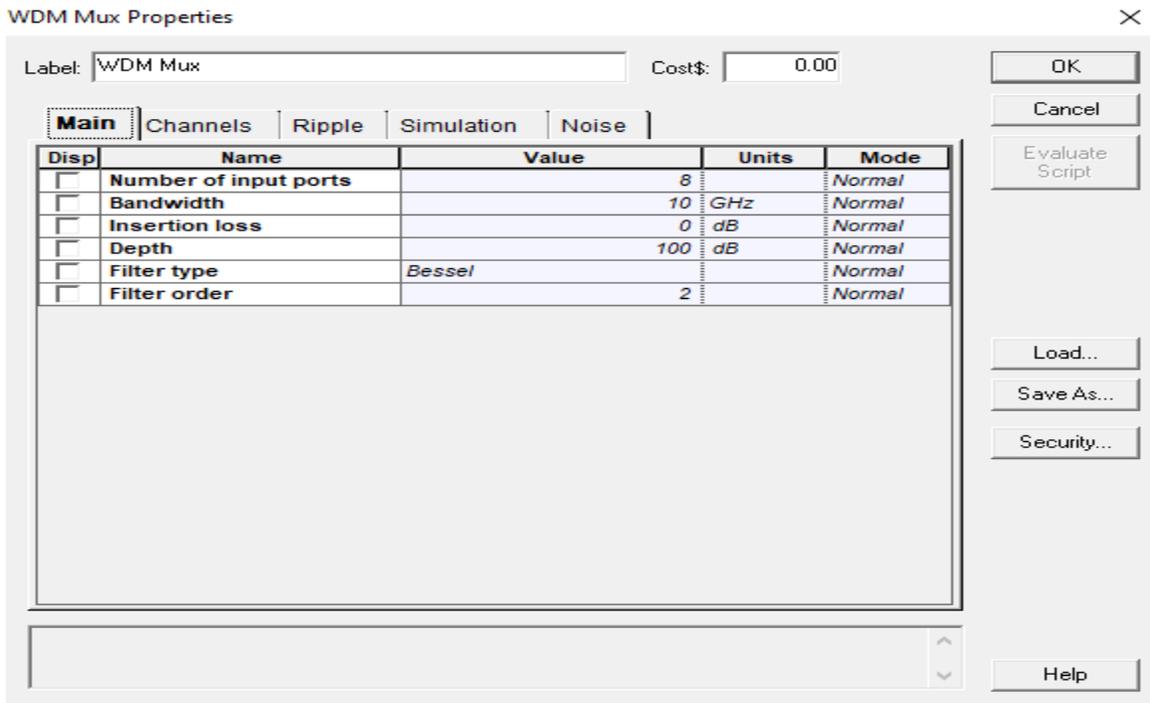


Figure 3.10 : Les parametres caractéristiques de MUX

b) Fibre optique SMF :

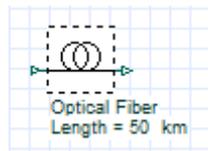


Figure 3.11 : Modele de simulation pour une fibre optique

Les parametres caractéristiques d'une SMF sont dans le tableau suivant :

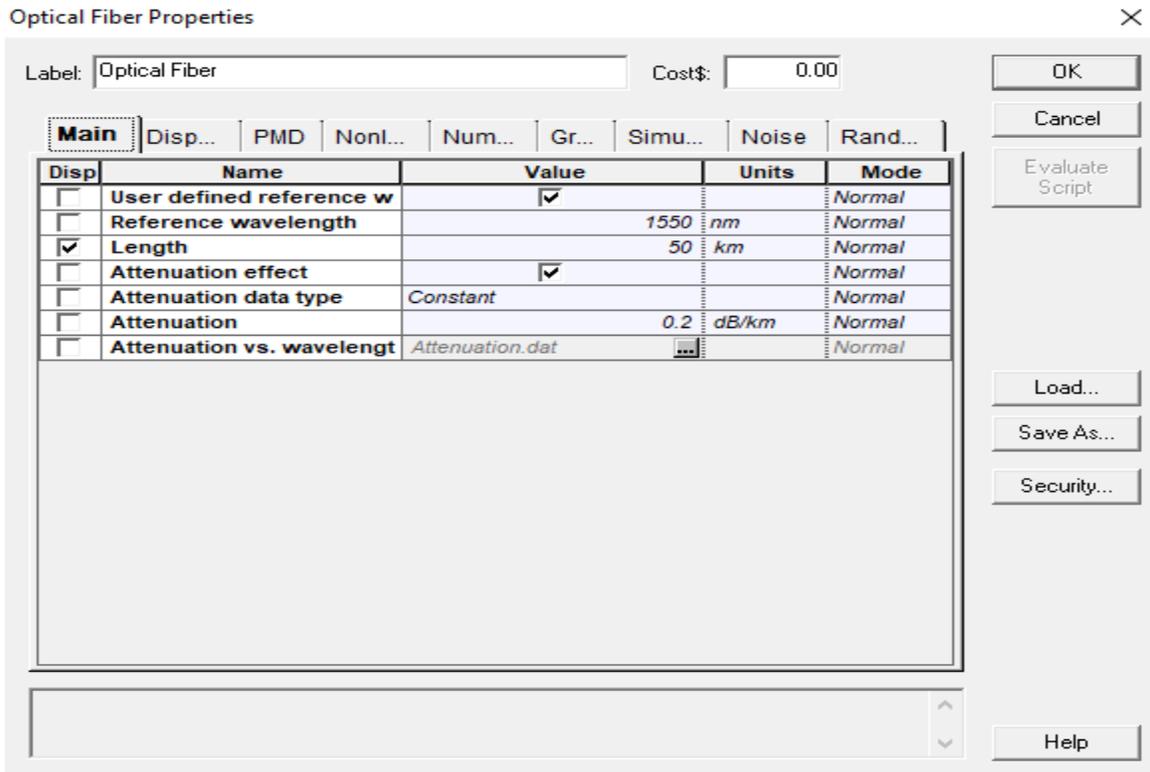


Figure 3.12 : Parametres caractéristiques d'une fibre optique

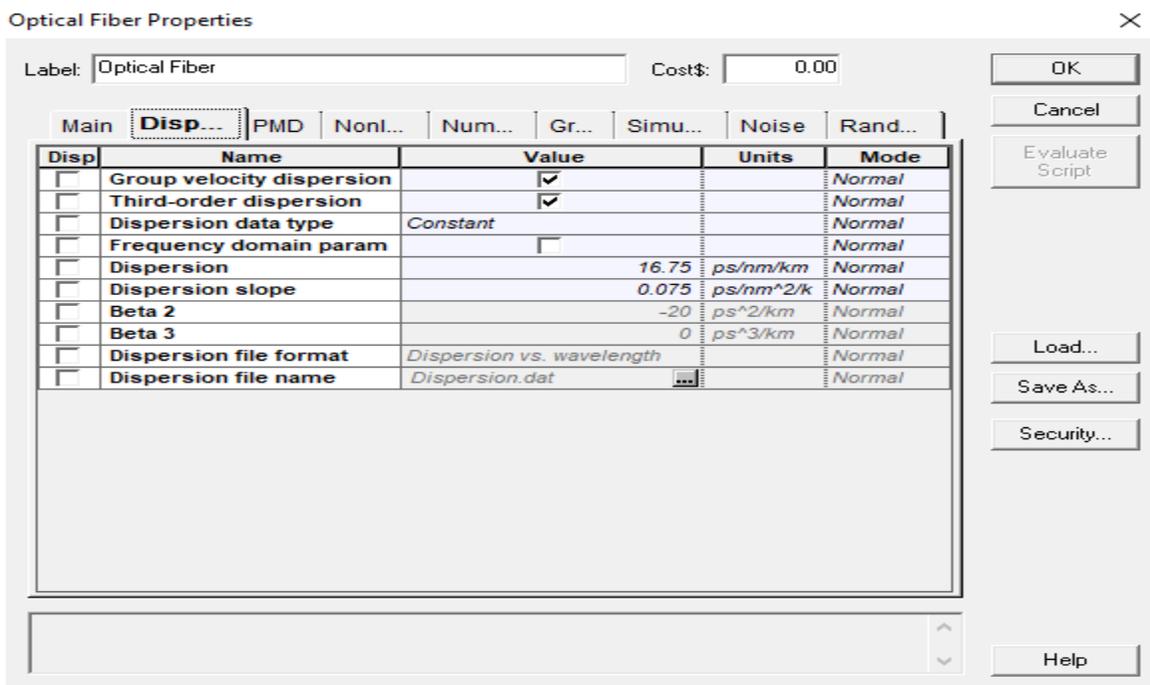


Figure 3.13 : Parametres de dispersion d'une fibre optique

c) **Démultiplexeur WDM** : C'est un filtre de longueur d'onde il fait l'opération inverse d'un multiplexeur.

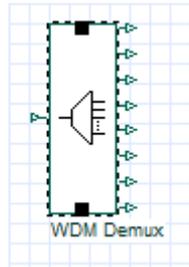


Figure 3.14 : Modele de simulation d'un démultiplexeur

Les parametres caractéristiques d'un WDM Demux sont dans le tableau suivant :

WDM Demux Properties

Label: WDM Demux Cost\$: 0.00

**Main** Channels Ripple Simulation Noise

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	Number of output ports	8		Normal
<input type="checkbox"/>	Bandwidth	10	GHz	Normal
<input type="checkbox"/>	Insertion loss	0	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Depth	100	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Filter type	Bessel		Normal
<input type="checkbox"/>	Filter order	2		Normal

Buttons: OK, Cancel, Evaluate Script, Load..., Save As..., Security..., Help

Figure 3.15 : Parametres caractéristiques d'un WDM Demux

d) Récepteur optique :

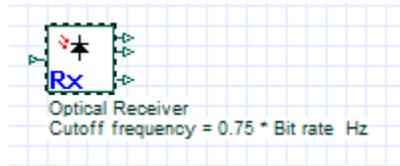


Figure 3.16 : Modele de simulation d'un Rx

Les paramètres caractéristiques d'un Optical receiver sont dans le tableau suivant :

Optical Receiver Properties

Label:  Cost\$:

**Main** | Low Pass ... | 3R Regen... | Downsam... | Noise | Random n...

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	Photodetector	PIN		Normal
<input type="checkbox"/>	Gain	3		Normal
<input type="checkbox"/>	Ionization ratio	0.9		Normal
<input type="checkbox"/>	Responsivity	1	A/W	Normal
<input type="checkbox"/>	Dark current	10	nA	Normal

Buttons: OK, Cancel, Evaluate Script, Load..., Save As..., Security..., Help

Figure 3.17 : Parametres caractéristiques d'un Rx

- e) **Amplificateur optique** : Il est pour rôle d'amplifier simultanément plusieurs signaux multiplexés en longueurs d'onde. Ces paramètres caractéristiques sont présentés dans le tableau suivant :

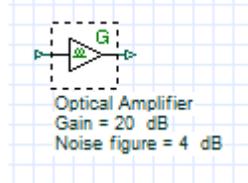


Figure 3.18 : Modele de simulation d'un amplificateur optique

Optical Amplifier Properties

Label:  Cost\$:

**Main** | Polarization | Simulation | Noise | Random numbers

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	Operation mode	Gain Control		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Gain	20	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Power	10	dBm	Normal
<input type="checkbox"/>	Saturation power	10	dBm	Normal
<input type="checkbox"/>	Saturation port	Output		Normal
<input type="checkbox"/>	Include noise	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Noise figure	4	dB	Normal

Buttons: OK, Cancel, Evaluate Script, Load..., Save As..., Security..., Help

Tableau 3.19 : Parametres caractéristiques d'un EDFA

- f) **Analyseur BER** : Le bloc 'BER analyser' nous permet de calculer le seuil de décision, évaluer le BER et le Q factor et nous permet encore de visualiser le digramme de l'œil.

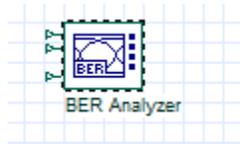


Figure 3.20 : Modele de simulation d'un analyseur BER

g) **CW Laser** : La source laser à semi-conducteurs CW doit fournir une lumière stable dans une bande passante étroite et spécifique qui transporte des données numériques modulées par un signal analogique.

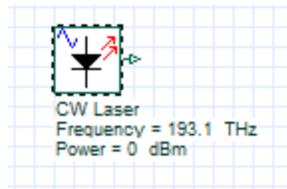


Figure 3.21 : Modele de simulation de CW Laser

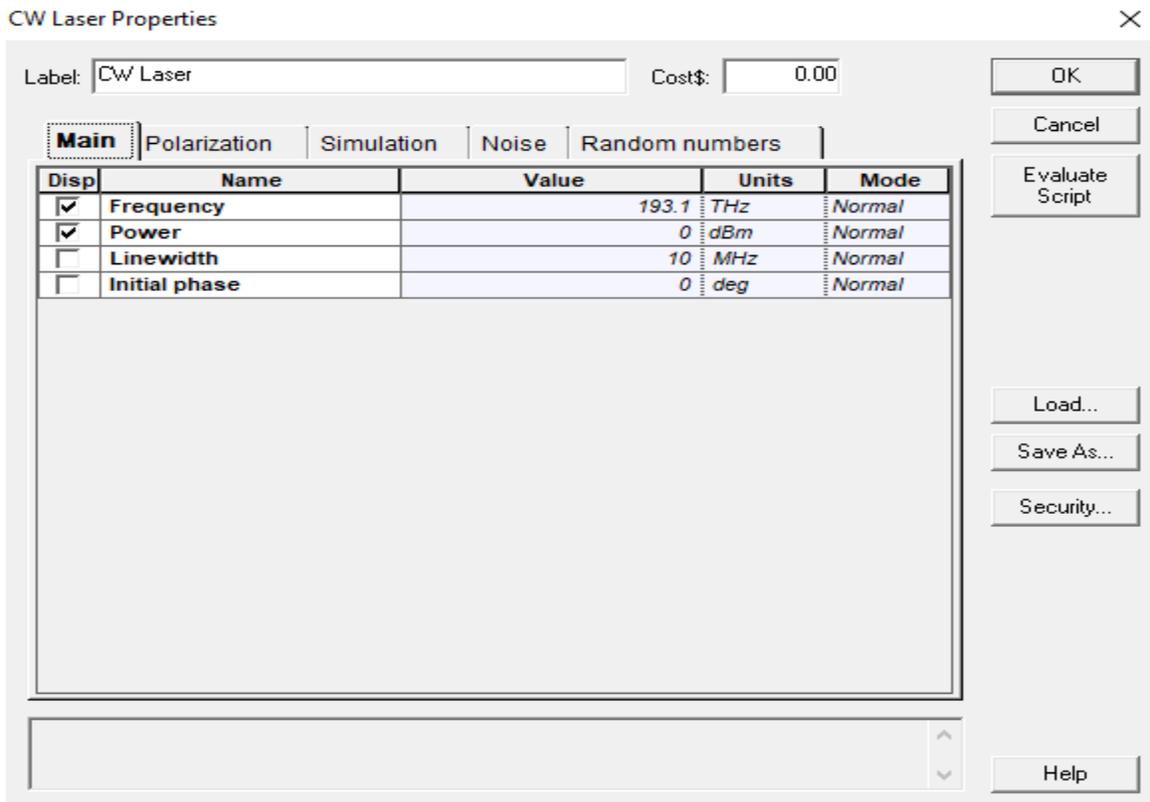
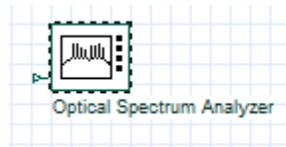


Figure 3.22: Parametres caractéristiques d'un CW Laser

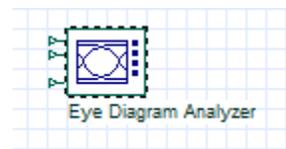
### h) Analyseur du spectre optique :



**Figure 3.23 :** Modele de simulation d'un analyseur du spectre optique

### i) Analyseur de diagramme de l'œil :

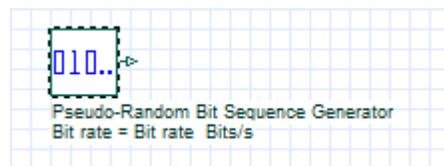
Il nous permet de visualiser la qualité d'un signal dans le domaine temporel en superposant un grand nombre de séquence au moyen d'un oscilloscope synchronisé sur le signal d'horloge de signal de données. Et pour superposer tous les bits il suffit de faire glisser temporellement chaque séquence bit à bit.



**Figure 3.24 :** Modele d'un diagramme de l'œil

**Remarque :** L'ouverture de l'œil caractérise le bruit et les distorsions de l'œil bien ouvert permettra au dispositif de démoduler les signaux transmis. Si l'ouverture de l'œil est fermée ça traduira inévitablement par de nombreux erreurs de transmission.

### j) Générateur d'une séquence binaire :



**Figure 3.25 :** Modele de simulateur du génerrateur d'une séquence binaire

C'est une information numérique dont les paramètres caractéristiques de la séquence binaire sont représentés dans le tableau suivant :

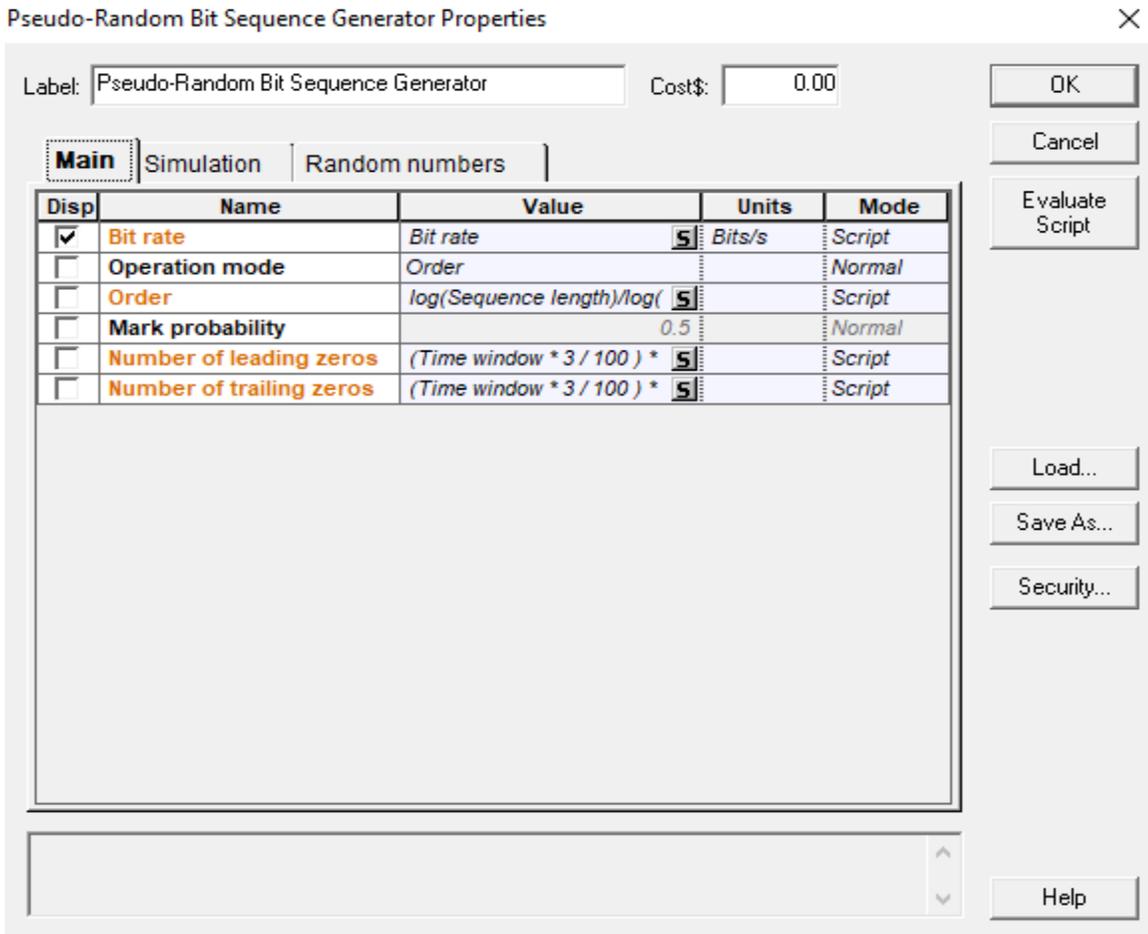


Figure 3.26 : Parametres caracteristiques du generateur d'une sequence binaire

k) Générateur NRZ :

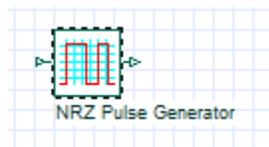


Figure 3.27 : Modele de simulation d'un generateur NRZ

Un signal optique modulé en NRZ est la copie conforme de signal binaire électrique. Un (0) est codé par un signal faible puissance. Un (1) est codé par un signal fort puissance.

L) Circulateur :

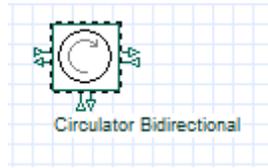


Figure 3.28 : Circulateur bidirectionnel

M) Emetteur WDM :

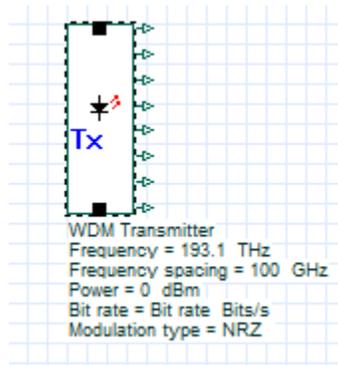


Figure 3.29 : Emetteur WDM

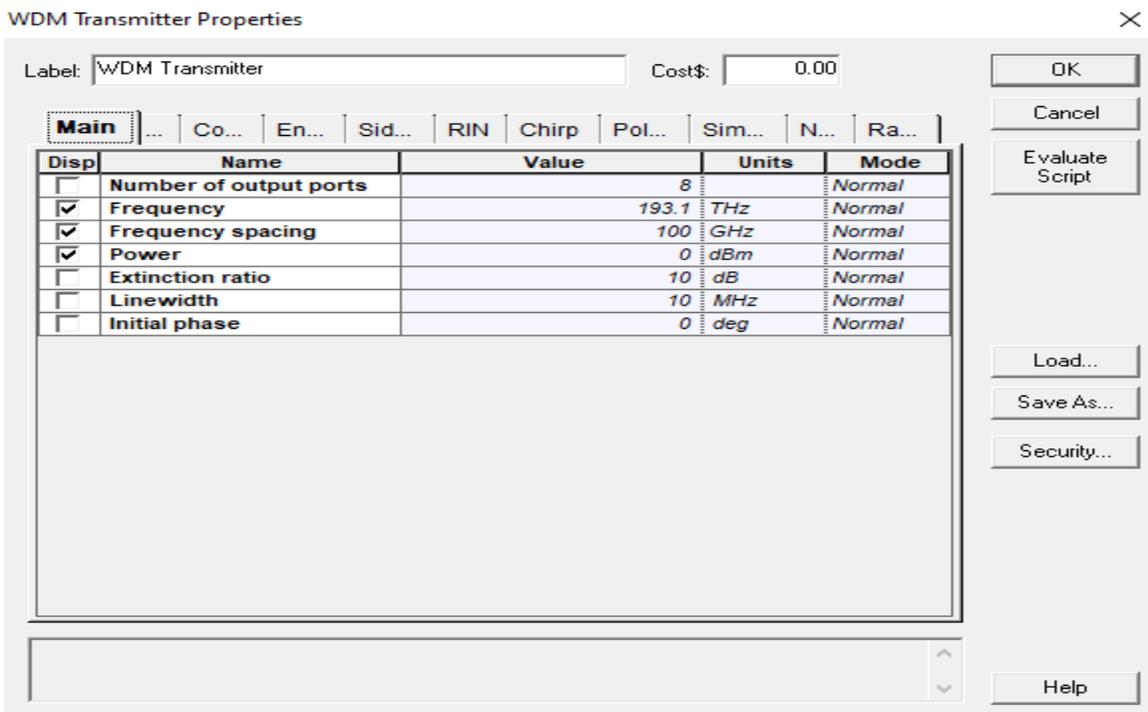


Figure 3.30 : Parametres caractéristique d'un émetteur WDM

## 9. RESULTATS DE SIMULATION ET INTERPRETATIONS

### 6.1 Étude et évaluation de la performance d'un système de communication optique

#### A) Premier scenario de la partie a :

On a effectué une simulation de transmission pour une canal, deux canaux et trois canaux.

La figure suivante represente la simulation d'une transmission pour un canal.

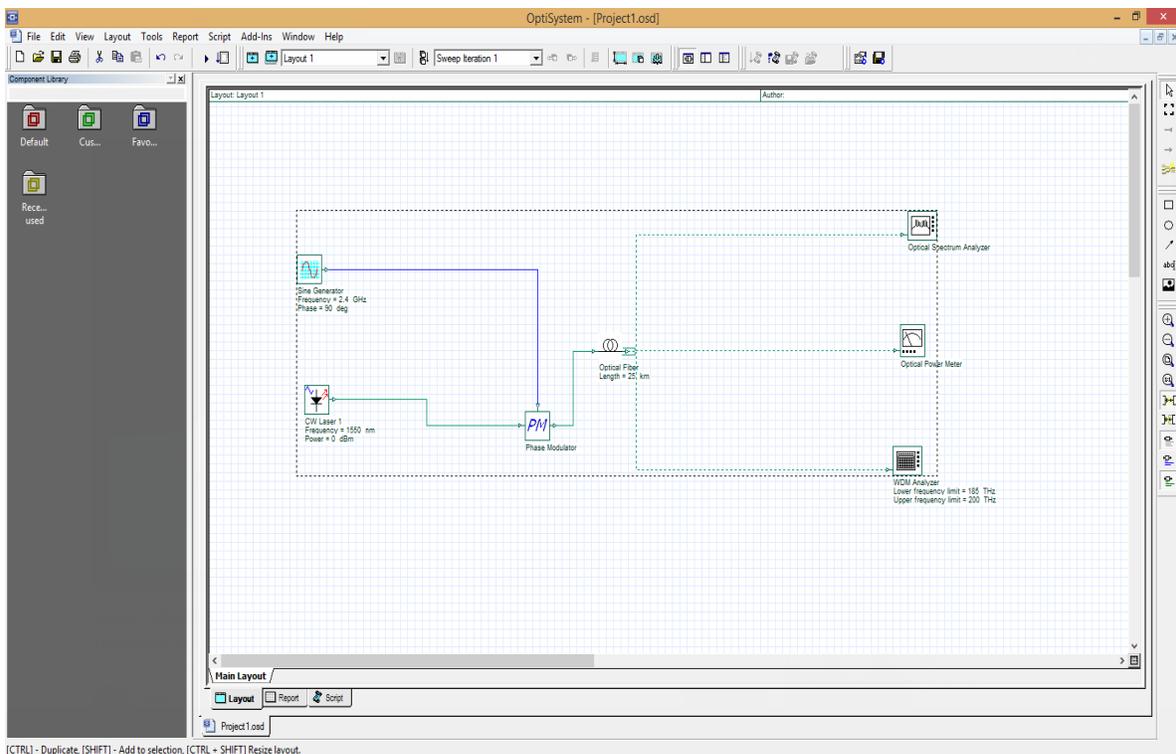


Figure 3.31 : Simulation d'une transmission pour un canal

La figure suivante représente la simulation du spectre à l'entrée de la fibre

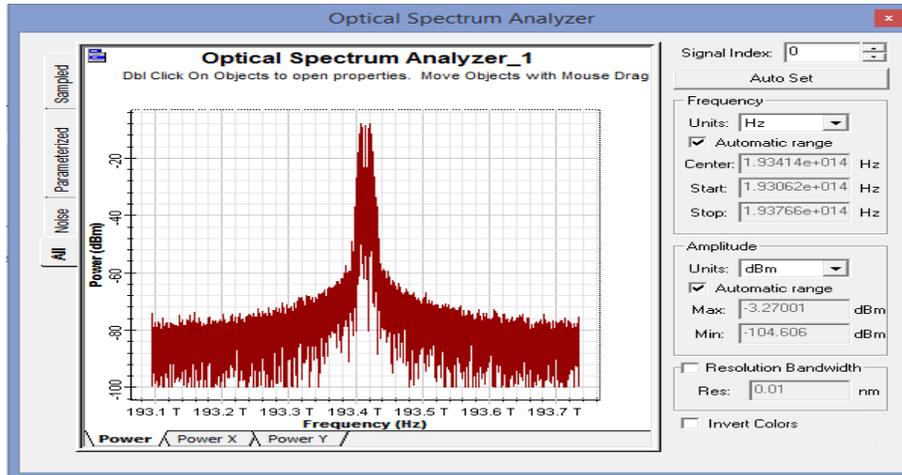


Figure 3.32 : Le spectre à l'entrée de la fibre

La figure suivante représente la simulation du spectre à la sortie de la fibre

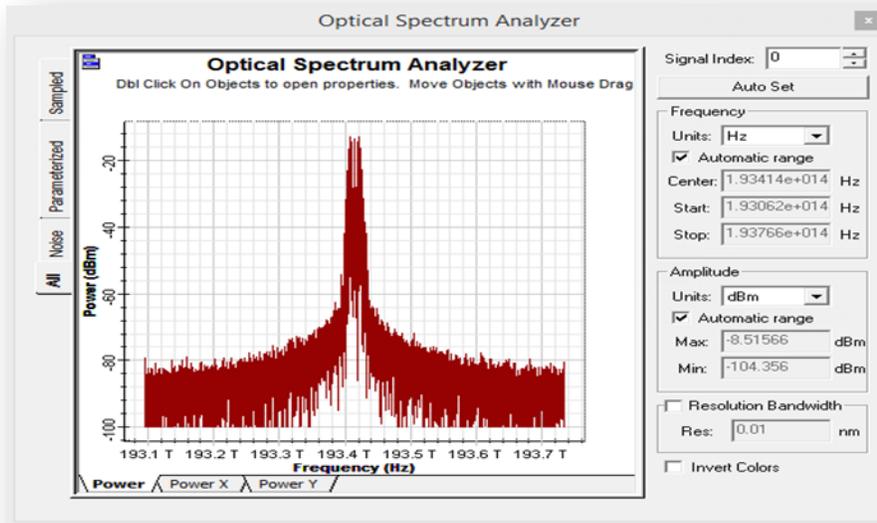


Figure 3.33 : Le spectre à la sortie de la fibre

La figure suivante représente la simulation d'une transmission pour deux canaux :

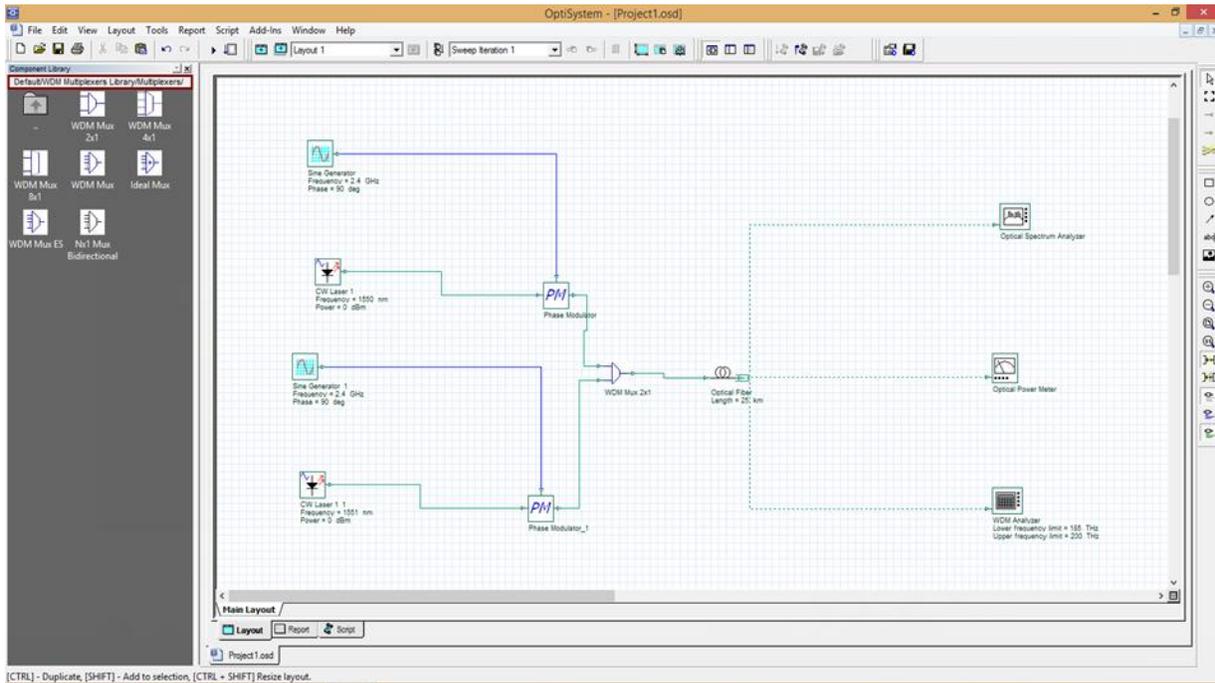


Figure 3.34 : Simulation d'une transmission pour deux canaux

La figure suivante représente la simulation de spectre du signal à l'entrée de la fibre

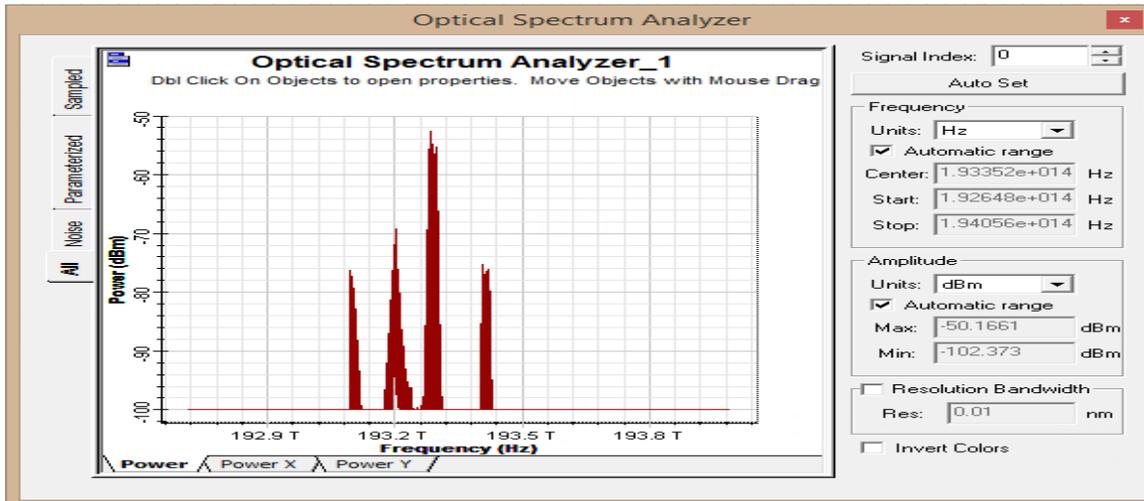


Figure 3.35 : Le spectre du signal à l'entrée de la fibre

La figure suivante représente la simulation du spectre du signal à la sortie de la fibre

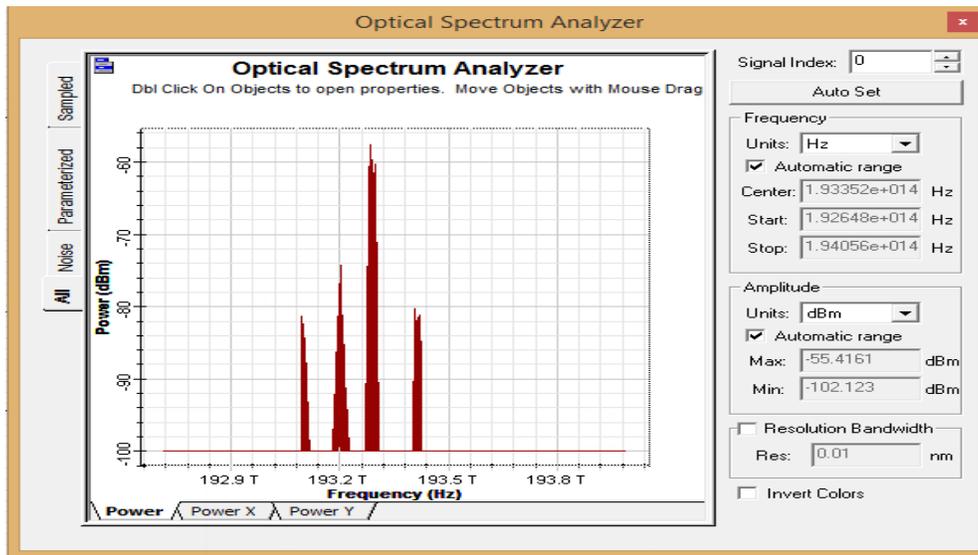


Figure 3.36 : Le spectre du signal à la sortie de la fibre

La figure suivante représente la Simulation d'une transmission pour 3 canaux :

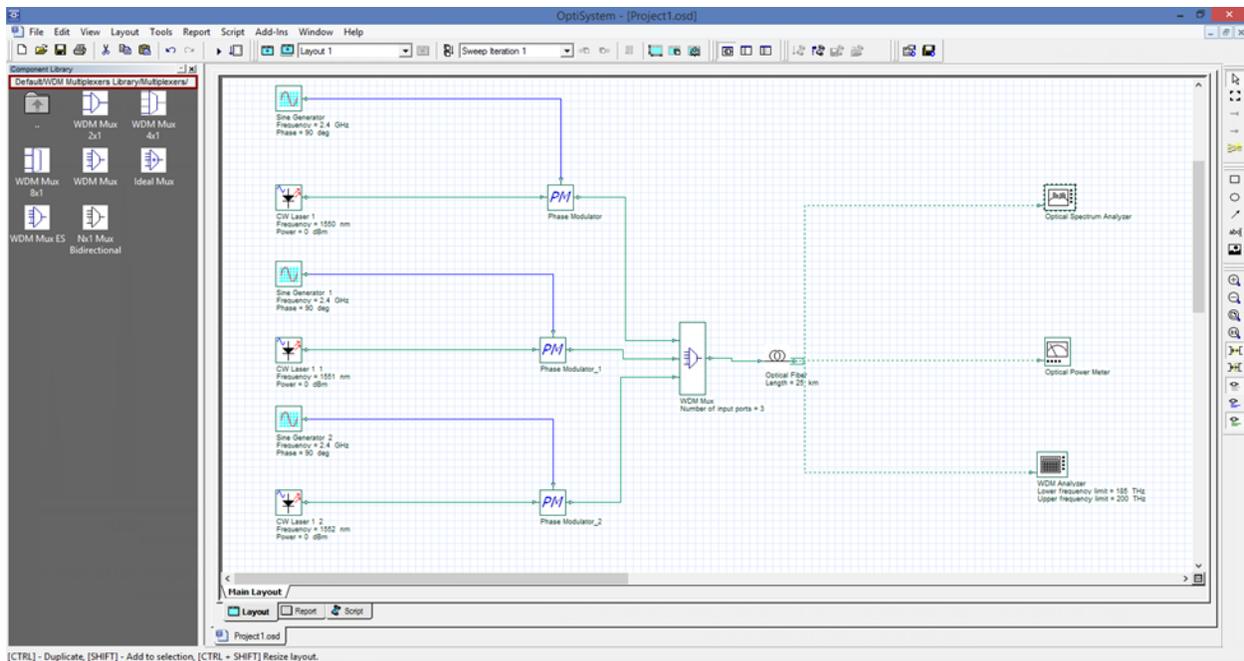


Figure 3.37 : Simulation d'une transmission pour 3 canaux

La figure suivante représente la simulation du spectre du signal à l'entrée de la fibre

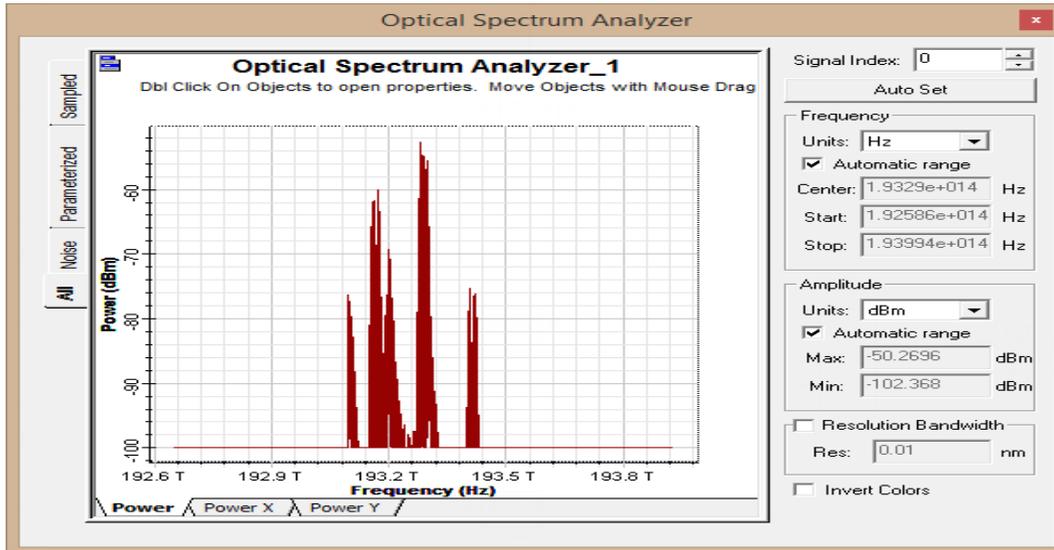


Figure 3.38 : Le spectre du signal à l'entrée de la fibre

La figure suivante représente la simulation du spectre du signal à la sortie de la fibre

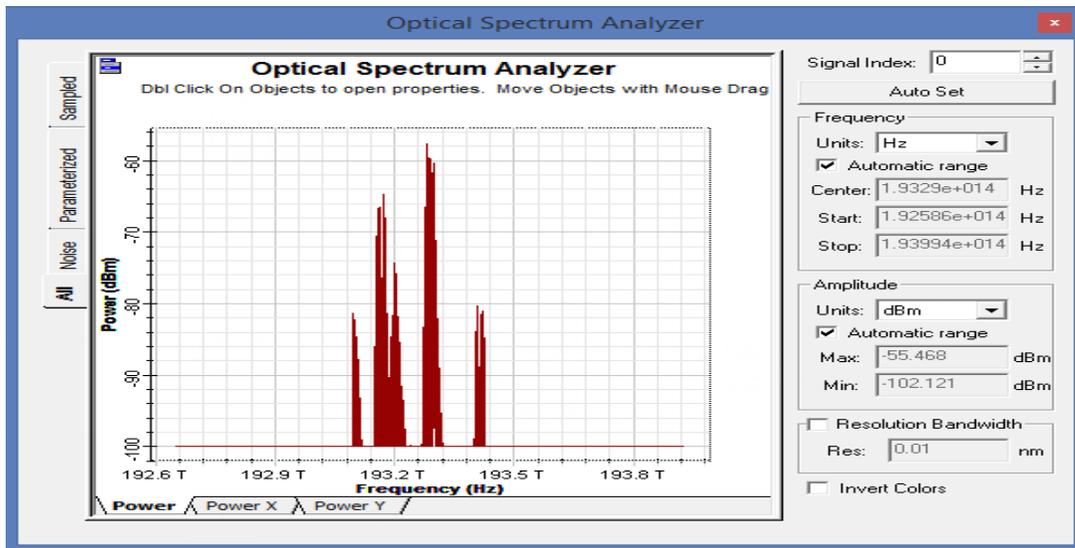


Figure 3.39 : Le spectre du signal à la sortie de la fibre

## **B)Deuxième scenario de la partie B :**

Le système de communication optique que nous allons étudier ici, se compose de trois sections, à savoir l'émetteur optique, le canal de propagation de la fibre optique et le récepteur optique, comme il est indiqué sur la figure 2.28 (voir le chapitre2), Modèle de la réalisation conceptuelle PON-WDM Bidirectionnelle WDM RF Avionique Cependant, ce système possède le même émetteur optique OLT avec différents canaux pour différents récepteurs optiques ONUs. Pour simuler notre premier scénario, nous nous basons sur les paramètres de simulation suivants (voir le tableau 3.1) :

**Tableau 3.1** : les paramètres de simulation

Sections	Paramètres	Descriptions
Emetteurs	<b>Débit de transmission</b>	622.08 Mbits/s
	<b>Puissance optique</b>	30 mW
	<b>longueur des séquences</b>	128 Bits
	<b>Type modulation</b>	NRZ
	<b>Nombre d'échantillons par bit</b>	10000000000 Bits/s
Canal de Fibre optique	<b>Distance de la liaison</b>	0.1 KM
	<b>Atténuation</b>	0.2 dB/Km

### **10. Résultats et discussions du Deuxième scenario du Partie B**

#### **a. Simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM avec 4 canaux**

Dans ce scénario, nous allons présenter les résultats obtenus d'une analyse d'un système de communication optique à WDM-RF. Pour les scénarios proposés sont étudiés et évalués en termes de facteur Q et de BER.

Dans cette partie B nous avons étudié et évalué la performance d'une liaison optique, pour différentes valeurs d'atténuation.

On a enregistré les points suivants :

- L'augmentation de paramètre d'atténuation cause une perte d'énergie du signal reçu au niveau de chaque récepteur ONU, ce qui résulte une forte augmentation du taux d'erreur de bit (BER) et une forte diminution de facteur-Q de transmission, et cela quel que soit le type du canal fibre optique bidirectionnel .
- La valeur d'atténuation 0.2 dB/km présente de bons résultats lorsque nous voulons réaliser une liaison optique qui s'approche du cas réel.

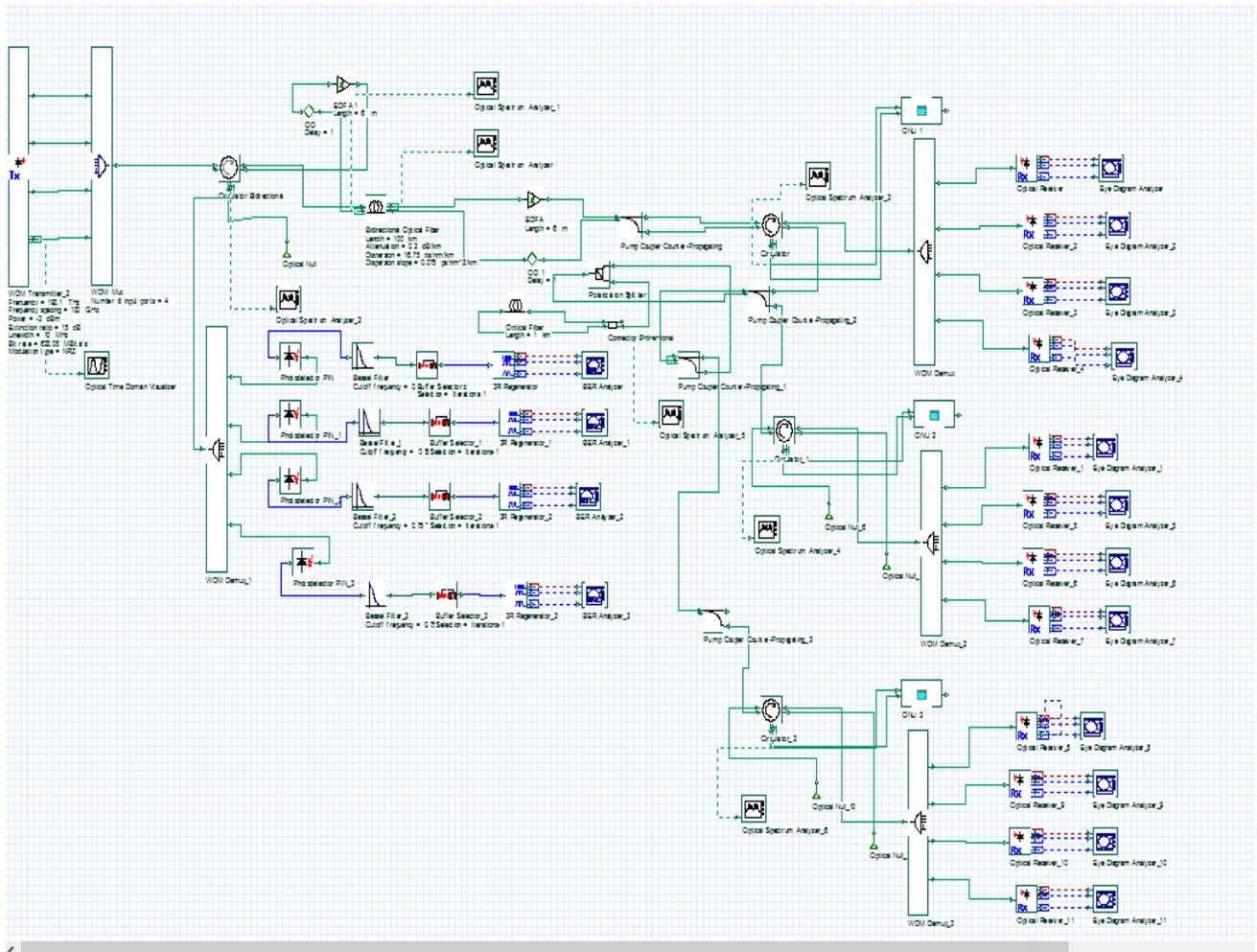


Figure 3.40 : Simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM avec 4 canaux

**b. Description de la figure (3.26) de simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM avec 4 canaux**

• **Partie émission :**

La figure suivante représente bloc Emetteur TX avec une bande passante de 100 GHz

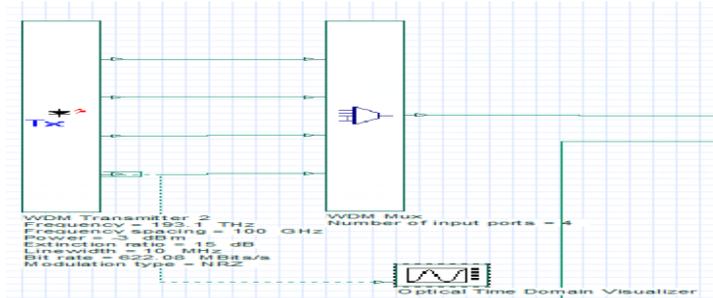


Figure 3.41 : Emetteur TX avec une bande passante de 100 GHz

La figure suivante représente bloc du Temps optique du signal à l'émission

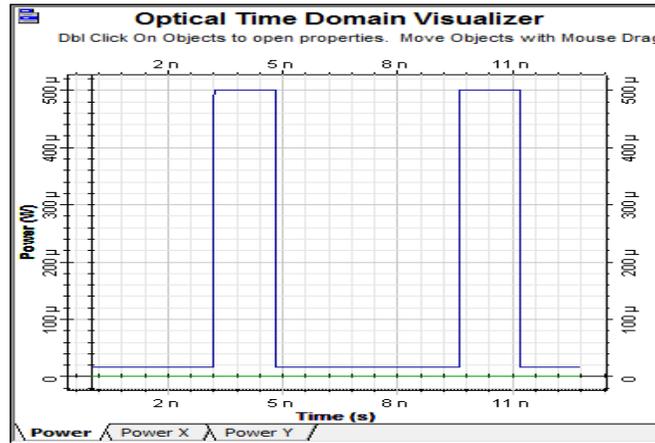


Figure 3.42 : Temps optique du signal à l'émission

- **Partie du canal de la transmission par liaison optique :**

La figure suivante représente le bloc de transmission bidirectionnelle

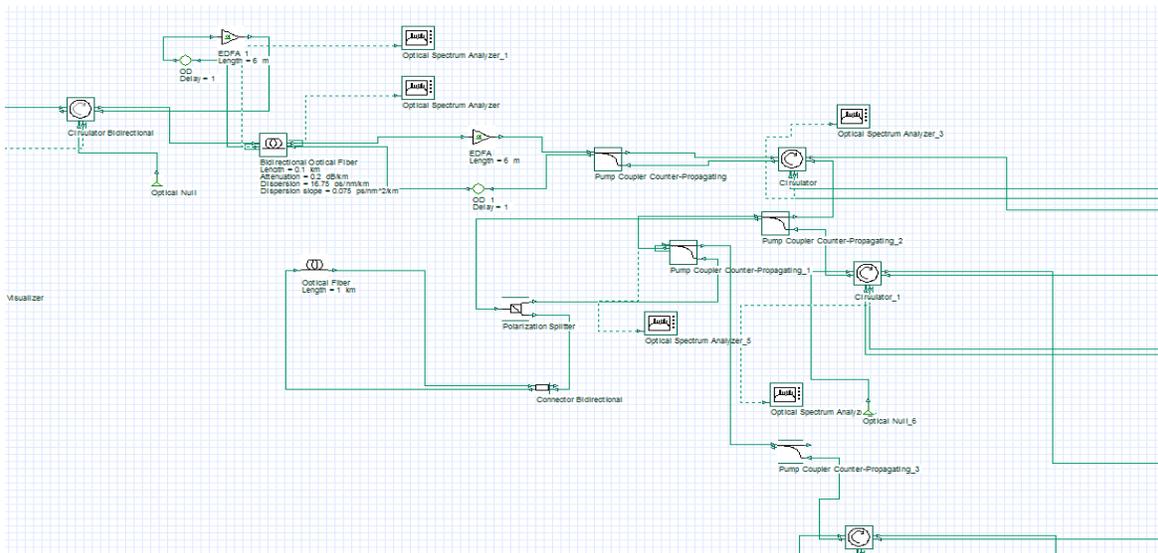


Figure 3.43 : le bloc de transmission bidirectionnelle

La figure suivante représente le spectre du signal à l'entrée de la fibre

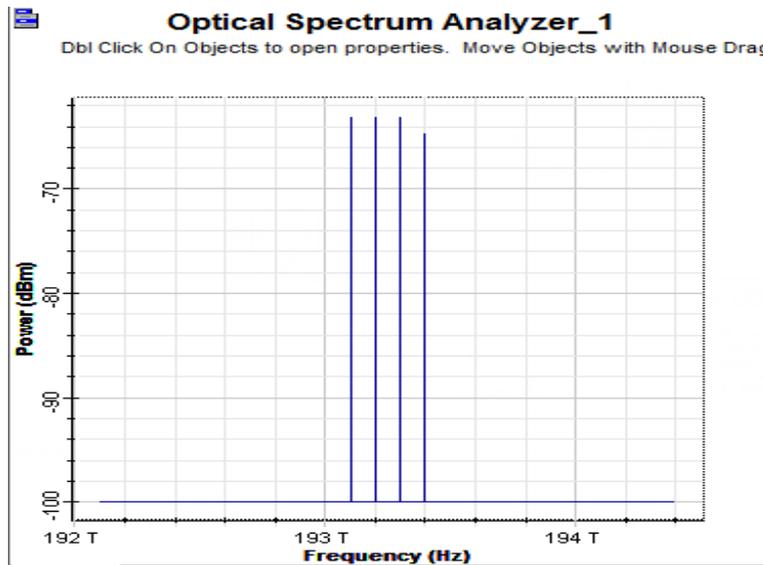


Figure 3.44 : Le spectre du signal à l'entrée de la fibre

La figure suivant représente le spectre du signal à la sortie de la fibre

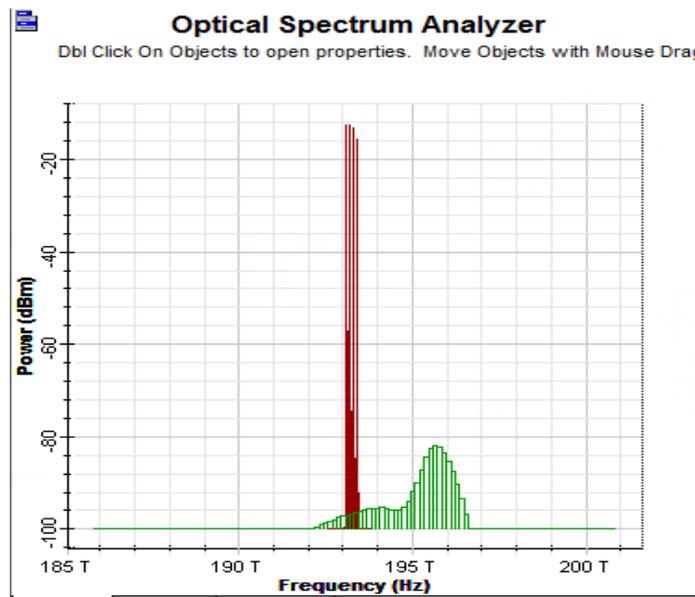
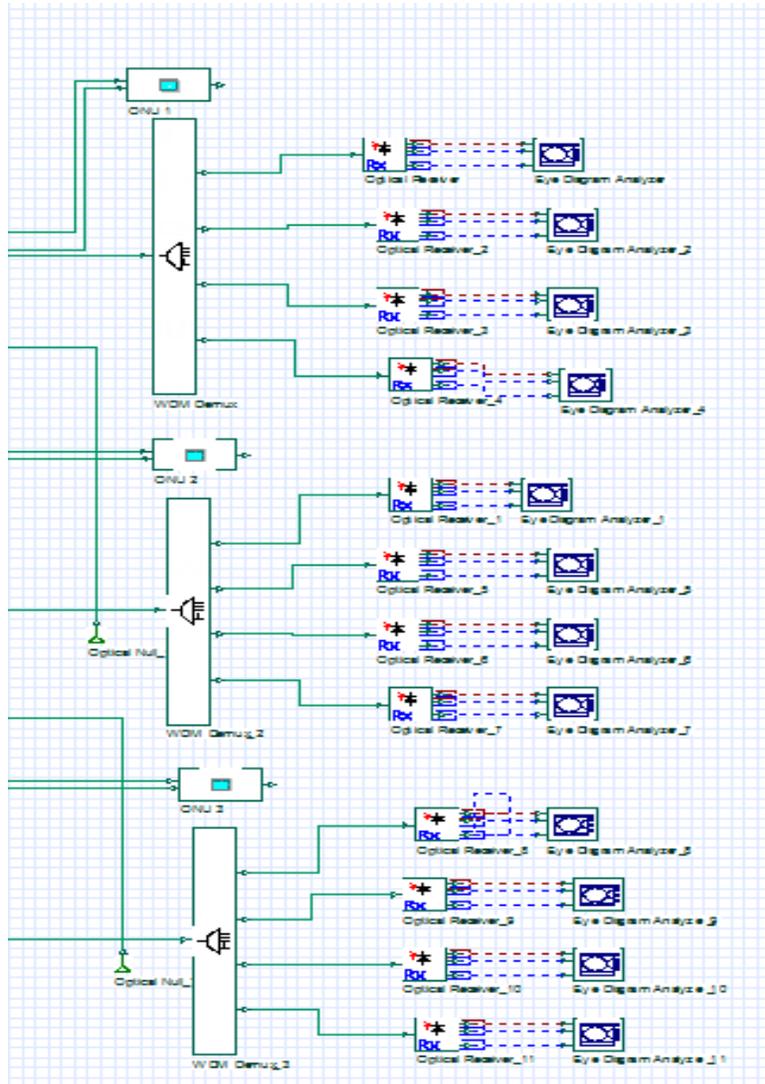


Figure 3.45 : Le spectre du signal à la sortie de la fibre

- **Partie réception :**

La figure suivante représente le spectre du signal à la sortie de la fibre



**Figure 3.46 :** Partie réception de la liaison optique de trois UNO avec 4 RX

• Partie retour DWDM :

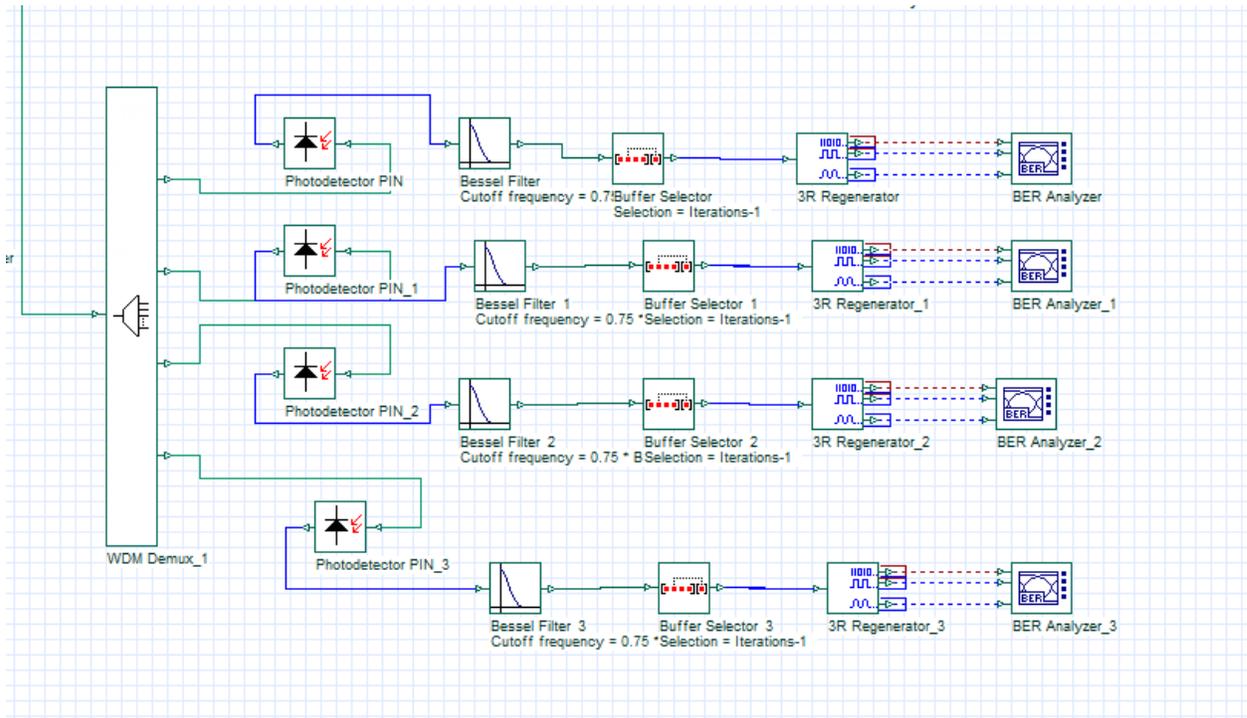
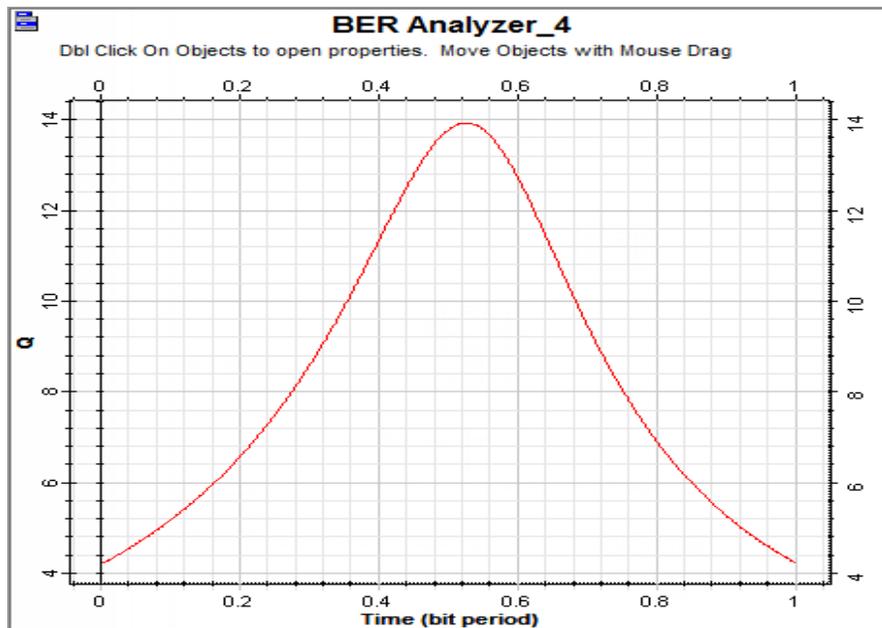


Figure 3.47 : Partie retour DWDM

**C. SYNTHÈSE DES RESULTATS**

Puisque, on a noté que la performance d'une liaison optique dégradée quand le BER devenu supérieur à  $10^{-9}$ , pour cela nous avons constaté les points suivants :

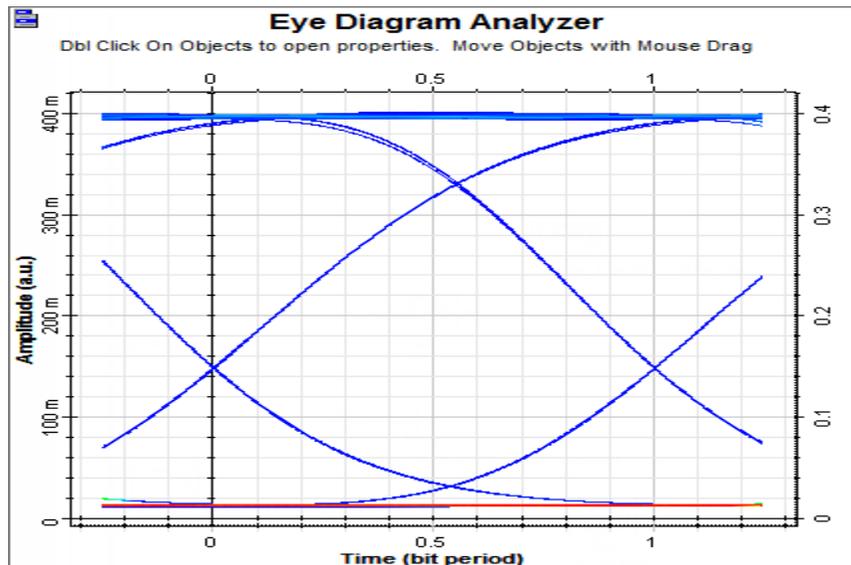
La figure suivant représente l'Evolution du facteur de qualité (Q) pour une liaison WDM bidirectionnelle pour le premier récepteur Résultat (OLT, UNO1, WDM/DWDM) avec Facteur-Q =4.56 et BER = 7.85\*bite rat



**Figure 3.48 :** Evolution du facteur de qualité (Q) pour une liaison WDM bidirectionnelle pour le premier récepteur Résultat (OLT, UNO1, WDM/DWDM)

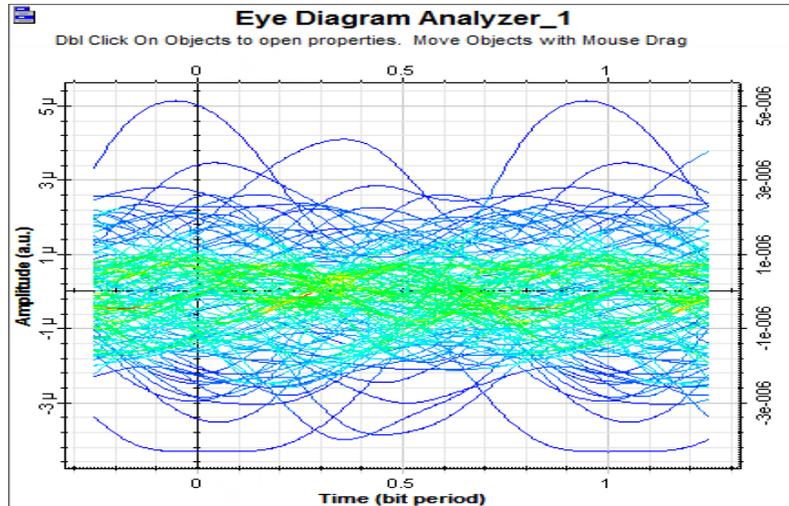
Avec Facteur-Q =4.56 et BER = 7.85\*bite rat

La figure suivant représente le Diagramme de l’œil pour une liaison PON-WDM bidirectionnelle pour le premier récepteur (RX-1) de ONU 1 avec -Q =4.56 et BER = 7.85\*bite rat



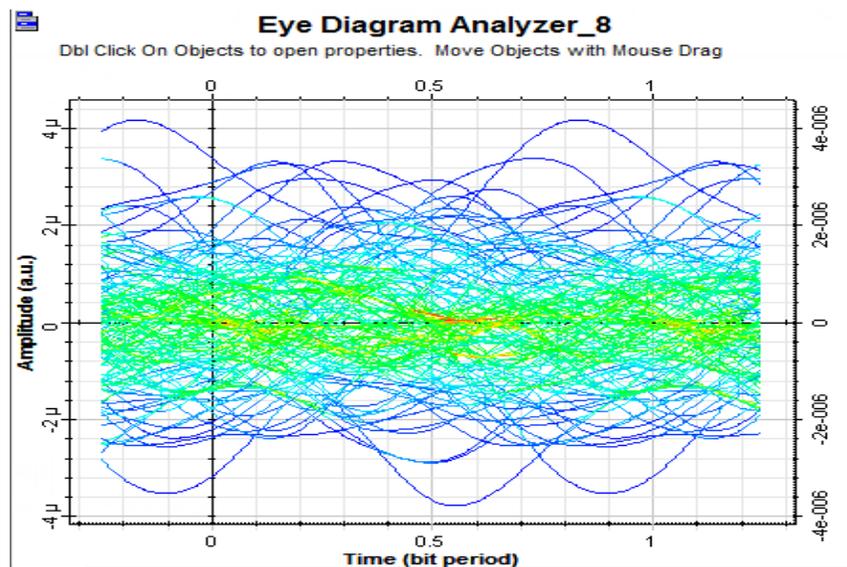
**Figure 3.49 :** Diagramme de l’œil pour une liaison PON-WDM bidirectionnelle pour le premier récepteur (RX-1) d’ONU 1 Avec Facteur-Q =4.56 et BER = 7.85\*bite rat

La figure suivant représente le Diagramme de l'œil pour une liaison PON- WDM bidirectionnelle pour le premier récepteur (RX-5) de ONU 2 avec Facteur-Q =4.56 et BER =  $7.85 \times 10^{-6}$  bite rat



**Figure 3.50** : Diagramme de l'oeil pour une liaison PON- WDM bidirectionnelle pour le premier récepteur (RX-5) d'ONU 2  
Avec Facteur-Q =4.56 et BER =  $7.85 \times 10^{-6}$  bite rat

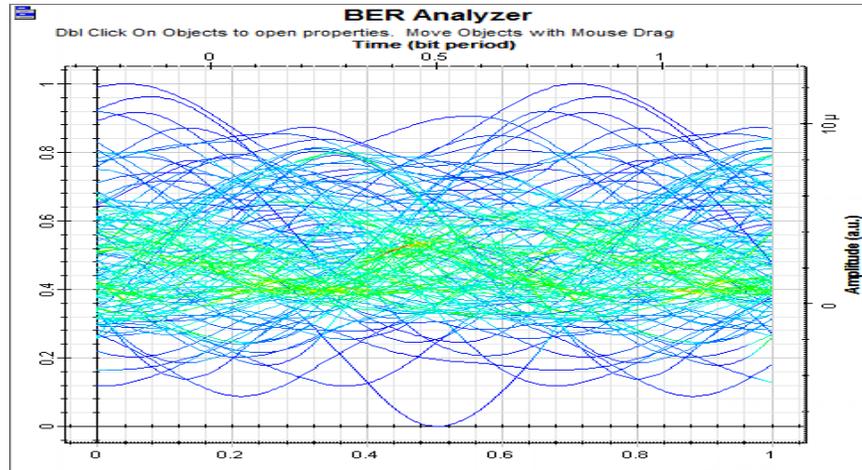
La figure suivant représente le Diagramme de l'œil pour une liaison PON-WDM bidirectionnelle pour le premier récepteur (RX-9) de ONU 3 Facteur-Q =4.56 et BER =  $7.85 \times 10^{-6}$  bite rat



**Figure 3.51** : Diagramme de l'œil pour une liaison PON-WDM bidirectionnelle pour le Premier récepteur (RX-9) d'ONU 3  
Avec Facteur-Q =4.56 et BER =  $7.85 \times 10^{-6}$  bite rat

- **Résultat phase retour du bloc DWDM à l'émission :**

La figure suivante représente le Diagramme de l'oeil pour une liaison PON-WDM bidirectionnelle pour le retour de perception, Avec Facteur-Q =4.56 et BER = 7.85\*bite rat



**Figure 3.52 :** Diagramme de l'œil pour une liaison PON-WDM bidirectionnelle pour le retour de perception avec Facteur-Q =4.56 et BER = 7.85\*bite rat

Les figures précédentes, montre les diagrammes de l'œil pour les différents cas pour un format de modulation NRZ. Chaque canal illustre leur performance selon les deux métriques : facteur de qualité Q et BER.

### c) Troisième scenario du Partie C :

#### 11. Résultats et discussions du troisième scenario du Partie C

##### a. Simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM avec 4 canaux

Dans ce scénario, nous allons présenter les résultats obtenus d'une analyse d'un système de communication optique à WDM-RF. Pour ce scénario proposé, on a étudié les termes de facteur **Q** et de **BER**.

Dans cette **partie C** nous avons étudié et évalué la performance d'une liaison optique, pour différentes valeurs d'atténuation.

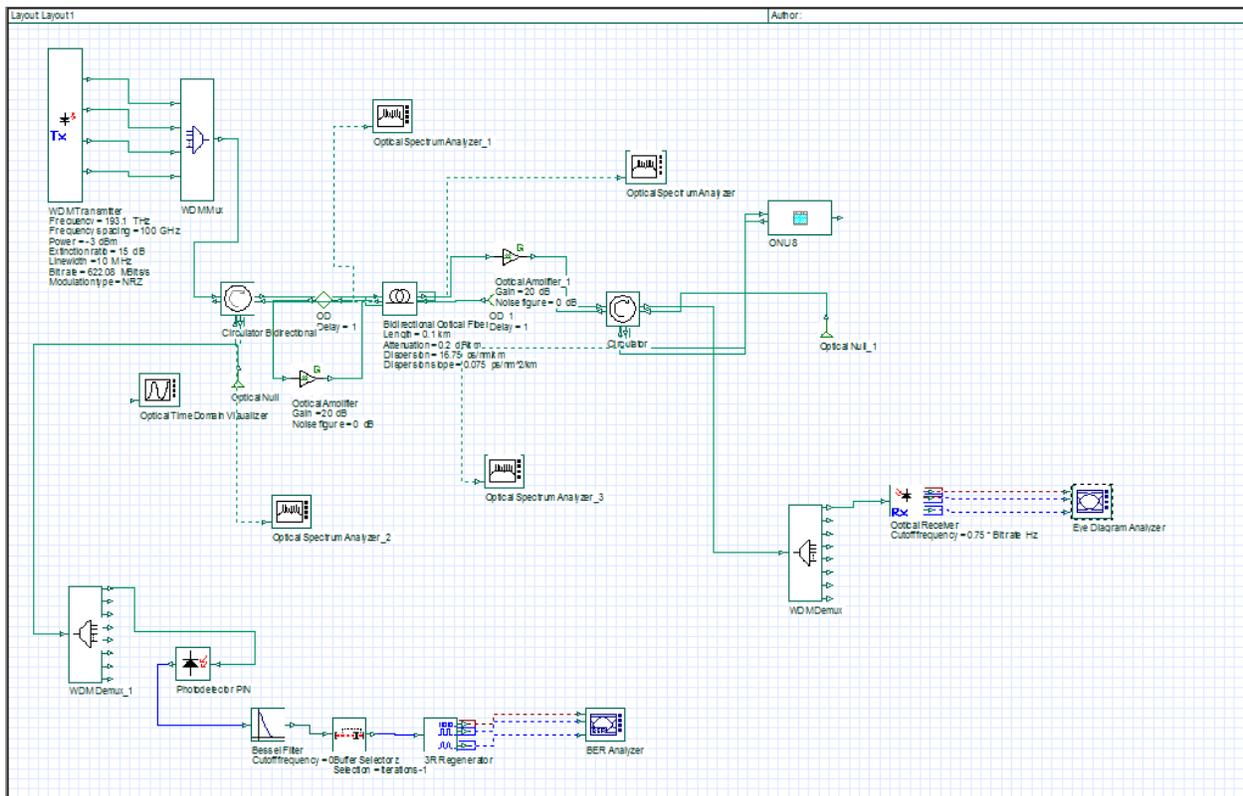


Figure 3.53 : Simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM avec 4 canaux avec un seule RX

**b. Description de la figure (3.53) de Simulation de transmission bidirectionnelle en PON WDM avec 4 canaux**

12. Partie émission :  
 Emetteur Tx avec les mêmes caractéristiques de la partie C

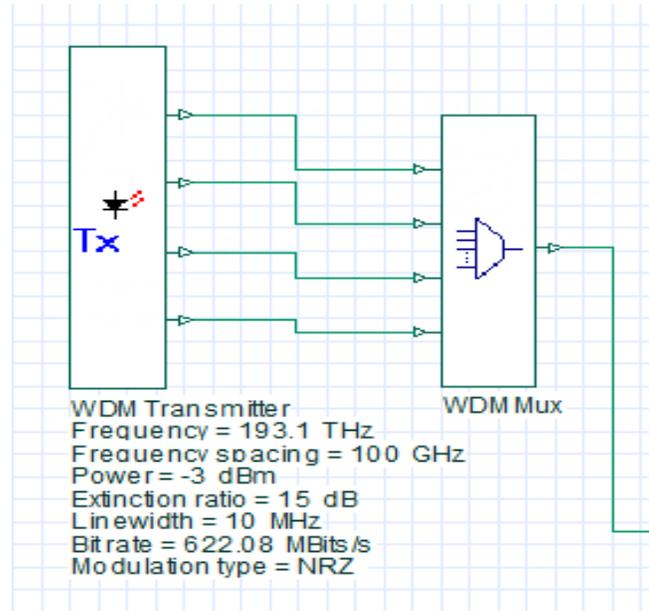


Figure 3.54 : Emetteur Tx

La figure suivant représente bloc du Temps optique du signal à l'émission

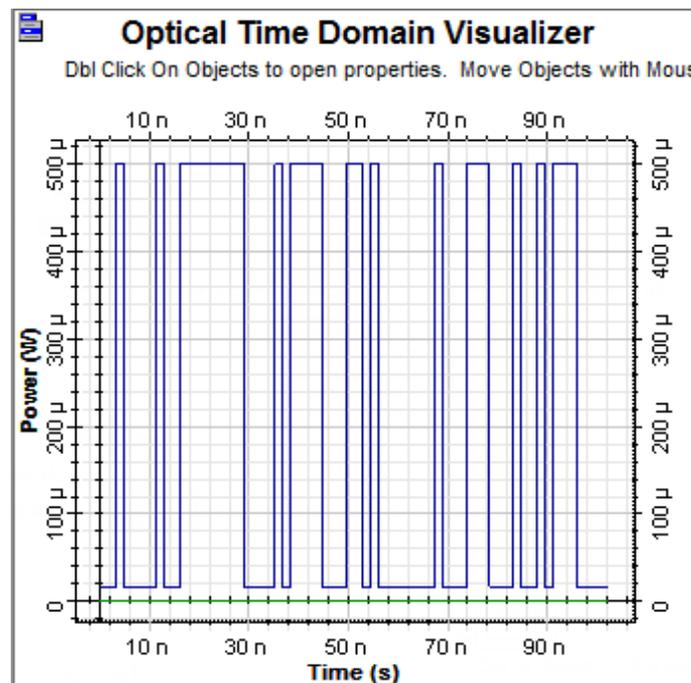


Figure 3.55 : Temps optique du signal à l'émission

- **Partie du canal de la transmission par liaison optique :**

La même chaine de transmission utilisé dans scénario c

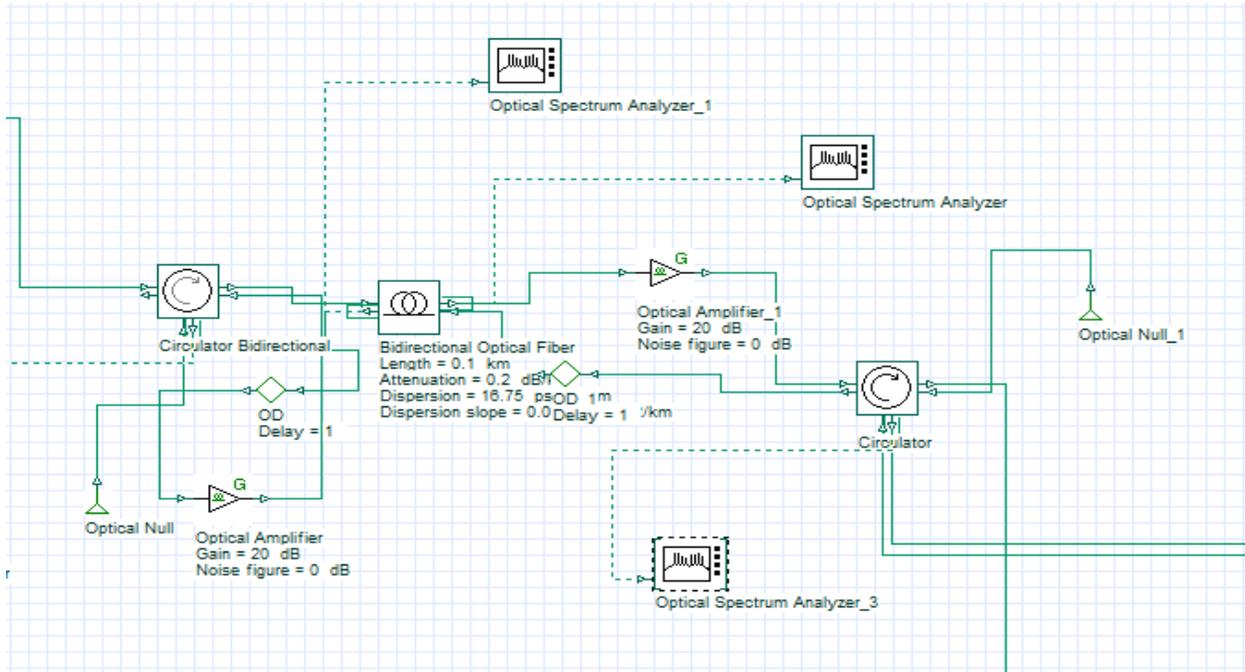


Figure 3.56 : milieu de transmission bidirectionnelle

- **Partie réception :**

La réception optimisée avec un seul UNO et Rx

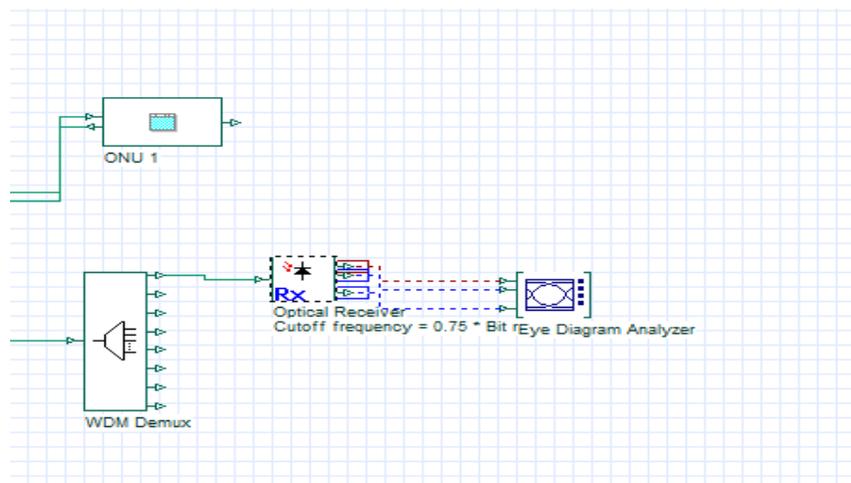


Figure 3.57 : Partie réception de la liaison optique du un UNO avec un Rx

1. SYNTHÈSE DES RESULTATS :

Le facteur de qualité Q après la minimisation des UNO et récepteur

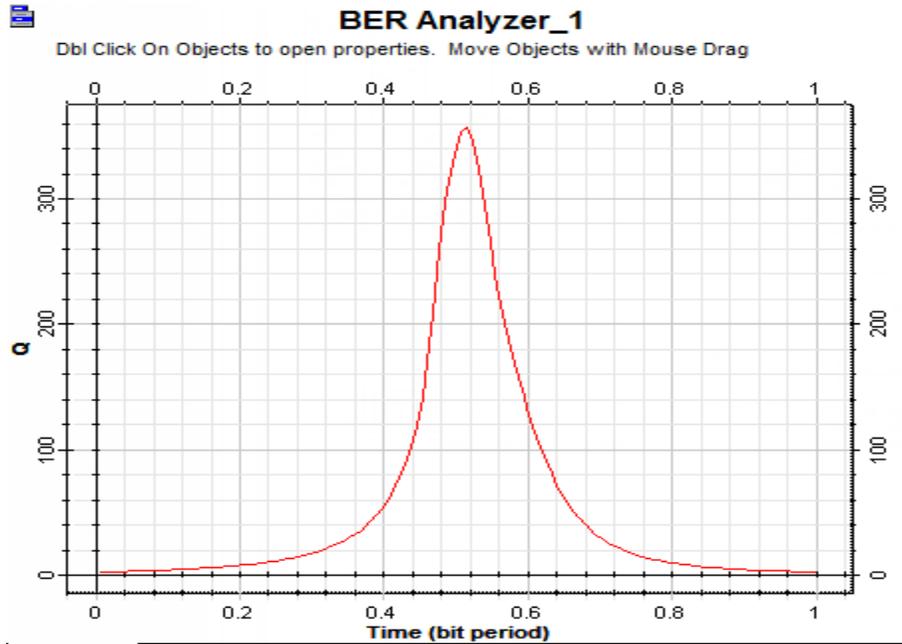


Figure 3.58 : le facteur de qualité Q

LE DIAGRAMME DE L'OEIL :

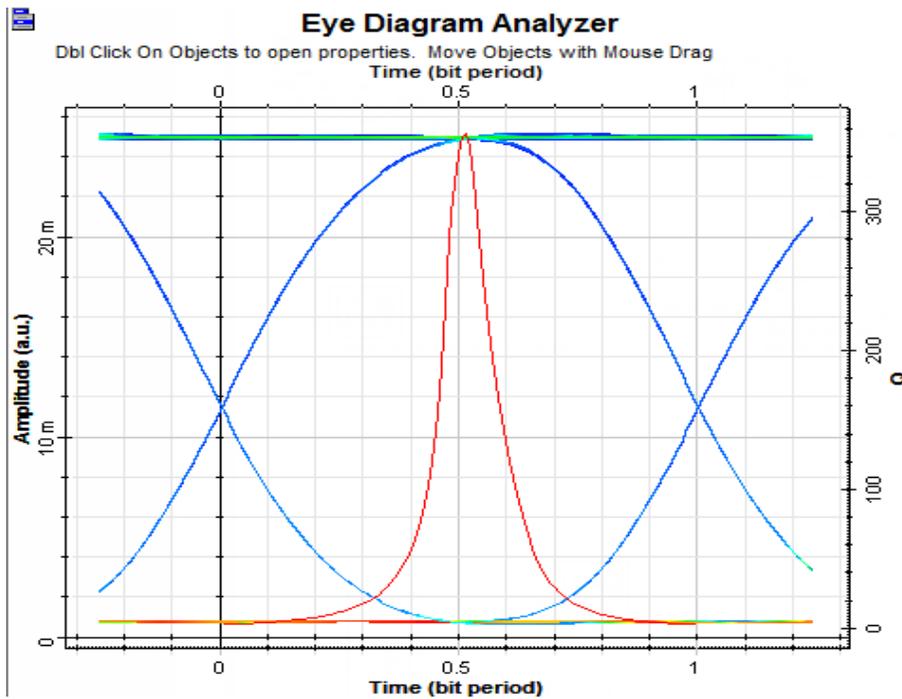


Figure 3.59 : Diagramme de l'œil pour une liaison WDM bidirectionnelle 4 CANAUX

- Phase retour DWDM :

La partie retour du signal on va voir le diagramme obtenu et le facteur de qualité

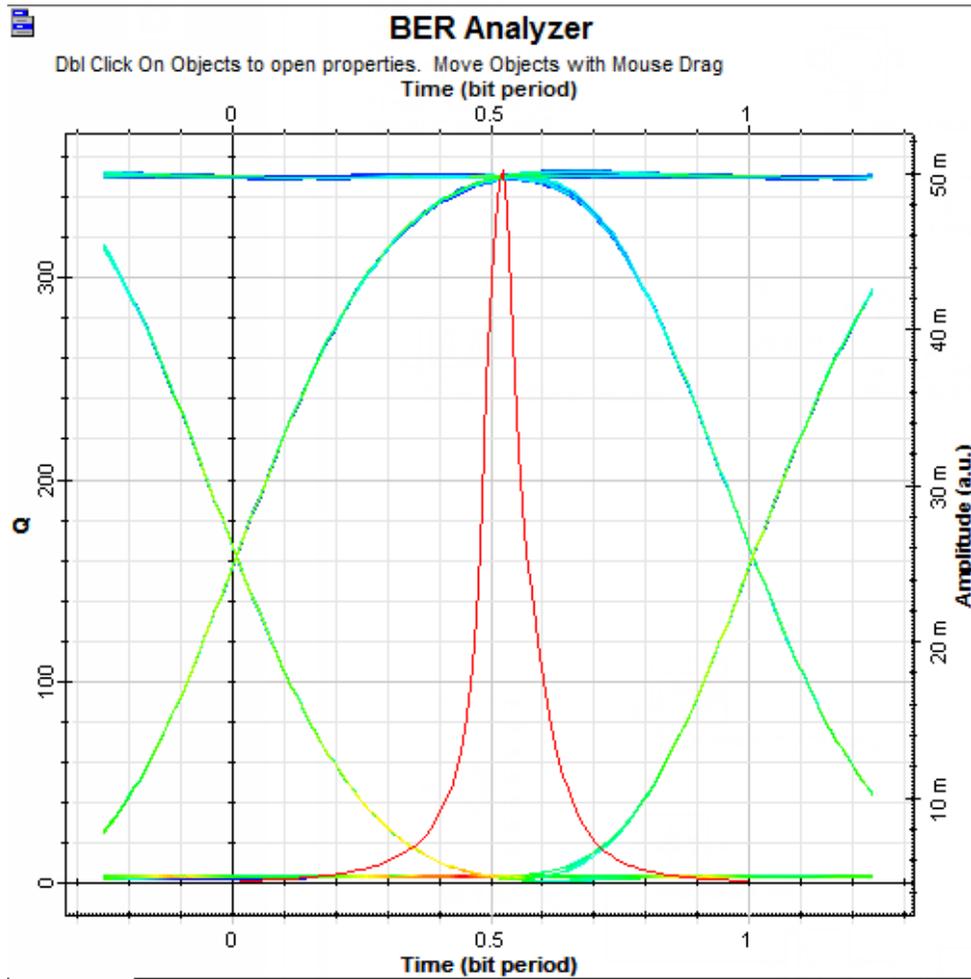


Figure 3.60 : Evolution du facteur de qualité (Q) et le diagramme de l'œil pour la liaison PON WDM bidirectionnelle

### Commentaire :

- Après le passage du signal lumineux (photons) par photodiode il va se transformèrent signal électrique, donc à partir du signal lumineux détecte en sortie de fibre optique .elle est en effet en mesurée détecter le signal optique et le transformer en signal exploitable. Bon sensibilité aux longueurs d'onde utilisées. rapidité de détection pour supporter des débits supérieurs à 100 G bit/s.
- On voit dans cette partie des simulations, que le diagramme obtenu à la réception est le même de celui de la phase retour avec un facteur de qualité très bon.

## 10. CONCLUSION :

Dans cette investigation, la performance du système de communication de type système bidirectionnel en termes de facteur Q, BER et performance de digramme de l'œil. En outre, nous avons constaté que lorsque l'atténuation augmente, la performance d'une liaison optique est dégradée.

Perspective, Nous avons confirmé que l'augmentation de débit crée un problème majeur dans une liaison optique. Ce phénomène est connu sous le nom « la dispersion chromatique ». On a utilisé une fibre DCF pour résoudre ce type de problème.

## **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

La capacité des systèmes WDM a récemment augmenté spectaculairement, en raison de la multiplication du nombre de canaux. Maintenant, la DWDM n'a pas encore atteint ses limites. De nouvelles techniques se développant vont permettre de multiplier encore plus les capacités des systèmes optiques.

La WDM ait battu de nouveaux records en matière de débit, elle est sans concurrence du point de vue de la capacité car le coût de la fibre et des matériaux ne cesse de baisser avec des portées toujours plus longues. Pour accroître la capacité, on peut augmenter le nombre de canaux dans une fibre et en améliorant le débit par canal lors de l'émission dont les signaux analogiques sont séquentiellement multiplexés et ils sont à différents points sur le long de la fibre optique. Les données indiquent que le WDM est bien adapté aux applications avioniques.

On conclue que dans l'étude du système de la transmission optique appliquée dans le domaine avionique en Bus ARINC en transmission numérique, exemple radio fréquence est très important pour échanger les informations, cette étape consiste à avoir des différents chemins Unidirectionnel et Bidirectionnel. Cette dernière est basée sur la technique du PON optique pour éviter les collisions. L'objectif visé pour étudier une chaine de transmission optique WDM Bidirectionnelle et ses performances et tout appliqué sous Simulink OptiSystem, ainsi que pour trouver le schéma de bloc le plus correspondant aux bons résultats (le facteur de qualité et le diagramme de l'œil), par conséquent notre étude nous a montré les performances de la méthode bidirectionnelle, donc la technique bidirectionnelle est applicable.

**PERSPECTIVES :**

- **Le propos des hauts systèmes pour la prochaine génération tel que le système de transmission WDM RF PON à haut débit avec une sécurisation des données et son implémentation dans le domaine avionique**

## **BIBLIOGRAPHIE**

**BIBLIOGRAPHIES**

- [1] Eoin Murphy , Wavelength Agnostic WDM Strategies for Avionic Telecommunications, A thesis submitted for the Degree of Doctor of Engineering, University of Strathclyde, October 2014
- [2] D. E. Anderson, M.W. Beranek '777 Optical LAN technology review', Electronic Components and Technology Conference 1998, pp 386-390.
- [3] Eurofighter Typhoon technical guide, page 28, from [www.eurofighter.com/downloads/TecGuide.pdf](http://www.eurofighter.com/downloads/TecGuide.pdf) retrieved 27/8/14.
- [4] The Application of Fiber Optic Wavelength Division Multiplexing in RF Avionics, Ngo Duc, Hung Nguyen, Mohammed Atiquzzaman, James Sluss, <https://www.researchgate.net/publication/24328530>, december 2004
- [5] Student, M.Tech Communication Engineering, Professor, SENSE Department, Vellore Institute of Technology, Chennai
- [6] P. Chanclou, A. Cui, F. Geilhardt, H. Nakamura et D. Nettet, "Network Operator Requirements for the Next Generation of Optical Access Networks", IEEE Network, vol. 26, no. 2, pp. 8 – 14, 2012.
- [7] AhmadrezaAmirzadeh. Amélioration de la sécurité et de la fiabilité des systèmes de communication sans fil. Maîtrise en génie électrique Maître ès sciences (M. Sc.). Québec, Canada. 2017
- [8] Les réseaux informatique les modèles OSI et TCP wikilivres wikibooks.org
- [9] Günther Mahlke/Peter Gössing – Siemens – Ed. Teknea.
- [10] Laurie Gordon (30 septembre 2013). "Focus sur la forme physique au coeur de Thor Labs". Le Sparta Indépendant. Récupéré le 23 février 2015.
- [11] Duc Ngo and Hung Nguyen , Mohammed Atiquzzaman& James J. Sluss, Jr., and Hakki H. Refai The Application of Fiber Optic Wavelength Division Multiplexing in RF Avionics, National Aeronautics and Space Administration , University of Oklahoma, University of Tulsa, National
- [12] Dipert, B., December, 2003, Fly with the Internet at your seat, EDN Magazine, pp. 41-47.
- [13] : Pinson G., « Physique Appliquée », [http:// www.syscope.net/elec/](http://www.syscope.net/elec/),2004  
Kamila ZERRAR Fatma OUZIA, Réseau de transport optique DWDM, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, Promotion: 2016 / 2017

- [14] Vinita ,A Comprehensive Review of Recent Advancement in Optical Communication Networks, Dept. of Electronics & Communication Engineering, Dr. A.P.J. Abdul Kalam University, Indore, India, 30/Sept/2018.
- [15] Jean louis VERNEUIL . Simulation de systèmes de télécommunication par Fibre optique à 40 Gbits/s, université de Limoges, Le Vendredi 21 novembre 2003.
- [16] Nassima BOUDRIOUA, Etude et optimisation D'une Chaîne de transmission Numérique sur Fibre optique Université Paul Verlaine –Metz ,25 octobre 2007.
- [17] FOGNO OUAMBO ,optimisation d'un Banc de Test Amplifié A 10Gb/s pour L'étude des Technologies Avancées de Transmission par Fibre optique , Baudelaire Montréal Le 15 Janvier 2008.
- [18] pierre André Bélanger « Les fibres optiques supplément d'électromagnétisme appliqué » université Laval canada.
- [19] SIDI ALI MEBARREK, « Télécommunications optique » office des publications universitaire alger 2001 ,
- [20] Alain COZANNET, Henri MAITR , Michel ROUSSEAU, « Optique et télécommunication » Eyrolles paris 1983
- [21] Fibre-optic network architectures for on-board digital avionics signal distribution, Mohammad F. Alam, Mohammed Atiquzzaman, Bradley D. Duncan, Hung Nguyen<sup>4</sup> and Richard Kunath, INTERNATIONAL JOURNAL OF COMMUNICATION SYSTEMS Int. J. Commun. Syst. 2002.
- [22] Mohammad F. Alam, Mohammed Atiquzzaman, Bradley D. Duncan, Hung Nguyen and Richard Kunath . INTERNATIONAL JOURNAL OF COMMUNICATION SYSTEMS Int. J. Commun. Syst. 2002; 15:175–190 (DOI: 10.1002/dac.526)
- [23] *A.V. Yulin, D.V., and P.St.J. Russell, "Four-wave mixing of linear waves and solitons in fibers with higher-order dispersion," Journal of lightwave technology, vol. 29, pp. 950- 955, March 2004*
- [24] Ooi. Sock, "Four wave mixing nonlinearity effect in wavelength division multiplexing system for radio over fiber," Bachelor thesis, University Technology Malaysia, 2007
- [25] Zeno Toffano, " Optoélectronique, Composant photoniques et fibres optiques ", Ellipses édition marketing S.A, 32 rue Bargue 75740 Paris cedex 15, Vol.316, 2001, ISBN 2-7298- 0703-9.
- [26] Mme. ARRIBI Meriem. Melle. ELMAHI Aicha. La technique WDM en télécoms optiques avancées. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de MASTER SPECIALITE: Télécommunications modernes. 23 JUIN 2016.
- [27] BENNAT Mohamed, « Effet de la dispersion et de la modulation directe sur une liaison DWDM », UNIVERSITE ABOU-BAKER BELKAID – TELMCEN (Algérie), 2017/2018.