

**UNIVERSITE DE BLIDA1 – Saad Dahleb**  
**Institut d'aéronautique et des études spatiales**  
**Département construction Aéronautique**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION**  
**DU DIPLOME DE MASTER EN AERONAUTIQUE**  
**OPTION : AVIONIQUE.**

Thème :

**ETUDE ET SIMULATION D'UNE LIAISON OPTIQUE**  
**MULTIPLXEE POUR LA TRANSMISSION DES**  
**DONNEES EN AVIONIQUE.**

Présenté par :  
***Melle BOUALLALA Manel***  
***Melle BOUSSAHA Amira***

Encadré par :  
***Mr KHORISSIN***  
***Mr BENOUARED.A***

**Promotion : 2017-2018**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## *Remerciements :*

A l'issue de ce travail, nous remercions, en premier lieu, ALLAH de nous avoir donné la force et le courage de le mener à terme.

Ce PFE ne serait pas aussi riche sans l'aide de notre Promoteur Mr Khorissi et notre Co promoteur Mr Benouared d'avoir accepté d'être nos encadreurs, pour toute l'aide qui ont contribué efficacement à l'avancement de ce travail.

Nous remercions les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font d'avoir bien voulu accepter de participer à ce jury.

Enfin, nous tenons à remercier toute personne qui nous ont aidés de près ou de loin durant notre travail.

# *Dédicaces*

*Je dédie cet œuvre à la femme qui m'a enfanté, celle qui a sacrifié tout pour moi :*

*Son temps, son bonheur, sa santé : ma mère noyaux de mon esprit,*

*A mon père, source d'énergie pour ma réussite,*

*Que dieu les préserve pour moi,*

*A toutes ma famille,*

*Surtout mes grands-parents,*

*A ma tante Rabouha et mon frère Anes,*

*A Fouad ;*

*Qui m'encourage et me donne l'aide ;*

*Que dieu le garde et le protège,*

*Ames adorables amies Amira, Basma, Samia et Somia.*

*A tous ceux qui me sont chères,*

*A tous ceux qui m'aiment,*

*A tous ceux que j'aime.*



*Je dédie ce travail...*

*Manel*

# *Dédicaces*

*A ma mère et mon père pour tous leurs sacrifices*

*A mon frère Minou*

*A mes sœurs Djihed, Hanene, Chahira*

*A mon future Mari...*

*A ma grande mère*

*A ma tante Naima*

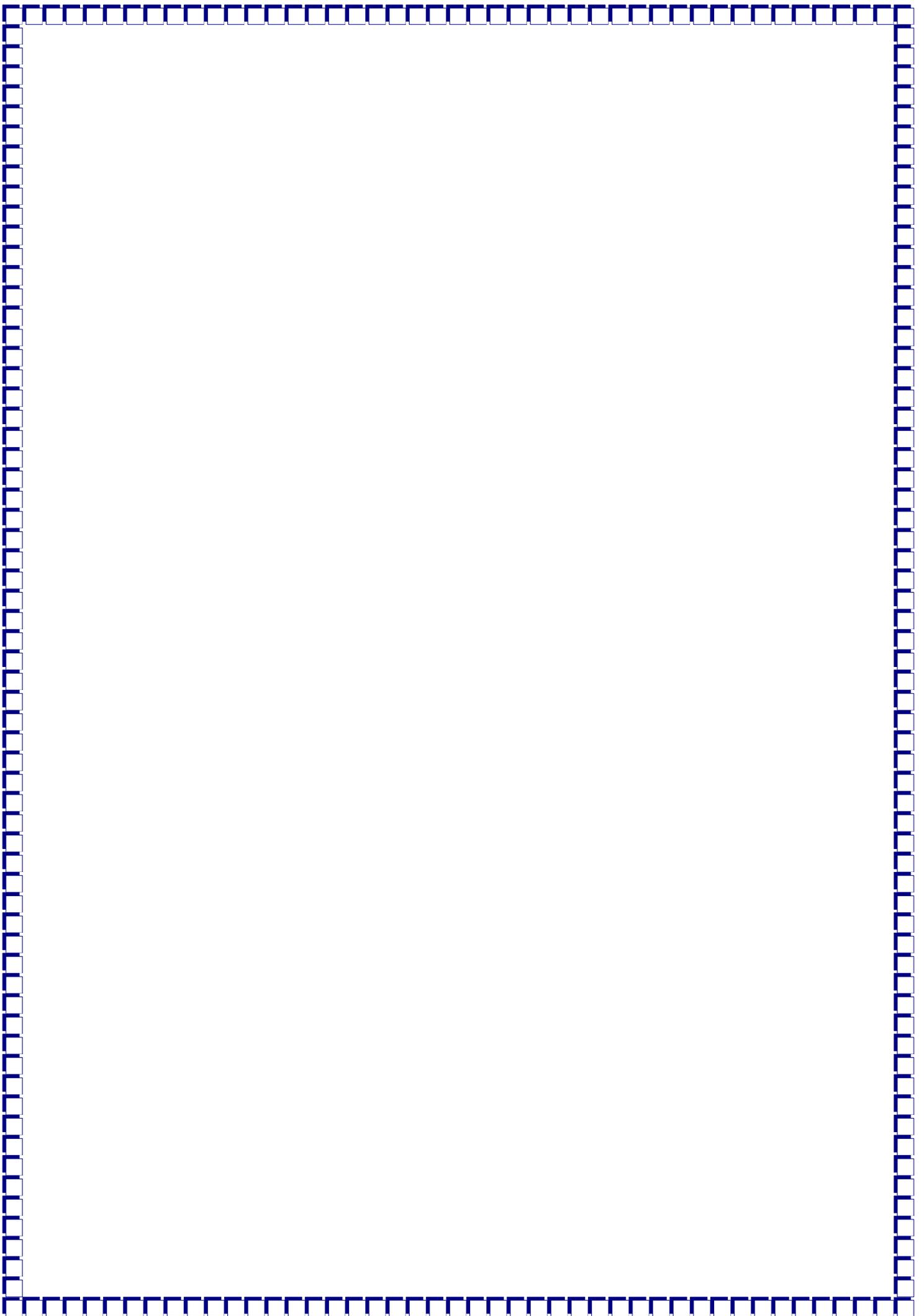
*A mes amis Manel, Samia, Basma, Alima, Nina*

*A mes cousins Ahmed, Wissem, Ghazi*

*Je dédie ce travail*



*Amira*



# Résumé

## تلخيص:

انخفاض عدد أسلاك التوصيل والنطاق الواسع و الجودة العالية لنقل البيانات تعد معايير مطلوبة بالحاح وبوتيرة متزايدة طلبا في تحقيق نظام الاتصال المرغوب به في الطائرات.

نسعى من خلال هذه المذكرة إلى العثور على طريقة يمكن تحقيقها بسهولة على ارض الواقع نهدف من ورائها إلى نقل البيانات في مجال اليكترونيات الطائرة لذي قمنا بدراسات مفصلة فيما يخص الطريقة المعمول بها حاليا في نقل المعطيات عبر ارينك ونقترح استبدالها بالطريقة المنشودة عبر الألياف الضوئية بعد إجراء دراسات مفصلة حول هذه الأخيرة.

نستعين ببرنامج كومسيس لإجراء المحاكاة المطابقة للواقع والذي يمكننا من تصميم سلسلة نقل البيانات عبر الألياف البصرية ودراسة مميزاتا وجودتها.

## Abstract:

Decreasing cabling, broadband and good quality of data transmission are criteria increasingly required for the realization of a modern communication system in an aircraft.

Our job is to find a simple and easy to achieve method for the transmission of data in avionics that is why we assign a detailed study of the optical fiber and via its advantages we propose to replace ARINC by the optical transmission.

The simulation part of this memory uses COMSIS software which gives us the possibility to design chains comparable to those existing in reality, with visualization of performance using the quality factor and the bit error rate.

## Résumé :

La diminution de câblage, le haut débit et la bonne qualité de transmission des données sont des critères de plus en plus demandés pour la réalisation d'un système de communication modern dans un avion.

Notre travail consiste à trouver une méthode simple et facile à réaliser pour la transmission de donnée en avionique c'est pour cela on affecte une étude détaillée de la fibre optique et via ses avantages on propose de remplacé ARINC par la transmission optique.

La partie simulation de ce mémoire fait appel au logiciel COMSIS qui nous donne la possibilité de concevoir des chaines comparables à ceux existantes dans la réalité, avec visualisation des performances à l'aide du facteur de qualité et du taux d'erreur binaire.

### Liste des acronymes:

**LAN:** Local Area Network.

**MAN:** Metropolitan Area Network.

**WAN:** Wide Area Network.

**ATC:** Air Traffic Control.

**GPWS:** Ground Proximity Warning System.

**ACARS:** Aircraft Communication Addressing And Reporting System.

**ARINC:** Aeronautical Radio INCorporated.

**SDI:** Source Destination Identifier.

**SSM:** Sign Status Matrix.

**NCD:** No Computed Data.

**LASER:** Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

**WDM:** Wavelength Division Multiplexing.

**D-WDM:** Dense Wavelength Division Multiplexing.

**U-WDM:** Ultra Wavelength Division Multiplexing.

**C-WDM:** Coarse Wavelength Division Multiplexing.

**COMSIS:** COMmunication System Interactive Software.

**IPSIS:** Ingénierie Pour Signaux et Systèmes.

**TEB:** Taux d'Erreur Binaire.

**SNR:** Rapport Signal Bruit.

**BF :** Basse Fréquence.

**EDFA :** Erbium Dope Fiber Amplifier.

### Liste des figures :

Figure1. 1: Classification des réseaux selon leur taille. ....	4
Figure1. 2: Une topologie en étoile. ....	4
Figure1. 3: Une topologie en arbre. ....	5
Figure1. 4: Une structure en anneau. ....	5
Figure1. 5: Une topologie d'un bus. ....	5
Figure1. 6: Une topologie en maille. ....	5
Figure1. 7: Schéma représente le principe d'échange d'informations. ....	6
Figure1. 8: Evolution des architectures avioniques Airbus. ....	7
Figure1. 9: Schéma synoptique d'un ARINC 429. ....	8
Figure1. 10: Une paire torsadée. ....	8
Figure1. 11: Une communication pour 2 sens de transmission. ....	8
Figure1. 12: L'architecture à bus d'ARINC 429. ....	9
Figure1. 13: Les états dans la transmission ARINC 429. ....	9
Figure1. 14: Un exemple d'envoi d'un mot. ....	9
Figure1. 15: Temps de séparation. ....	10
Figure 2. 1: Synoptique général d'un système de communications par fibre. ....	17
Figure 2. 2: Une diode laser. ....	18
Figure 2. 3: Structure de base d'une diode laser. ....	19
Figure 2. 4: Processus d'absorption. ....	19
Figure 2. 5: Processus d'émission spontanée. ....	20
Figure 2. 6: Processus d'émission stimulée. ....	20
Figure 2. 7: La fibre optique. ....	21
Figure 2. 8: Structure d'une fibre optique. ....	22
Figure 2. 9: Le guidage de la lumière dans une fibre optique. ....	23
Figure 2. 10: Les différents types de fibres optiques. ....	24
Figure 2. 11: Fibre optique multimode à saut d'indice. ....	25
Figure 2. 12: Fibre optique multimode à gradient d'indice. ....	26
Figure 2. 13: Fibre optique monomode. ....	26

## Liste des figures

Figure 2. 14: L'atténuation dans la fibre optique. ....	27
Figure 2. 15: La dispersion dans une fibre optique. ....	28
Figure 2. 16: Une diode PIN. ....	29
Figure 2. 17: Photodiode PIN.....	30
Figure 2. 18: Une diode à avalanche. ....	30
Figure 2. 19: Une photodiode à avalanche PDA. ....	31
Figure 2. 20: Schéma synoptique d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium. ....	32
Figure 2. 21: Principe d'une liaison WDM. ....	33
Figure 2. 22: Schéma présente l'espacement entre deux longueurs d'onde.....	34
Figure 3. 1: Editeur de schéma bloc. ....	37
Figure 3. 2: Interface alphanumérique. ....	38
Figure 3. 3: La bibliothèque de modèle COMSIS.....	38
Figure 3. 4: Le menu d'analyse de COMSIS. ....	39
Figure 3. 5: Fenêtre d'évaluation de performances. ....	40
Figure 3. 6: Fenêtre variable et prétraitement à visualiser. ....	41
Figure 3. 7: Mesures typiques du diagramme de l'œil.....	43
Figure 3. 8: Effet de bruit d'amplitude sur de diagramme de l'œil.....	44
Figure 3. 9: Synoptique d'une chaîne optique multiplexés faite par logiciel COMSIS. ....	45
Figure 3. 10: Paramètres caractéristiques du courant laser 1. ....	46
Figure 3. 11: Paramètres caractéristiques du courant laser 2. ....	46
Figure 3. 12: Paramètres caractéristiques du courant laser 3. ....	46
Figure 3. 13: Paramètres caractéristiques du courant laser 4. ....	47
Figure 3. 14: Paramètres caractéristiques du laser 1. ....	47
Figure 3. 15: Paramètres caractéristiques du laser 2. ....	48
Figure 3. 16: Paramètres caractéristiques du laser 3. ....	48
Figure 3. 17: Paramètres caractéristiques du laser 4. ....	49
Figure 3. 18: Paramètres caractéristiques du multiplexeur. ....	49
Figure 3. 19: Paramètres caractéristiques de la fibre optique.....	50
Figure 3. 20: Paramètres caractéristiques du démultiplexeur.....	50
Figure 3. 21: Paramètres caractéristiques de la PIN.....	50
Figure 3. 22: Comparaison entre signal d'entrée et de sortie pour laser 1. ....	51
Figure 3. 23: Comparaison entre signal d'entrée et de sortie pour laser 2. ....	51

## Liste des figures

Figure 3. 24: Comparaison entre signal d'entré et de sortie pour laser 3. ....	51
Figure 3. 25: Comparaison entre signal d'entré et de sortie pour laser 4. ....	51
Figure 3. 26: Diagramme de l'œil de la sortie 01 avec L=1m et D=500 Mbits/s. ....	52
Figure 3. 27: Diagramme de l'œil de la sortie 02 avec L=1m et D=1000 Mbits/s. ....	52
Figure 3. 28: Diagramme de l'œil de la sortie 03 avec L=1m et D=1500 Mbits/s. ....	53
Figure 3. 29: Diagramme de l'œil de la sortie 04 avec L=1m et D=2000 Mbits/s. ....	53
Figure 3. 30: Diagramme de l'œil de la sortie 01 avec L=10m et D=500 Mbits/s. ....	53
Figure 3. 31: Diagramme de l'œil de la sortie 02 avec L=10m et D=1000 Mbits/s. ....	54
Figure 3. 32: Diagramme de l'œil de la sortie 03 avec L=10m et D=1500 Mbits/s. ....	54
Figure 3. 33: Diagramme de l'œil de la sortie 04 avec L=10m et D=2000 Mbits/s. ....	54
Figure 3. 34: Diagramme de l'œil de la sortie 01 avec L=200m et D=500 Mbits/s. ....	55
Figure 3. 35: Diagramme de l'œil de la sortie 02 avec L=200m et D=1000 Mbits/s. ....	55
Figure 3. 36: Diagramme de l'œil de la sortie 03 avec L=200m et D=1500 Mbits/s. ....	55
Figure 3. 37: Diagramme de l'œil de la sortie 04 avec L=200m et D=2000 Mbits/s. ....	56
Figure 3. 38: Le rapport signal bruit pour les signaux d'entré avec L=1m. ....	57
Figure 3. 39 : Le rapport signal bruit pour les signaux de sortie avec L=1m. ....	57
Figure 3. 40: Le rapport signal bruit pour les signaux de sortie avec L=200m. ....	57
Figure 3. 41: Schéma synoptique du quatrième simulation. ....	58
Figure 3. 42: Paramètres caractéristiques du bruit-courant. ....	58
Figure 3. 43: Paramètres caractéristiques de l'amplificateur optique. ....	59
Figure 3. 44: Paramètres caractéristiques du filtre BF. ....	59
Figure 3. 45: La réponse temporelle du signal traité. ....	59
Figure 3. 46: Diagramme de l'œil pour D= 500 Mbits/s. ....	60
Figure 3. 47: Le SNR pour D=500 Mbits/s. ....	60
Figure 3. 48: Diagramme de l'œil pour D= 1000 Mbits/s. ....	60
Figure 3. 49: Le SNR pour D=1000 Mbits/s. ....	60
Figure 4. 1: L'architecture de la liaison par fibre optique dans l'avion .....	63

### Liste des tables :

Tableau 1. 1: La composition du mot ARINC 429. ....	11
Tableau 1. 2: Le LABEL.....	11
Tableau 1. 3: Le SDI. ....	11
Tableau 1. 4: Les mots binaires.....	12
Tableau 1. 5: Le SSM du mot binaire. ....	13
Tableau 1. 6: Le SSM du mot BCD. ....	14
Tableau 1. 7: SSM du mot A.I.M. ....	14
Tableau 1. 8: Exemple de codage d'un mot de 32 bits. ....	14
Tableau 1. 9: Les bus utilisés en avionique. ....	16
Tableau 3. 1: Les résultats de simulation pour L=1m. ....	56
Tableau 3. 2: Les résultats de simulation pour L=10m. ....	56
Tableau 3. 3: Les résultats de simulation pour L=200m. ....	56
Tableau 3. 4: Tableau de comparaison entre simulation 02 et simulation 04. ....	60

## Tables des matières :

Introduction générale : .....	1
Chapitre 01 : La transmission des données en avionique.....	2
1.1 Introduction : .....	2
1.2 Généralité sur les réseaux et les protocoles:.....	2
1.2.1 Définition d'un réseau :.....	2
1.2.2 Composition d'un réseau :.....	2
1.2.3 Les différents types de réseaux : .....	3
a) Les LAN:.....	3
b) Les MAN : .....	3
c) Les WAN : .....	4
1.2.4 Les topologies de réseaux : .....	4
1.2.5 Définition d'un protocole:.....	6
1.3 Les bus avioniques : .....	6
1.3.1 Développement de l'avionique : .....	6
1.3.2 Définition de l'ARINC :.....	7
1.3.3 Description d'ARINC 429 : .....	7
1.3.4 Les caractéristiques d'ARINC 429 : .....	10
1.3.5 Structure du mot ARINC 429 : .....	11
a) Le LABEL : .....	11
b) Le SDI (source destination identifier) : .....	11
c) La donnée :.....	12
d) Le SSM (sign status matrix) : .....	13
e) La parité : .....	14
1.4 Avantage et inconvénients de l'ARINC 429 :.....	15
1.5 Les bus utilisés:.....	15
1.6 Conclusion :.....	16
Chapitre 02 : La transmission optique.....	17
2.1 Introduction : .....	17
2.2 La transmission optique : .....	17

## Tables des matières

2.3 La source LASER : .....	18
2.3.1 La composition d'une diode LASER : .....	18
2.3.2 Le principe de fonctionnement : .....	19
2.3.3 Caractéristiques et applications de la diode laser : .....	20
2.4 La fibre optique : .....	21
2.4.1 La composition d'une fibre optique : .....	21
2.4.2 Principe de fonctionnement de la fibre optique : .....	23
2.4.3 Différents types de fibres optiques : .....	24
a) La fibre optique multimodale à saut d'indice : .....	25
a) Fibre optique multimode à gradient d'indice : .....	25
b) Fibre optique monomode : .....	26
2.4.4 Caractéristiques et applications de la fibre optique : .....	27
2.5 Le photodétecteur : .....	28
2.5.1 Définition : .....	28
2.5.2 Les types de photodiodes : .....	29
a) Les photodiodes PIN : .....	29
b) Les photodiodes à avalanche (PDA) : .....	30
2.5.3 Application de photodiode : .....	31
2.6 Amplificateurs à fibre dopée Erbium (EDFA) : .....	31
2.7 Techniques de multiplexages optiques : .....	33
2.7.1 Principe de multiplexage optique : .....	33
2.8 Avantages et inconvénients de la fibre optique : .....	35
2.9 Conclusion : .....	35
Chapitre 03 : Simulations et interprétations des résultats. ....	36
3.1 Introduction : .....	36
3.2 Présentation du logiciel COMSIS : .....	36
3.2.1 Introduction au logiciel COMSIS : .....	36
3.2.2. Interface COMSIS : .....	37
a) La fenêtre principale : .....	37
b) La fenêtre alphanumérique : .....	37
c) La bibliothèque : .....	38
3.2.3 Les différents types d'analyse : .....	39

# Tables des matières

a) L'analyse statique : .....	39
b) L'analyse de stabilité : .....	39
c) L'analyse de transfert de boucle : .....	39
d) La réponse fréquentielle : .....	40
e) La simulation temporelle: .....	40
3.2.4 La visualisation et le traitement des résultats : .....	40
a) La réponse temporelle : .....	42
b) Le diagramme de l'œil : .....	42
c) La densité spectrale de puissance : .....	42
d) Détermination du facteur Q : .....	42
e) Taux d'erreur sur les bits : .....	42
3.2.5 Critères de qualité d'une transmission : .....	42
a) Le diagramme de l'œil : .....	43
b) Le facteur de qualité en amplitude ou facteur Q : .....	43
c) Le taux d'erreurs binaire : .....	44
d) Le rapport signal sur bruit : .....	44
3.3 La première simulation : l'influence du multiplexage sur les signaux de sortie. ....	45
3.3.1 Description du bloc utilisé dans la simulation : .....	45
a) Le courant-laser : .....	45
b) Le laser : .....	47
c) Le multiplexeur : .....	49
d) La fibre optique : .....	50
e) Le demultiplexeur : .....	50
f) La photodiode : .....	50
3.3.2. L'analyse temporelle : .....	51
3.4 La deuxième simulation : l'influence de la longueur de la fibre sur la qualité du signal. .....	52
a) Le diagramme de l'œil pour $L=1\text{m}$ : .....	52
b) Le diagramme de l'œil pour $L=10\text{m}$ : .....	53
c) Le diagramme de l'œil pour $L=200\text{m}$ : .....	55
d) Discussion des résultats : .....	56
3.5 La troisième simulation : l'influence du bruit interne sur la fibre optique. ....	57

## Tables des matières

a)	Rapport signal bruit pour $L=1\text{m}$ : .....	57
b)	Rapport signal bruit pour $L=200\text{m}$ : .....	57
c)	Discussion de résultats : .....	57
3.6	La quatrième simulation : l'influence du bruit externe sur la transmission optique.	58
a)	La réponse temporelle : .....	59
a)	Diagramme de l'œil de $D=500\text{ Mbit/s}$ : .....	60
c)	Diagramme de l'œil pour $D= 1000\text{ Mbits/s}$ : .....	60
3.7	Conclusion : .....	61
	Conclusion générale et perspectives : .....	62

# **Introduction générale.**

# **Chapitre 01 :**

## **La transmission des données en avionique.**

**Chapitre 02 :**  
**La transmission**  
**optique.**

**Chapitre 03 :**  
**Simulations et**  
**interprétations des**  
**résultats.**

# Conclusion générale

## Introduction générale :

L'avionique ne cesse de prendre une grande importance au niveau des constructeurs d'avion car elle joue un rôle important dans l'augmentation de sécurité des avions. Pour mieux contrôler, maintenir et prévoir tout incident causant des anomalies dangereuse, on ajout des capteurs afin de suivre le comportement de différents paramètres.

Vu le nombre d'informations à recueillir de manière fiable, on est obligé d'optimiser le temps de transmission des informations vers le calculateur, et ceci par le choix de protocole adéquat et de support garantissant la fidélité de transmission.

Notre mémoire est une contribution pour alléger ce genre de problèmes et cela par l'introduction de la fibre optique au niveau de la transmission des informations à travers les bus ARINC.

Pour menu à bien notre travail on a divisé notre mémoire de la manière suivante :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude de la transmission des informations actuelles dans l'avionique on donne un bref aperçu sur les réseaux et les protocoles, puis on fait aussi une description détaillé de l'ARINC 429.
- Au second chapitre nous présenterons les principaux éléments constituant une liaison de transmission optique (l'émetteur, le récepteur, etc.).
- Le troisième chapitre sera consacré aux simulations d'une chaine de transmission optique multiplexée par le logiciel COMSIS.
- Enfin on terminera par une conclusion générale.



## Chapitre 01 : La transmission des données en avionique.

### 1.1 Introduction :

L'avionique est un assemblage d'électronique et d'informatique dans l'avion. La transmission des données sera faite à l'aide des réseaux et protocoles, d'où la mise au point d'un protocole nommé ARINC pour faciliter la transmission et augmenter la fidélité des informations.

### 1.2 Généralité sur les réseaux et les protocoles:

#### 1.2.1 Définition d'un réseau :

Le terme générique « **réseau** » définit un ensemble d'entités (objets, personnes, etc.) interconnectées les unes avec les autres. Un réseau permet ainsi de faire circuler des éléments matériels ou immatériels entre chacune de ces entités selon des règles bien définies.

Le réseau informatique c'est ensemble d'ordinateurs reliés entre eux grâce à des lignes physiques et échangeant des informations sous forme de données numériques [1].

Un réseau informatique peut servir plusieurs buts distincts :

- Le partage de ressources (fichiers, applications ou matériels, connexion à internet, etc.).
- La communication entre personnes (courrier électronique, discussion en direct, etc.).
- La communication entre processus (entre des ordinateurs industriels par exemple).
- La garantie de l'unicité et de l'universalité de l'accès à l'information (bases de données en réseau).
- Le jeu vidéo multi-joueurs.

#### 1.2.2 Composition d'un réseau :

Les différents types de réseaux ont généralement les points suivants en commun :

- **Serveurs** : ordinateurs qui fournissent des ressources partagées aux utilisateurs par un serveur de réseau.

- **Clients** : ordinateurs qui accèdent aux ressources partagées fournies par un serveur de réseau.
- **Support de connexion** : conditionne la façon dont les ordinateurs sont reliés entre eux.
- **Données partagées** : fichiers accessibles sur les serveurs du réseau.

### 1.2.3 Les différents types de réseaux :

On distingue différents types de réseaux selon leur taille (en termes de nombre de machines) et leur vitesse de transfert des données.

On fait généralement trois catégories de réseaux : voir Figure 1.1.

- LAN (local area network).
- MAN (metropolitan area network).
- WAN (wide area network).

#### a) Les LAN:

LAN signifie Local Area Network (en français Réseau Local). Il s'agit d'un ensemble d'ordinateurs appartenant à une même organisation et reliés entre eux dans une petite aire géographique par un réseau, souvent à l'aide d'une même technologie (la plus répandue étant Ethernet).

Un réseau local est donc un réseau sous sa forme la plus simple. La vitesse de transfert de données d'un réseau local peut s'échelonner entre 10 Mbps (pour un réseau Ethernet par exemple) et 1 Gbps. La taille d'un réseau local peut atteindre jusqu'à 100 voire 1000 utilisateurs.

#### b) Les MAN :

Les MAN (Metropolitan Area Network) interconnectent plusieurs LAN géographiquement proches (au maximum quelques dizaines de km) à des débits importants. Ainsi un MAN permet à deux nœuds distants de communiquer comme si ils faisaient partie d'un même réseau local.

Un MAN est formée de commutateurs ou de routeurs interconnectés par des liens hauts débits (en général en fibre optique).

c) Les WAN :

Un WAN (Wide Area Network ou réseau étendu) interconnecte plusieurs LANs à travers de grandes distances géographiques.

Les débits disponibles sur un WAN résultent d'un arbitrage avec le coût des liaisons (qui augmente avec la distance) et peuvent être faibles.

Les WAN fonctionnent grâce à des routeurs qui permettent de choisir le trajet le plus approprié pour atteindre un nœud du réseau. Le plus connu des WAN est Internet.

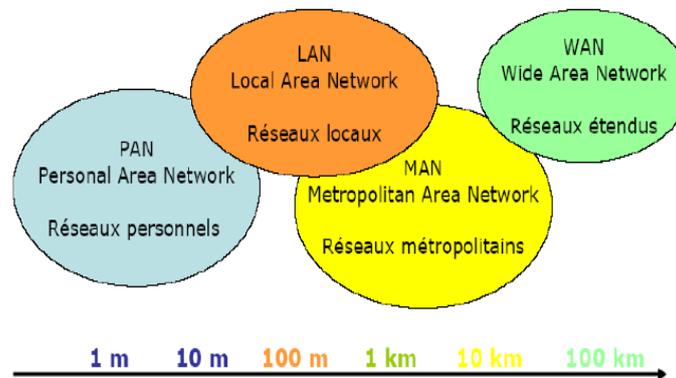


Figure 1. 1: Classification des réseaux selon leur taille.

1.2.4 Les topologies de réseaux :

- **En étoile** : nœud central, d'où un problème de fiabilité. Avantage : simplicité à mettre en œuvre.

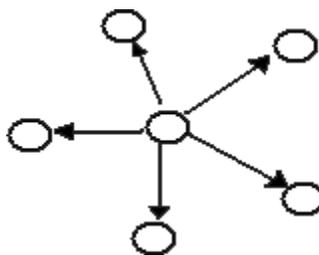


Figure 1. 2: Une topologie en étoile.

- **En arbre** : structure hiérarchique. Exemple : Ethernet.

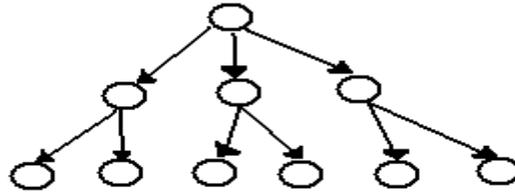


Figure 1. 3: Une topologie en arbre.

- **En Structure d’anneau** : elle prend la forme d’un anneau.

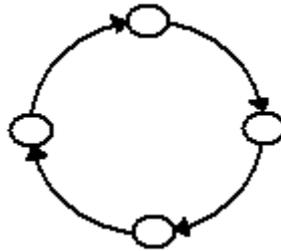


Figure 1. 4: Une structure en anneau.

- **Par bus** : c’est une forme d’un bus, c’est la topologie d’ARINC 429.

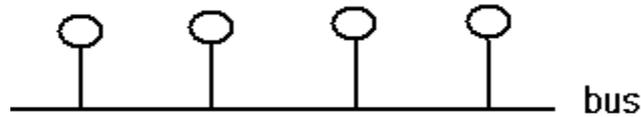


Figure 1. 5: Une topologie d’un bus.

- **Par Maille** : cette topologie est en forme d’une maille, comme illustre la Figure 1.6.

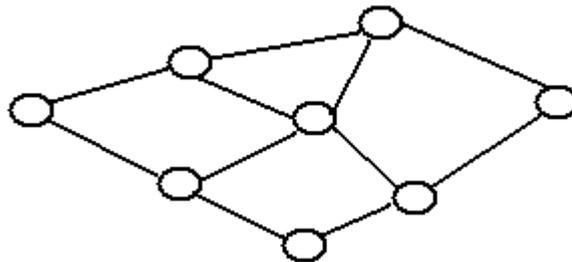


Figure 1. 6: Une topologie en maille.

### 1.2.5 Définition d'un protocole:

Un protocole est une méthode standard qui permet la communication entre des processus (s'exécutant éventuellement sur différentes machines), c'est-à-dire un ensemble de règles et de procédures à respecter pour émettre et recevoir des données sur un réseau. Il en existe plusieurs selon ce que l'on attend de la communication. Certains protocoles seront par exemple spécialisés dans l'échange de fichiers, d'autres pourront servir à gérer simplement l'état de la transmission et des erreurs.

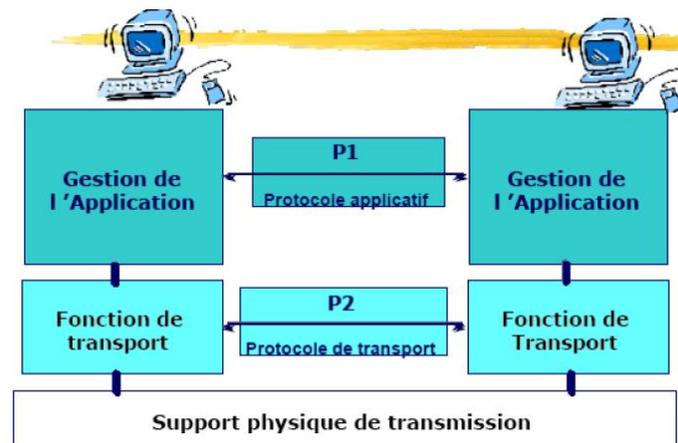


Figure 1. 7: Schéma représente le principe d'échange d'informations.

### 1.3 Les bus avioniques :

L'avionique est l'électronique appliquée aux techniques aéronautiques et spatiales.

#### 1.3.1 Développement de l'avionique :

De 1983 (A310) à 1993 (A340), le nombre d'équipements embarqués a augmenté de 50% (de 77 à 115) alors que la puissance embarquée a été augmentée par 4 (60Mips à 250Mips). Voir Figure 1.8.

Aujourd'hui, le système avionique correspond à 30% du coût total d'un appareil civil, et jusqu'à 50% d'un appareil militaire [2].

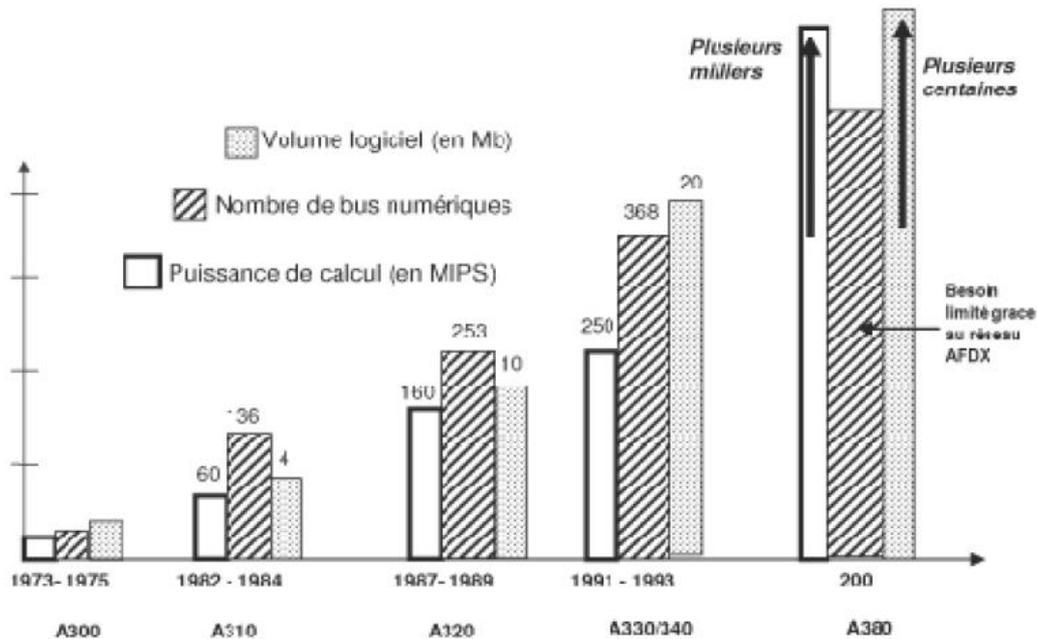


Figure 1. 8: Evolution des architectures avioniques Airbus.

### 1.3.2 Définition de l'ARINC :

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

L'ARINC gère les opérations d'extension des systèmes radio, la répartition des fréquences, la standardisation des systèmes de communication, l'électronique à bord et l'échanges d'informations techniques [3].

Exemples de normes :

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

### 1.3.3 Description d'ARINC 429 :

L'ARINC 429 est un des plus anciens bus avionique. Développé par l'**Aeronautical Radio INCorporated** en 1977, il est encore utilisé aujourd'hui sur des nouvelles plates-formes même si d'autres bus plus récents sont plus fréquemment retenus.

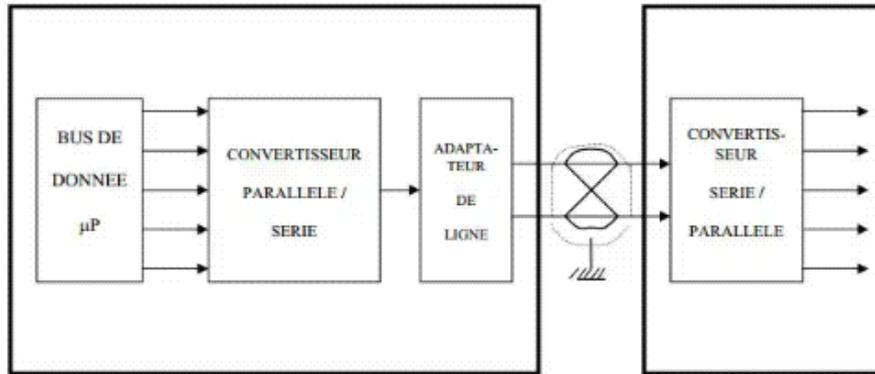


Figure 1. 9: Schéma synoptique d'un ARINC 429.

La ligne de transmission est composée d'une seule paire de conducteurs torsadés et blindés. Cette ligne constitue un bus unidirectionnel (sens unique) créant une liaison série. Voir Figure 1.10.

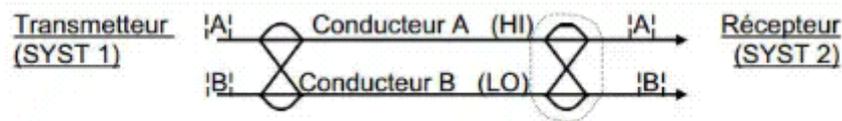


Figure 1. 10: Une paire torsadée.

Pour établir une transmission dans l'autre sens il faut 2 lignes de communication comme illustre la Figure 1.11.

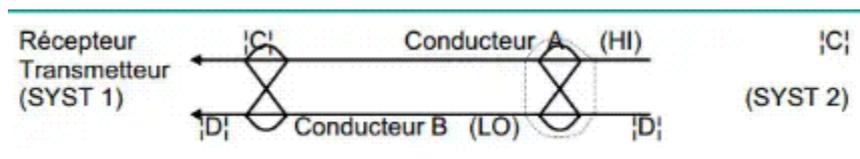


Figure 1. 11: Une communication pour 2 sens de transmission.

Ce bus est un bus de données simple utilisant un seul émetteur et de 1 à 20 récepteurs par bus (Figure 1.12).

On le retrouve dans des avions tels que les Airbus A310 /A340 et dans de nombreux autres systèmes avioniques.

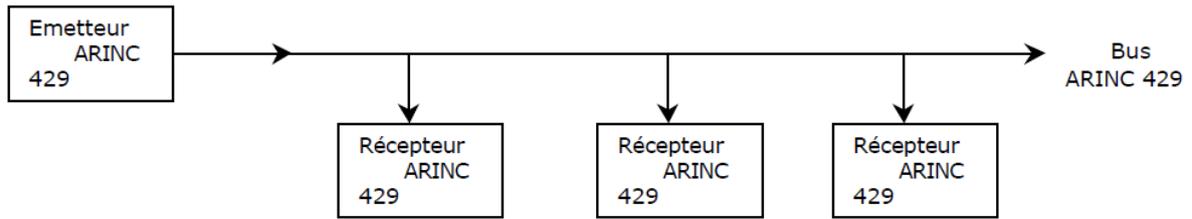


Figure 1. 12:L'architecture à bus d'ARINC 429.

Le bus est une ligne balancée de  $75\Omega$  : qui fonctionne en 3 états (HI, NULL, LO).

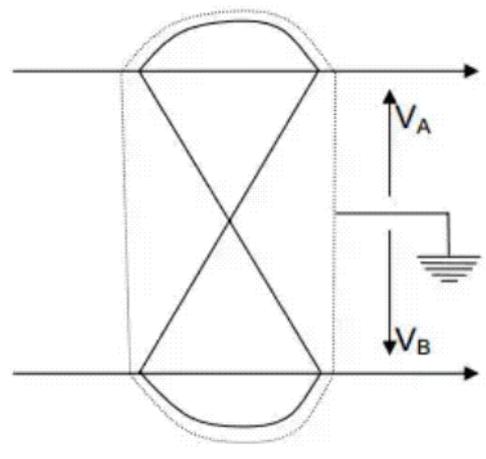


Figure 1. 13: Les états dans la transmission ARINC 429.

**Exemple :** envoi du mot 0 1 0 0 1

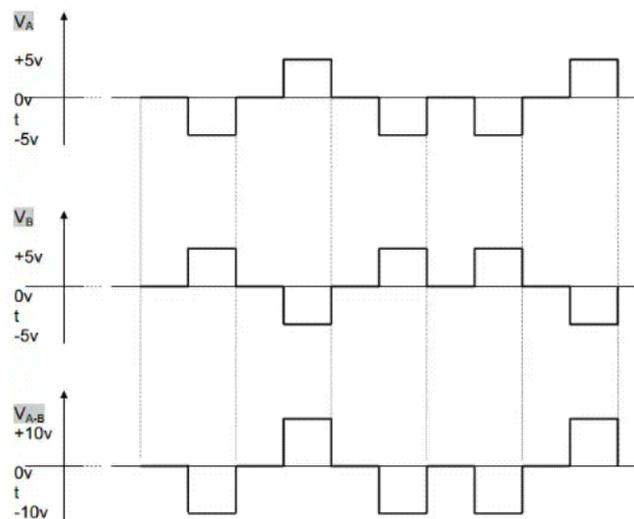


Figure 1. 14: Un exemple d'envoi d'un mot.

L'information considérée est transmise par la ligne  $V_A$ , son complément est envoyé par la ligne  $V_B$ , Le mot série est transmis sous forme de tension différentielle ( $V_A-V_B$ ).

Ceci permet d'éliminer les erreurs par rayonnement parasites dans la ligne de transmission. Un tel rayonnement, produit le même signal positif ou négatif sur les deux lignes VA et VB, ce qui a pour effet de s'annuler lors du traitement en différentiel.

En différentiel, l'immunité contre le bruit est augmentée, en même temps que la sensibilité du récepteur, tout en ayant gardé une bonne marge de sécurité.

### 1.3.4 Les caractéristiques d'ARINC 429 :

Les principales caractéristiques sont :

- **Vitesse de transfert** : deux vitesses possibles :

Une vitesse lente de 12 k bits/s à 14.5k bits/s et une vitesse rapide 100 k bits/s.

- **Taux de rafraichissement des informations** : le taux de rafraichissement dépend de chaque type d'informations :

Certaines informations sont envoyées toutes les 25 ms et d'autres sont envoyées toutes les 50 ms. Une vitesse sera transmise plus souvent qu'une température (la variation de la température est faible, la variation de la vitesse est grande).

- **Temps de séparation** : L'équivalent de 4 bits de 0V est maintenu entre 2 informations successives. Voir Figure 1.15.

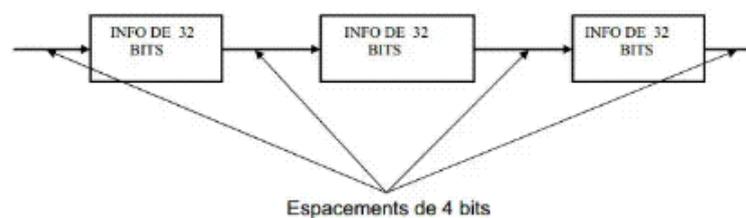


Figure 1. 15: Temps de séparation.

Le bus ARINC n'étant pas synchronisé, le temps d'espace et la structure du bit permettent de reconnaître le début ou la fin d'un mot de 32 bits. En effet, un bit étant composé d'une alternance au neutre (0V) et d'une positive ou négative, il est impossible d'avoir dans un mot quelconque un espace de 0V égal ou supérieur à un bit, pouvant prêter à confusion avec notre espace de 4 bits.

**1.3.5 Structure du mot ARINC 429 :**

C'est un mot de 32 bits séries. Sa composition est donnée par le tableau ci-dessous :

P	SSM	Données	SDI	LABEL
32	31 30	29 28.....11	10 9	8 7 6 5 4 3 2 1

Tableau 1. 1: La composition du mot ARINC 429.

**a) Le LABEL :**

				LABEL
				8 7 6 5 4 3 2 1

Tableau 1. 2: Le LABEL

Le LABEL est l'équivalent d'une adresse, il définit la donnée qui suit et indique si l'information est une fréquence radio, une vitesse, une distance etc. Ainsi seul l'équipement concerné prendra en compte la donnée du mot en cours .8 bits suffisent pour définir toutes les fonctions utilisées à bord d'avion .le système octal est choisi pour coder différentes fonctions.

**b) Le SDI (source destination identifieur) :**

			SDI	
			10 9	

Tableau 1. 3: Le SDI.

Le SDI complète l'adresse, il permettra d'identifier la destination ou la source, il est codé en binaire.

**Exemple :**

- Si le SDI du transmetteur est 01, seul le récepteur n°1 est concerné par la donnée du mot en cours.

- Si le SDI du transmetteur est 10, seul le récepteur n°2 est concerné par la donnée du mot en cours.
- Si le SDI du transmetteur est 11, seul le récepteur n°3 est concerné par la donnée du mot en cours.
- Si le SDI du transmetteur est 00, tous les récepteurs sont concernés par la donnée du mot en cours. Dans ce cas le transmetteur est le seul à transmettre ce LABEL au destinataire.

**c) La donnée :**

La donnée porte sur les bits 11 à 31 et se compose de 2 parties :

Les bits 11 à 29 sont réservés à l'information propre (DATA). Les bits 30 et 31 représentent un complément d'information tel qu'un signe, une direction ou un test.

**Valeur de la donnée :**

La valeur peut être codée en binaire ou BCD. Elle peut être un mot discret ou un message d'information (AIM).

**Les mots binaires (BNR words) :**

C'est le mode le plus utilisé. Il permet des calculs en complément à 2. le bit de signe est le bit 29. Les bits 11 et 12 ne sont pas utilisés. Les bits 13 à 17 sont réservés pour décrire une fonction, un test ou la partie avant la virgule.

29	28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18	17 16 15 14 13	12 11
<b>Bit de signe</b>	Donnée entière	-fonction -test -bits avant la virgule	test

Tableau 1. 4: Les mots binaires.

**Les mots BCD (BCD words) :**

Ce codage n'est pas utilisé pour des fins de calculs. Un chiffre décimal occupe 4 bits, on pourra donc transmettre 5 chiffres au total en utilisant les bits de 11 à 29 (19 bits). on aura au maximum un nombre de 79999. le dernier chiffre étant représenté par 3 bits uniquement.

**Les mots A.I.M de dialogue :**

La transmission en A.I.M permet la mise à jour des programmes d'un système, le changement du plan de vol du MC, la lecture des pannes mémorisées et le dialogue entre calculateurs.

**d) Le SSM (sign status matrix) :**

Les bits 30 et 31 servent pour complément d'information. Leur encodage dépend du type de donnée à transmettre.

La donnée porte sur les bits 11 à 31 se compose de deux parties :

- Les bits 11 à 29 sont réservés à l'information propre (DATA).
- Les bits 30 et 31 représentent un complément d'information tel qu'un signe, une direction ou un test.

**SSM du mot binaire :**

31	30	29	11	10	9	8	1
0	0	Donnée		SDI		LABEL	
0	1	no computed data(NCD)		binaire			
1	0	fonctional test					
1	1	fonctionnement normal					

Tableau 1. 5: Le SSM du mot binaire.

SSM du mot BCD :

31	30	29	11	10	9	1	
0	0	+, nord, est, droite, vers(to)		Donnée BCD		SDI	LABEL
0	1	no computed data(NCD)					
1	0	fonctional test					
1	1	-, sud, ouest, gauche (from)					

Tableau 1. 6: Le SSM du mot BCD.

SSM du mot A.I.M :

31	30	29	9	8	1	
0	0	mot intermédiaire +, nord...		Donnée BCD		LABEL
0	1	mot initial				
1	0	mot final				
1	1	mot intermédiaire -, sud...				

Tableau 1. 7: SSM du mot A.I.M.

e) La parité :

C'est un bit qui permet de vérifier si la donnée transmise est bien reçue. Le transmetteur affecte au bit 32 soit 1, soit 0 fonction du nombre de 1 dans le mot de donnée en cours. Il est à 1 si le nombre de 1 de la donnée à transmettre est impair. Si un signal parasite affecte la donnée malgré les protections de blindage et de mesure différentielles, le récepteur détecte le non concordance entre ce bit de parité et la donnée.

**Exemple :** on envoie une fréquence F=109.30MHz.

5	3																	1	2	4	en OCTAL								M			
P	SSM	10 MHz				1 MHz				0.1 MHz				0.01 MHz				Control		SDI	Label								S			
32	31 30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	B	
1	0 0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	B
		0				9				3				0							3 3 0											
		en BCD																en OCTAL														

Tableau 1. 8: Exemple de codage d'un mot de 32 bits.

LABEL : 330 définie que la donnée est une fréquence.

SDI : c'est le destinataire. Les bits 13 et 14 c'est pour le contrôle de fonctionnement de l'équipement et les bits 11 et 12 pour le test.

SSM : 00 indique qu'il est en opération normal.

La donnée : de 15 jusqu'à bit numéro 29 elle contient l'information.

Parité : c'est le bit 32. Le 1 indique que le nombre de 1 envoyés est impair mais l'information transmise contient quatre bits de 1 donc il y'a une erreur parce que la donnée n'est pas complète (09.30 MHz).

### **1.4 Avantage et inconvénients de l'ARINC 429 :**

#### **Avantage :**

- Simplicité topologie et protocoles
- déterminisme car il utilise un seul émetteur.

#### **Inconvénients :**

- émission et réception sur bus séparé donc câblage élevé et un débit faible.

### **1.5 Les bus utilisés:**

Il existe d'autre bus afin de minimiser les inconvénients d'ARINC429 qui sont résumé dans le tableau 1.9 : [4]

	ARINC 429	ARINC 629	MIL-STD-1553	ARINC 636	AFDX
<b>Date</b>	1977	1989	1978		1997
<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 Bi-phase	NRZ 4B/5B	Manchester
support	paires torsadées unidirectionnelles	paires torsadées bidirectionnelles	paires torsadées blindées bidirectionnelles	fibre optique	2paires torsadées
<b>Débit</b>	100Kbps  12,5Kbps	2Mbps	1Mbps	100Mbps	100Mbps
<b>Longueur des mots</b>	32 bits	20 bits	20 bits	de 0 à 4478 octets	de 46 à 1500 octets
<b>format des messages</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	1bit de parité par mot		

Tableau 1. 9: Les bus utilisés en avionique.

### 1.6 Conclusion :

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 la fibre optique.



## Chapitre 02 : La transmission optique.

### 2.1. Introduction :

Depuis quelques années la fibre optique est devenue le média le plus utilisé pour transporter les informations car les systèmes de communication utilisent la fibre optique leur capacité très largement supérieure à celles des autres systèmes, De plus, les échanges à travers ces systèmes allaient être de plus en plus nombreux et la demande est augmentée surtout de l'appart des compagnies commerciales. Elle commence en 1970 par la compagnie Corning Glass Works de New York qu'elle produit la première fibre optique avec des pertes suffisamment faibles (20dB/km) pour être utilisée dans les réseaux de télécommunication.

Dans ce chapitre on va étudier une chaîne de transmission en essayant de définir de manière générale ses différents éléments tout en décrivant leurs rôles et leurs fonctionnements. En plus les différents types de transmissions qui existent.

### 2.2. La transmission optique :

La transmission dans les liaisons optiques se base sur trois blocs fondamentaux pour effectuer le transfert de l'information: l'élément d'émission, le canal de communication et le récepteur, voir figure 2.1.

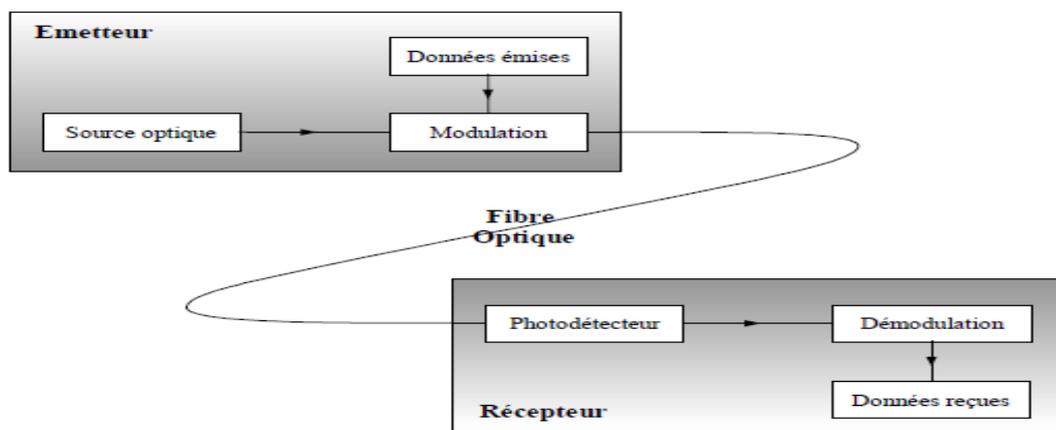


Figure 2. 1: Synoptique général d'un système de communications par fibre.

Le bloc d'émission est constitué d'un dispositif (la diode laser) qui permet de convertir un signal électrique en un signal optique. Le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information. Enfin, le récepteur (le photo détecteur) récupère le signal électrique véhiculé en opérant une conversion optique/électrique.

## 2.3. La source LASER :

### 2.3.1 La composition d'une diode LASER :

Le LASER est un procédé d'amplification de la lumière, défini en anglais par l'acronyme LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.



Figure 2. 2: Une diode laser.

Les diodes laser sont les composants essentiels dans les transmissions par fibres optiques et comprennent trois éléments nécessaires qui sont :

- Un milieu amplificateur.
- Une source externe d'énergie.
- Une cavité résonante.

La diode laser est constituée d'une jonction p-n avec une région active (voir Figure 2.3) où les porteurs injectés, par forte polarisation directe de la diode, se recombinent de façon radiative, produisant une lumière cohérente issue d'émissions stimulées de photons.

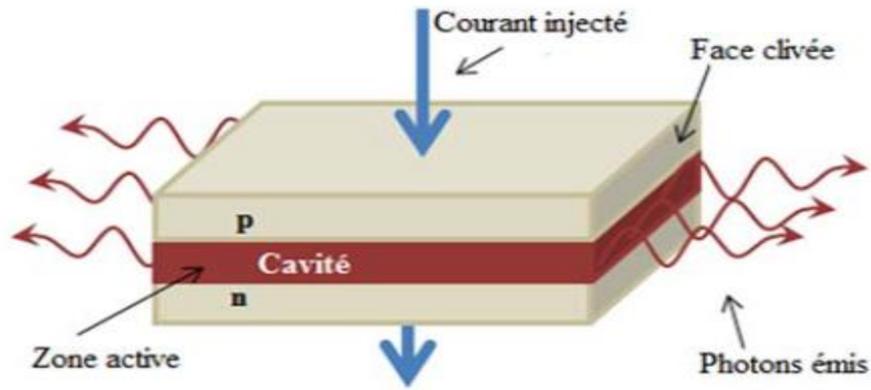


Figure 2. 3: Structure de base d'une diode laser.

### 2.3.2 Le principe de fonctionnement :

Les diodes laser se basent sur des processus fondamentaux pour effectuer la génération de la lumière [5].

- **Absorption d'un photon incident :**

En absorbant un photon d'énergie  $E$ , l'électron peut être amené dans un état plus énergétique. Il passe de la bande de valence vers la bande de conduction.

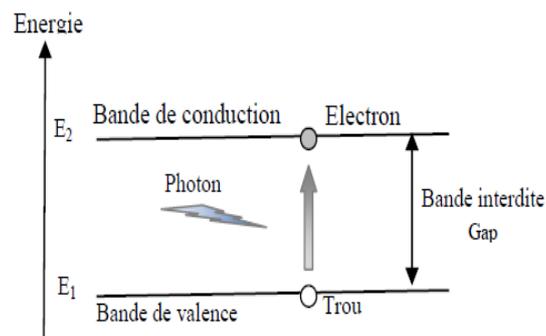


Figure 2. 4: Processus d'absorption.

- **Emission spontanée :**

La recombinaison d'un électron de la bande de conduction avec un trou de la bande de valence, permet l'émission d'un photon.

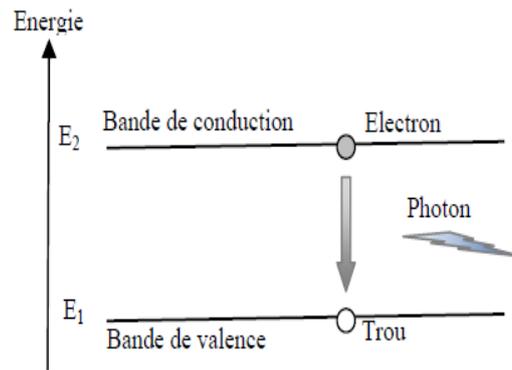


Figure 2. 5: Processus d'émission spontanée.

- **Emission stimulée :**

Frappé par un photon, l'électron peut retomber dans l'état le moins énergétique en émettant un photon stimulé dont le rayonnement correspond à la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation et la même directivité spatiale que le photon incident.

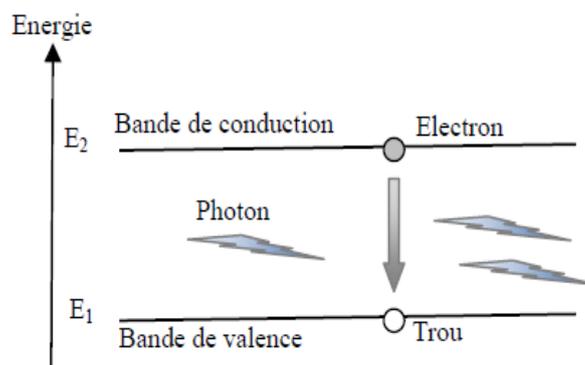


Figure 2. 6: Processus d'émission stimulée.

### 2.3.3 Caractéristiques et applications de la diode laser :

Ses caractéristiques sont proches de celles des lasers conventionnels. La plus faible longueur de la cavité, quelques centaines de micromètres au lieu de quelques dizaines de centimètres, entraîne une plus grande divergence du faisceau et des raies d'émission plus éloignées les unes des autres, ce qui facilite la création de lasers monomodes (une seule raie d'émission) par filtrage.

Ces diodes laser sont largement utilisées dans les télécommunications car elles sont facilement manipulées et deviennent des sources lumineuses couplées pour des fibres optiques de communication. Elles sont utilisées dans divers instruments de mesure. Les diodes laser visibles, généralement de couleur rouge, mais aussi verte. Des diodes laser de haute puissance sont utilisées dans des applications industrielles telles que le traitement thermique et le soudage. Les diodes laser trouvent des applications dans de nombreux domaines, mais selon les cas, on recherche différentes propriétés de lumière : la puissance, la longueur d'onde et la qualité spectrale, la qualité de faisceau, la polarisation..., Il est intéressant de classer les applications par ces propriétés fondamentales.

## 2.4. La fibre optique :

### 2.4.1 La composition d'une fibre optique :

La fibre optique est un guide d'onde cylindrique dans lequel, la lumière convenablement injectée à une extrémité, reste confinée au cours de sa propagation durant une transmission sur de longues distances (jusqu'à des milliers de kilomètres). Elle permet la transmission d'une grande quantité d'informations avec de très forts débits par codage du signal lumineux en variant son intensité.

Les longueurs d'ondes utilisées dans les communications à l'aide de ces fibres optiques sont du domaine de l'infrarouge, elles sont comprises entre 800 et 1600 nm.

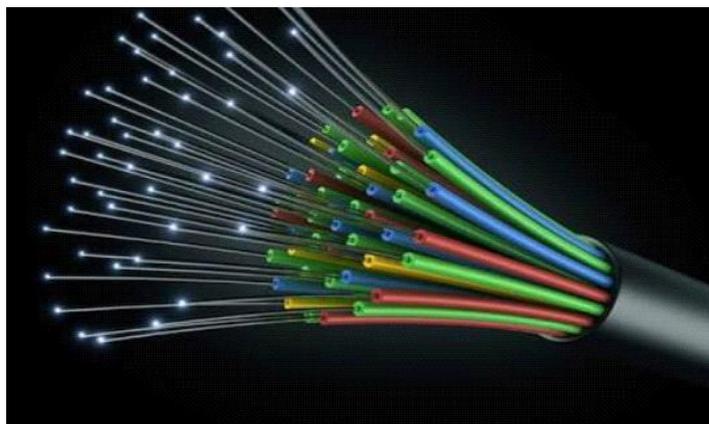


Figure 2. 7: La fibre optique.

La fibre optique, illustrée sur la Figure 2.8, est formée de deux milieux transparents : le cœur, cylindrique d'indice  $n_c$  constant ou variable entouré par la gaine d'indice  $n_g$  plus petit.

L'ensemble est entouré d'un premier revêtement de  $250 \mu\text{m}$  qui Assure une protection mécanique de la fibre. Un second revêtement est appliqué directement sur le revêtement primaire pour renforcer la protection de la fibre pendant sa manipulation.

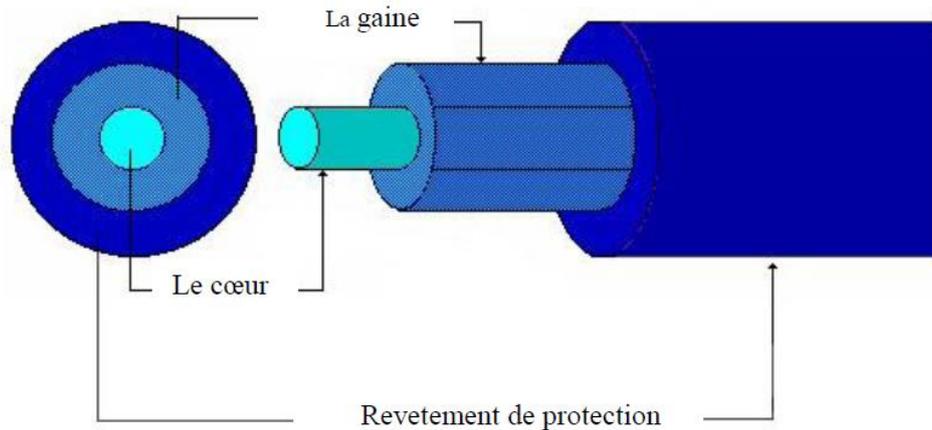


Figure 2. 8: Structure d'une fibre optique.

Le cœur et la gaine sont des matériaux transparents. Les matériaux les plus utilisés sont la silice et le verre. Dans certaines applications (circuits optiques à films minces) on emploie d'autres matériaux comme :

- le verre dopé.
- les matières plastiques.
- les substances organiques.
- les cristaux optiques.

Typiquement, pour une fibre de silice l'indice de réfraction de la région de cœur est de l'ordre de 1.48 et celui de la gaine est de l'ordre de 1.46.

La fibre nue est mécaniquement très fragile et sujette aux attaques chimiques ; c'est pourquoi elle reçoit normalement un premier revêtement en plastique puis un second

revêtement qui vient renforcer la protection de la fibre pendant son maniement. Un câble à fibres optiques peut contenir une, deux ou plusieurs fibres optiques avec leurs revêtements.

### 2.4.2 Principe de fonctionnement de la fibre optique :

Lorsqu'un rayon lumineux est injecté dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre, en empruntant un parcours en zigzag.

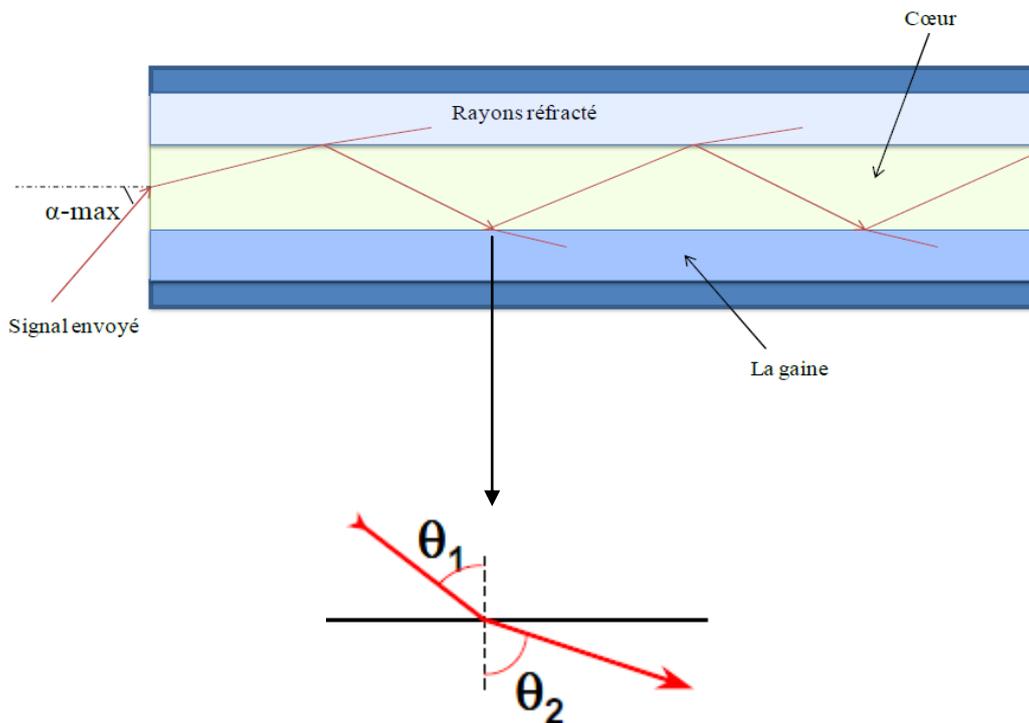


Figure 2. 9: Le guidage de la lumière dans une fibre optique.

L'ouverture numérique de la fibre  $ON$  représente le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre  $\alpha_{max}$ , pour que la lumière puisse être guidée sans pertes ; cet angle est mesuré par rapport à l'axe de la fibre, l'ouverture numérique est définie par la relation suivante :

D'après la loi de Snell-Descartes :  $n_c \sin \theta_1 = n_g \sin \theta_2$  (2.1)

$n_c$ : Indice de réfraction dans le Cœur.

$n_g$  : Indice de réfraction dans la gaine.

$\theta_1$  : Angle de réflexion dans le cœur.

$\theta_2$  : Angle de réflexion dans la gaine.

$$ON = \sin\alpha_{max} = \sqrt{n_{cœur}^2 - n_{gaine}^2} \quad (2.2)$$

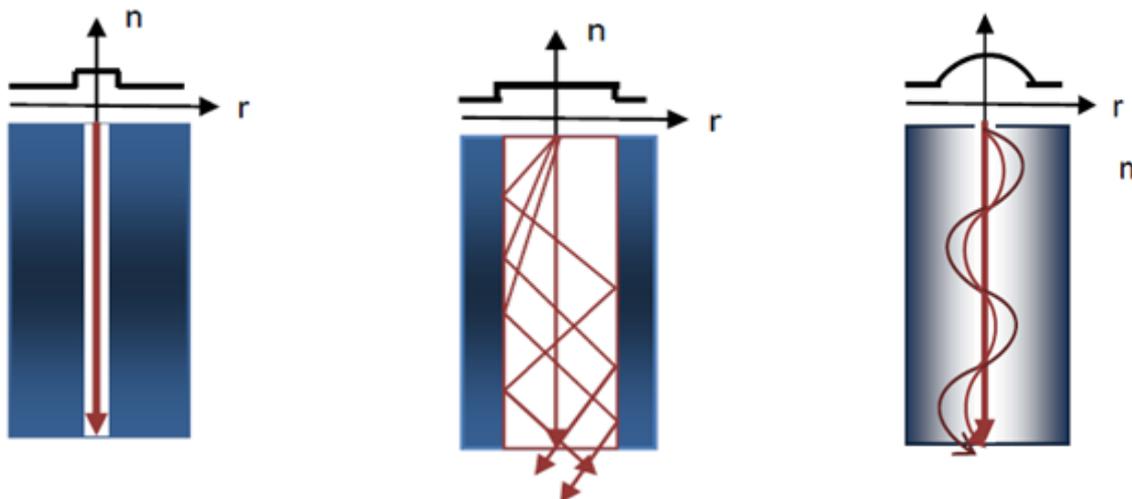
$\alpha_{max}$  : Angle d'incidence maximal.

ON : ouverture numérique.

### 2.4.3 Différents types de fibres optiques :

L'allure de l'indice de réfraction  $n_c$  du cœur joue un rôle important dans la propagation de la lumière dans la fibre. On distingue trois types de profils d'indice de réfraction  $n_c$ :

- La fibre monomode à saut d'indice
- La fibre multimodale à saut d'indice
- La fibre multimodale à gradient d'indice



**fibre monomode à saut d'indice    fibre multimodale à saut d'indice    fibre multimodale à gradient d'indice**

Figure 2. 10: Les différents types de fibres optiques.

### a) La fibre optique multimodale à saut d'indice :

L'indice de réfraction varie brusquement quand on passe du matériau de cœur à celui de la gaine. Le guidage de la lumière se fait selon des trajets différents suivant l'angle de réfraction, suite à des réflexions successives sur la rupture d'indice. Les rayons peuvent donc arriver au bout de la fibre à des instants différents, d'où une certaine dispersion du signal [5].

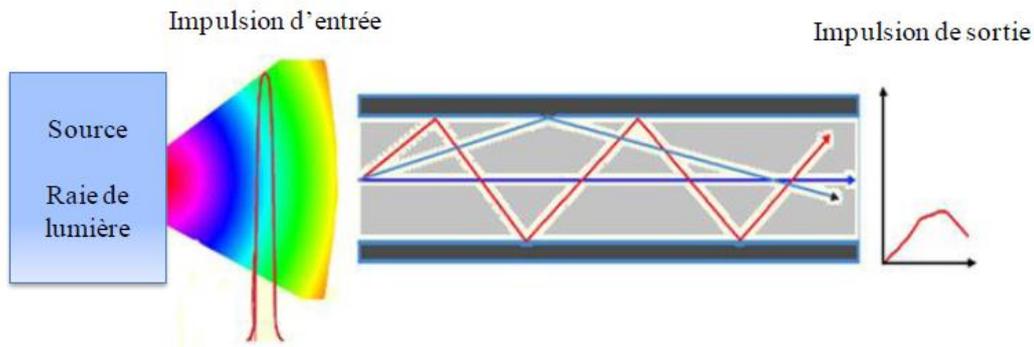


Figure 2. 11: Fibre optique multimode à saut d'indice.

La fibre à saut d'indice possède un cœur très large. L'atténuation sur ce type de fibre est très importante comme on peut le voir sur la différence des impulsions d'entrée et de sortie. Les fibres optiques multimode sont utilisées sur de courtes distances car le signal est modifié.

### a) Fibre optique multimode à gradient d'indice :

L'indice de réfraction diminue progressivement du centre du cœur jusqu'à l'interface avec la gaine, l'indice de réfraction de la gaine étant constant. Un exemple de ce type de profil est le profil parabolique.

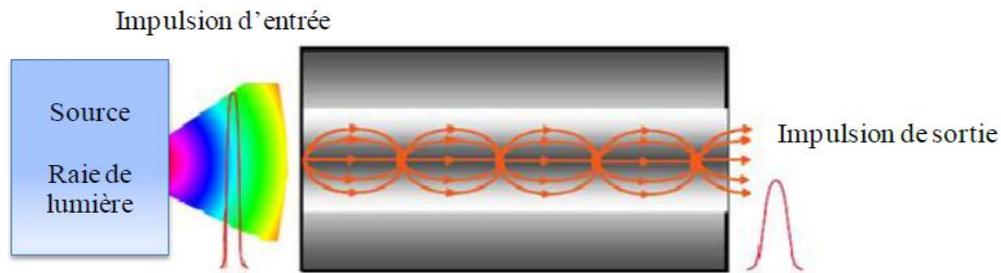


Figure 2. 12: Fibre optique multimode à gradient d'indice.

L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice, Les fibres à gradient d'indice sont les plus utilisées pour les moyennes distances.

#### b) Fibre optique monomode :

Elle présente une variation brusque de l'indice de réfraction quand on passe de la région de cœur à celle de la gaine .De plus la région de cœur est très étroite et ne permet la propagation que du mode axial.



Figure 2. 13: Fibre optique monomode.

L'atténuation sur ce type de fibre est quasi nulle, c'est ce qui en fait sa force, Ce type de fibre est utilisé pour des transmissions à longue distance.

#### 2.4.4 Caractéristiques et applications de la fibre optique :

Les principaux paramètres qui caractérisent les fibres optiques utilisées pour les transmissions sont les suivants :

- **Atténuation :**

L'atténuation caractérise l'affaiblissement du signal au cours de la propagation. L'atténuation linéaire se traduit alors par une décroissance exponentielle de la puissance en fonction de la longueur de fibre. Les fibres en silice connaissent un minimum d'atténuation vers 1 550 nm.

Cette longueur d'onde du proche infrarouge sera donc privilégiée pour les communications optiques. De nos jours, la maîtrise des procédés de fabrication permet d'atteindre couramment une atténuation aussi faible que 0,2 dB/km à 1 550 nm : après 100 km de propagation, il restera donc encore 1 % de la puissance initialement injectée dans la fibre, ce qui peut être suffisant pour une détection.



Figure 2. 14: L'atténuation dans la fibre optique.

- **Dispersion chromatique :**

La dispersion chromatique caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'ondes différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion propre au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil. Pour une fibre en silice, le minimum de dispersion se situe vers 1300-1310 nm.

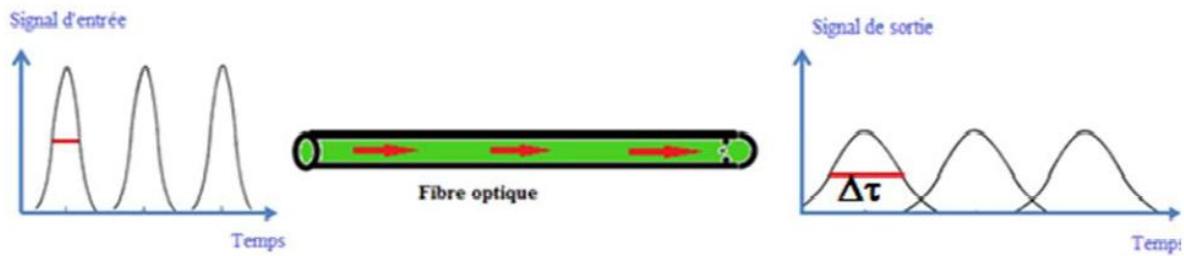


Figure 2. 15: La dispersion dans une fibre optique.

La fibre optique, grâce aux performances qu'elle offre, est de plus en plus utilisée dans les réseaux de télécommunications. Que ce soit des conversions téléphoniques, des images ou des données, c'est l'un des domaines où l'utilisation de la fibre optique est le plus important et a le plus d'avenir.

La deuxième application de la fibre optique c'est le domaine de médecine, elle est utilisée tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies.

Dans le domaine de l'éclairage, les fibres optiques sont aussi très utilisées, en muséographie, architecture et aménagement d'espace public et domestique.

Enfin, dans le balisage, la décoration ou encore en signalisation routière, les fibres optiques sont des outils couramment utilisés.

## 2.5. Le photodétecteur :

### 2.5.1 Définition :

Le photodétecteur est le dispositif responsable de la conversion du signal lumineux en un signal électrique tout en minimisant les déformations et dégradations engendré par le bruit.

Ce rôle est tenu par le photodétecteur, qui se comporte comme un compteur de photons et un générateur de courant. La première propriété requise est une sensibilité importante pour la longueur d'onde utilisée. La deuxième est la rapidité : il doit être utilisé dans des systèmes fonctionnant à 10 Gbits/s voire même 40 Gbits/s. La troisième propriété demandée est un apport minimum de bruit. Ces conditions ne seront remplies que si ce

photodétecteur est à semi-conducteur, qui présente les avantages d'être très rapides et faciles à utiliser, bien que d'autres dispositifs soient plus sensibles.

### 2.5.2 Les types de photodiodes :

A l'origine, la photodiode est une diode qui n'a pas été encapsulée et qui est donc sensible aux radiations extérieures. Son principe de fonctionnement est basé sur les mécanismes de conduction dans une jonction PN polarisée en inverse et soumise à un rayonnement. On distingue deux types de photodiodes:[6]

#### a) Les photodiodes PIN :

Pour effectuer la photo détection en évitant les recombinaisons des paires électron-trou, il est nécessaire que les photons soient absorbés dans une zone dépourvue de porteurs mobiles, assimilable à une zone de charge d'espace d'une jonction PN.

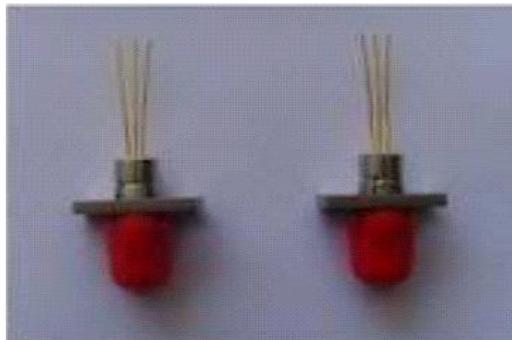


Figure 2. 16: Une diode PIN.

Pour favoriser le rendement quantique, il est préférable que cette zone soit large d'où l'intérêt de la photodiode PIN. Voir Figure 2.17.

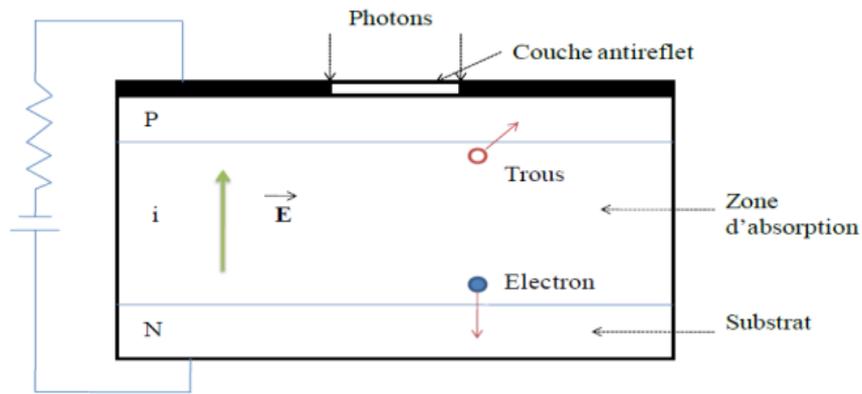


Figure 2. 17: Photodiode PIN.

La majorité des photons est absorbée dans la zone intrinsèque (I), où règne le champ électrique pratiquement uniforme, qui sépare les porteurs. Une des zones traversée par la lumière (P ou N) doit être de faible épaisseur, et recouverte d'une couche antireflet qui améliore le rendement quantique externe, et qui protège le matériau.

#### b) Les photodiodes à avalanche (PDA) :

Afin que le rapport signal sur bruit soit suffisamment important, l'idée d'utiliser le phénomène de multiplication interne pour qu'un photon incident n'engendre plus un seul photo-électron, mais plusieurs a été soulevée, ceci pour augmenter la puissance du signal électrique correspondant à une puissance optique incidente donnée.



Figure 2. 18: Une diode à avalanche.

En faisant croître le champ électrique dans la jonction PIN, l'énergie des porteurs s'élève, jusqu'au point d'ioniser un atome en cas d'impact avec celui-ci. Des ionisations en chaîne se produisent alors et les porteurs se multiplient. Voir Figure 2.19.

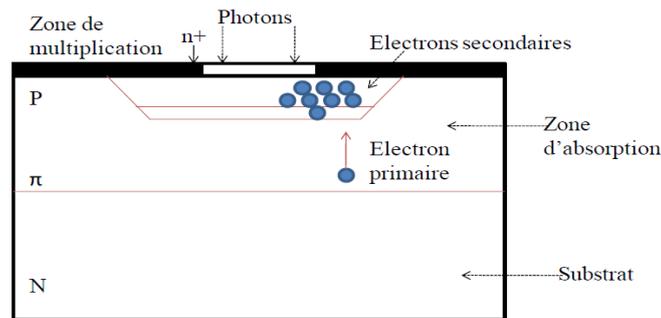


Figure 2. 19: Une photodiode à avalanche PDA.

L'absorption a lieu dans une zone large et peu dopée, dite zone d'absorption et la multiplication a lieu dans la jonction abrupte. En outre, pour une tension inverse élevée, la zone de charge d'espace s'étend dans la zone  $\pi$ , dont la résistivité va augmenter avec la tension. Ce principe introduit un effet stabilisateur: le champ électrique et le gain augmentent lentement, ce dernier peut atteindre de fortes valeurs tout en le commandant avec précision.

### 2.5.3 Application de photodiode :

La photodiode est utilisée dans plusieurs domaines tel que :

- les systèmes de communication optique.
- les dispositifs automobiles.
- les panneaux de cellules solaires.
- la mesure exacte de l'intensité de la lumière dans la science et l'industrie.
- les circuits de détection de photo.

### 2.6. Amplificateurs à fibre dopée Erbium (EDFA) :

L'amplificateur à fibre dopée EDFA (Erbium Dope Fiber Amplifier) est considéré comme un dispositif clé de tous les réseaux actuels de télécommunication optiques, il permet d'amplifier simultanément des longueurs d'ondes, et de compenser les pertes subies lors de la propagation.

Un amplificateur EDFA transforme l'énergie fournie par un système extérieur (pompe) et la restitue au signal pour l'amplifier.

Il se compose essentiellement d'une fibre active constituant le milieu amplificateur, d'une pompe laser, multiplexeur et isolateur [5].

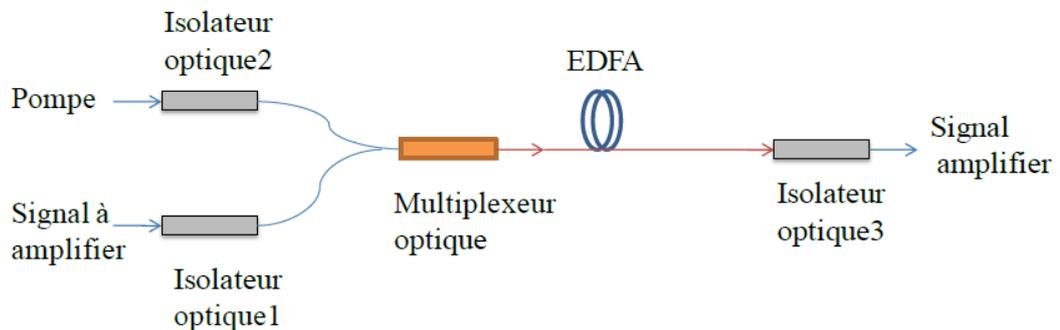


Figure 2. 20: Schéma synoptique d'un amplificateur à fibre dopée à l'erbium.

La pompe laser est un élément essentiel de l'amplificateur optique. C'est sur sa puissance qui est basée l'inversion de population favorisant l'amplification optique. La pompe est un laser à semi-conducteur, capable de produire de forte puissance en sortie avec un faisceau monomodale pour garantir un bon couplage dans la fibre monomode. Les longueurs d'onde de pompe choisis sont 980 et 1480 nm, un pompage simultané à ces longueurs d'onde leur offre un avantage propre: un bruit réduit à 1480 nm et une puissance de saturation élevée avec un bon rendement à 980 nm.

Le multiplexeur optique permet de coupler, d'injecter simultanément dans la fibre amplificatrice un signal avec celui de la pompe respectivement aux deux longueurs d'onde.

Ce dispositif doit présenter une perte d'insertion faible aux deux longueurs d'onde afin d'optimiser le rendement optique du système.

L'isolateur est un dispositif passif permettant la propagation du signal qu'en un seul sens. Placé à l'entrée, il arrête l'ESA contra-propagative et protège le laser émetteur de signal. En général, les isolateurs empêchent les bruits et toutes perturbations pouvant rendre le milieu oscillant. Placé en sortie, les isolateurs limitent les pertes qui dégradent le facteur de bruit.

La principale cause d'accumulation de bruit dans une liaison est la présence de bruit d'émission spontanée générée par les amplificateurs optiques à fibre dopée Erbium.

Différents phénomènes physiques peuvent conduire à une amplification du signal, mais l'amplificateur qui s'est imposé dans le domaine des télécommunications est l'amplificateur à fibre dopée Erbium. Son principe est introduit dans un premier temps avant de considérer le bruit généré dans les amplificateurs.

## 2.7. Techniques de multiplexages optiques :

### 2.7.1 Principe de multiplexage optique :

La technique du multiplexage est utilisée pour augmenter la capacité de transmission des fibres existantes tout en évitant de poser de nouveaux câbles.

Le multiplexage représente la combinaison de signaux indépendants en un seul signal composite destiné à être transmis sur une seule fibre optique afin de multiplier la bande passante de celle-ci. Le procédé nécessite l'utilisation en entrée d'un multiplexeur, et en sortie d'un démultiplexeur [6].

Chaque longueur d'onde utilisée représente donc un canal (une voie) de transmission. Le multiplexage en longueur d'onde « Wavelength Division Multiplexing » (WDM) est la technologie qui permet cette opération.

On réalise le multiplexage principalement dans des fibres monomodes, à partir de plusieurs diodes laser monomodes à spectre fin ou d'une seule diode à spectre large.

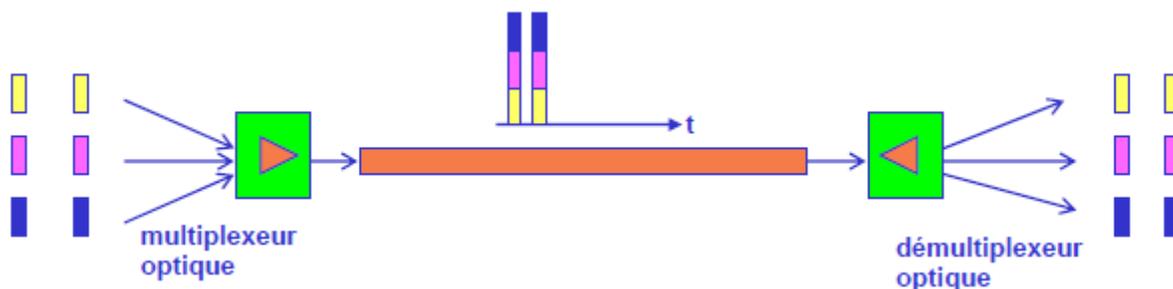


Figure 2. 21: Principe d'une liaison WDM.

Le multiplexeur regroupe les signaux émanant de différentes sources sur la fibre à haut débit.

A la réception le démultiplexeur reçoit les informations multiplexées, les sépare puis les délivre sur les bonnes lignes de sortie (photodiodes). Les multiplexeurs sont des composants bidirectionnels. Le même composant peut réaliser la fonction de multiplexage et de démultiplexage.

La recommandation internationale ITUT-TG-692 autorise un peigne de longueurs d'onde dans la fenêtre 1530-1565nm, tel que l'espacement en « nm » ou en « GHz » entre 2 longueurs d'onde permises de la fenêtre soit de :

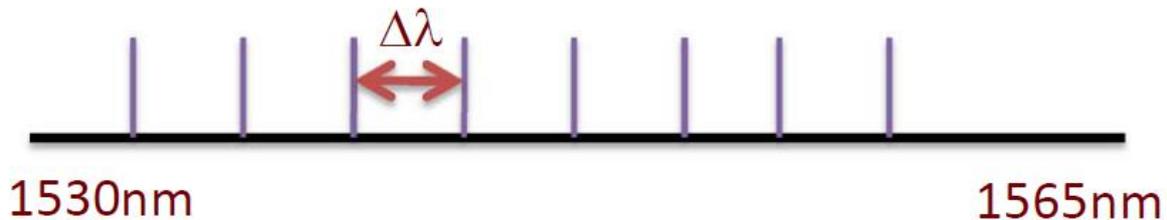


Figure 2. 22: Schéma présente l'espacement entre deux longueurs d'onde.

Et suivant l'espacement considéré le nombre de canaux qu'on peut obtenir est de :

- **200 GHz** ou **1.6 nm** avec **20** canaux de transmission.
- **100 GHz** ou **0.8 nm** avec **40** canaux de transmission.
- **50 GHz** ou **0.4 nm** avec **80** canaux de transmission.
- **25 GHz** ou **0.2 nm** avec **160** canaux de transmission.

On cherche dans tous les cas à optimiser l'utilisation de la fenêtre de transmission de la fibre (Environ 100nm).

La technologie WDM est dite dense (**D-WDM**) lorsque l'espacement utilisé est égal ou inférieur à **100 GHz**.

Des systèmes à **50 GHz** (0,4 nm) et à **25 GHz** (0,2 nm) permettent d'obtenir respectivement 80 et 160 canaux optiques.

Pour des espacements encore plus faibles, on parle d'**U-WDM** : Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing. Ainsi, des systèmes à **10 GHz** (0,08 nm) permettent d'obtenir **400 canaux optiques**.

Les systèmes WDM / DWDM les plus commercialisés aujourd'hui comportent 8, 16, 32, 80 canaux optiques, ce qui permet d'atteindre des capacités de 80, 160, 320, 800 Gb/s en prenant un débit nominal de 10 Gb/s.

On peut atteindre une capacité de 4000 Gb/s avec 400 canaux optiques à 10Gb/s, en technologie U-DWDM.

Il existe aussi le Coarse WDM qui est une autre norme. Le CWDM: WDM faible densité, n'utilise que quelques longueurs d'onde espacées sur tous le spectre (1270-1610 nm) .Un câble peut contenir jusqu'à 4 paires de fibres, donc la capacité totale peut atteindre 16 Tbit/s en U-WDM. On parvient à l'heure actuelle à réaliser 256 canaux dans une seule fibre.

### **2.8. Avantages et inconvénients de la fibre optique :**

Contrairement à d'autres supports de transmission la fibre optique présente un inconvénient qui est le cout d'exploitation élevé mais offre de nombreux avantages pour les télécommunications:

- Bande passante très grande.
- Immunité au bruit.
- Absence de rayonnement vers l'extérieur.
- Isolation électrique.
- Résistance aux températures élevées et aux produits corrosifs.
- Poids et dimensions réduites.
- Très faibles pertes de transmission.

### **2.9. Conclusion :**

Ce chapitre permet de présenter les systèmes de transmission de données par fibre optique. On a commencé par l'étude de la chaine de transmission optique en décrivant tous les éléments optique et ses caractéristiques et à la fin on définit le multiplexage et son principe.







## Chapitre 03 : Simulations et interprétations des résultats.

### 3.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats des différentes simulations en utilisant le logiciel COMSIS lors de la transmission des données à travers la fibre optique.

Pour cela on va tenir compte de la longueur de la fibre, le débit et le bruit.

- a) La première simulation sera consacrée pour le cas d'une chaîne multiplexée de quatre signaux de débit différent.
- b) Pour la deuxième simulation on va varier la longueur de la fibre optique  $L$  et à travers le diagramme de l'œil on déduit le facteur de qualité  $Q$  et le TEB.
- c) La troisième simulation sera consacré sur le bruit, pour cela on calcule le rapport signal bruit et faire la comparaison.
- d) Dans la dernière simulation on propose un bruit extérieur et on l'ajout un amplificateur optique et un filtre BF pour récupérer le signal initial.

### 3.2 Présentation du logiciel COMSIS :

#### 3.2.1 Introduction au logiciel COMSIS :

COMSIS( COMMunication System Interactive Software) est un logiciel de simulation de n'importe quelle chaîne de télécommunications avec ses différents modules des plus élémentaires au plus complet en se basant sur des schémas blocs



des systèmes analogiques ou numériques. Ce simulateur est développé par une société française, **IPSIS** (Ingénierie Pour Signaux et Systèmes), basé sur la technopole de Renne. COMSIS offre la possibilité de constituer des bibliothèques à partir de programmes externes ou par association de modèles standard. Il représente une solution complète au problème de la modélisation et de la simulation. Ce simulateur fonctionne en interactif pour la mise au point de nouvelles applications ou en batch lorsqu'il s'agit de réaliser des études paramétriques : bruits, non linéarité, stabilité... c'est un environnement interactif qui rassemble des outils numériques efficaces à des fonctionnalités graphiques puissantes et une interface utilisateur conviviale. Son principe repose sur les schémas-blocs [7].

### 3.2.2. Interface COMSIS :

L'interface COMSIS comporte une fenêtre principale et une fenêtre alphanumérique.

#### a) La fenêtre principale :

Rassemble les deux types de fonctions de COMSIS, les fonctions d'édition des schémas-blocs et les fonctions de traitement.

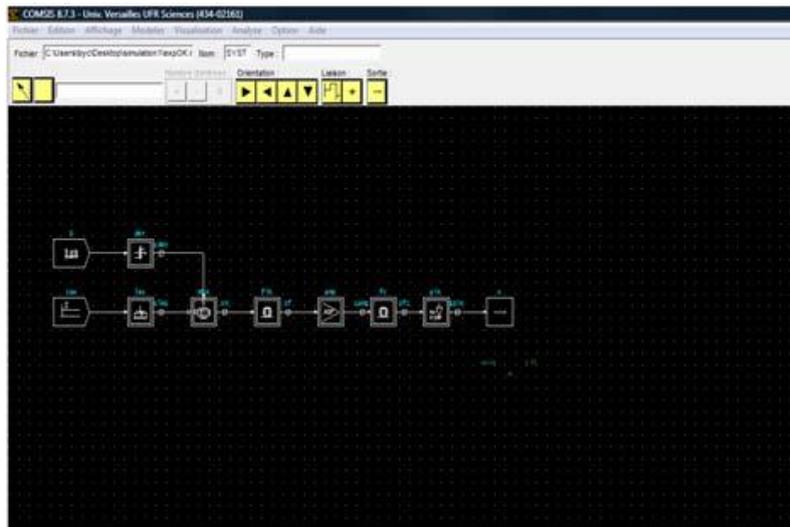


Figure 3. 1: Editeur de schéma bloc.

La conception d'un schéma-bloc est assez simple il suffit de sélectionner les composants disponibles dans la bibliothèque à l'aide de la souris et les déposer sur la feuille du dessin (qui correspond à la partie visible de la feuille de dessin elle délimite la surface de tracé du système en cours de description. L'agrandissement, la réduction ainsi que la position de la zone de dessin sur la feuille de dessin sont respectivement contrôlés par les commandes de zoom et les barres de défilement), Ces modèles doivent être nommés et interconnectés entre eux. Une fois terminé on passe au paramétrage de ces derniers qui peut-être numérique ou formel. La chaîne est maintenant complète et peut être analysée.

#### b) La fenêtre alphanumérique :

Elle est utilisée au lancement d'une analyse pour insérer des paramètres de simulation ou pour afficher l'ensemble des messages ou informations édités, spontanément ou sur requêtes, par le logiciel au cours de son exécution.

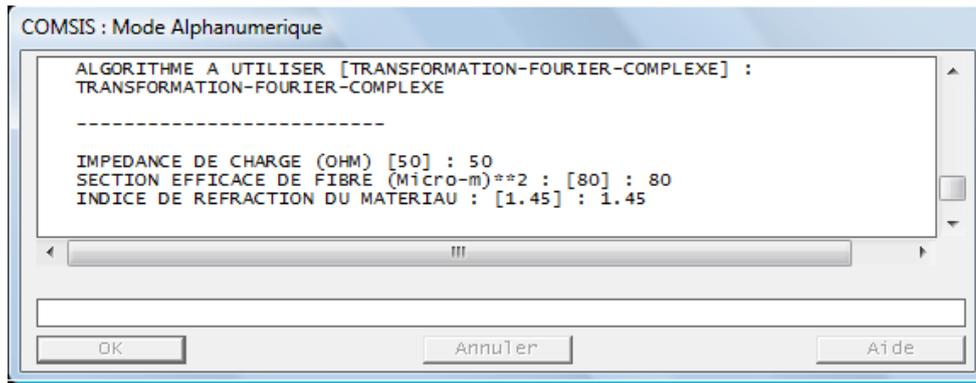


Figure 3. 2: Interface alphanumérique.

**c) La bibliothèque :**

Elle contient tous types de modèles qui permettent de réaliser les différents schémas blocs: entrées, régénérateurs, codeurs, modulateur, filtres...

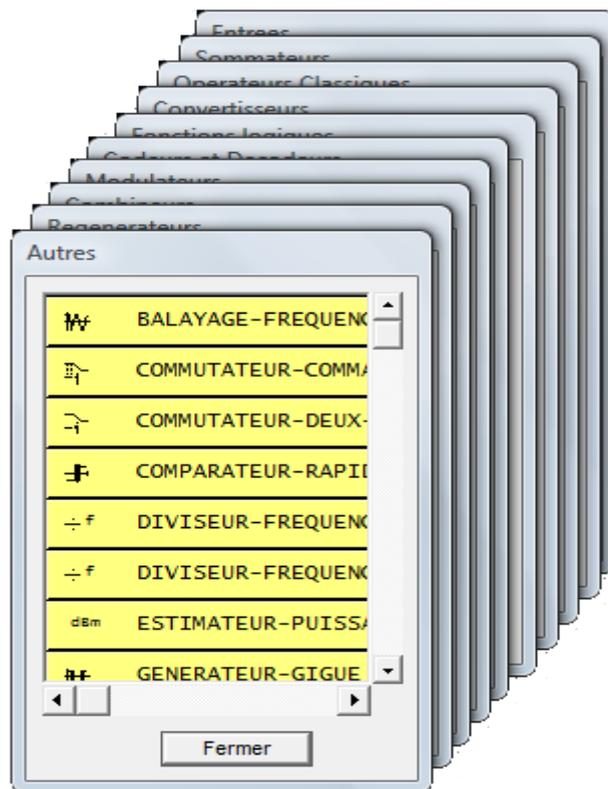


Figure 3. 3: La bibliothèque de modèle COMSIS.

### 3.2.3 Les différents types d'analyse :

Une fois la conception du schéma-bloc est terminée, COMSIS peut effectuer plusieurs types d'analyse (statique, stabilité, transfert de boucle,...) d'un composants, d'un opérateur fonctionnel, de la liaison entière ou partielle permettant de visualiser leurs performances ou leurs caractéristiques.

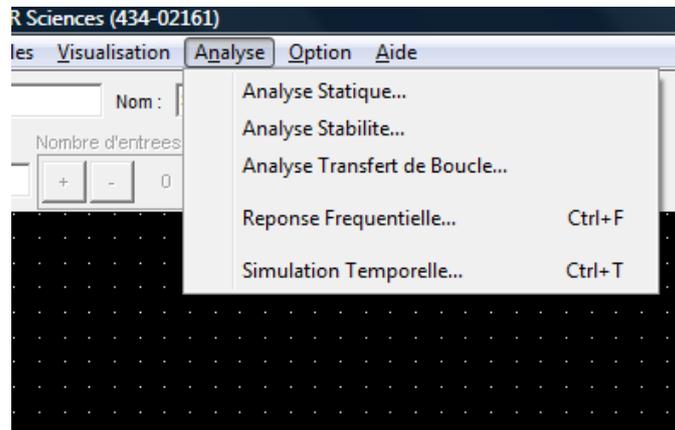


Figure 3. 4: Le menu d'analyse de COMSIS.

#### a) L'analyse statique :

La commande analyse statique de menu analyse est utilisée pour visualiser les courbes caractéristiques d'un certain modèle. En activant cette commande la cohérence de schéma sera vérifiée, les calculs effectués et les courbes seront affichés dans la fenêtre graphique.

#### b) L'analyse de stabilité :

L'activation de cette commande permet de calculer la réponse en fréquence et les marges de stabilité (phase, retard, module, module complémentaire) d'un sous-système linéaire. La visualisation graphique peut être présentée sous trois formes : diagramme de Bode, de Black et de Nyquist.

#### c) L'analyse de transfert de boucle :

La commande Analyse Transfert de Boucle provoque le calcul de la réponse en fréquence et des marges de stabilité des boucles. COMSIS édite les résultats sous la même forme que pour l'analyse de stabilité.

**d) La réponse fréquentielle :**

Cette commande permet de calculer la réponse fréquentielle d'un opérateur de filtrage non rationnel ou d'un sous-système rationnel. Le logiciel vérifie toujours la cohérence du schéma. Lorsque le calcul est terminé, COMSIS affiche la réponse fréquentielle en amplitude, en phase et en temps de propagation de groupe.

**e) La simulation temporelle:**

La commande Simulation Temporelle du menu Analyse permet de déterminer la réponse d'un système à des signaux dans le domaine temporel. Cette analyse est légèrement différente car elle ne concerne plus l'analyse d'un opérateur mais plutôt l'analyse du signal envoyé pendant sa transmission. A l'issue de la simulation, la fenêtre d'Evaluation des Performances propose différents traitements sur les variables simulées.

**3.2.4 La visualisation et le traitement des résultats :**

La simulation temporelle est l'analyse permettant le plus grand nombre de possibilités dans l'exploitation des résultats. Les autres analyses affichent directement le résultat demandé dans la fenêtre graphique.

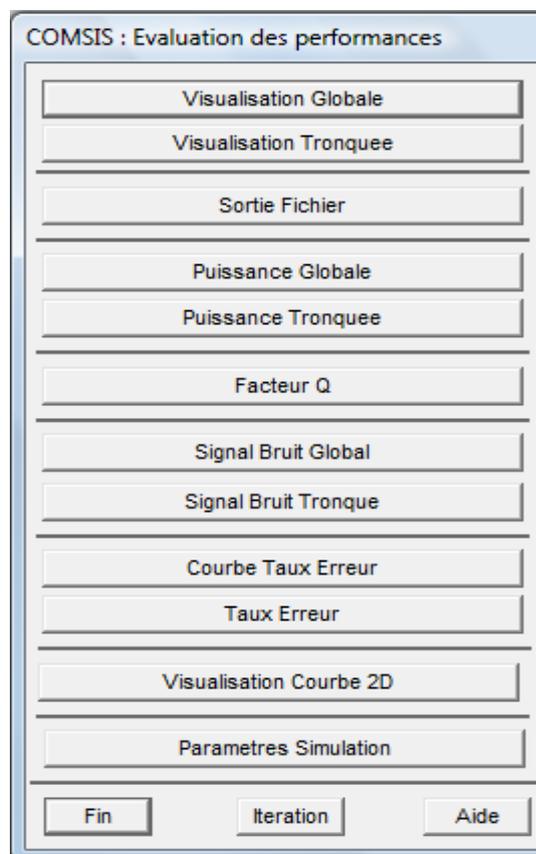


Figure 3. 5: Fenêtre d'évaluation de performances.

Durant la simulation, un écran de contrôle permet de suivre l'état d'avancement des calculs. A la fin de la simulation, la fenêtre d'Evaluation des Performances propose plusieurs possibilités.

La commande Visualisation affiche les variables calculées, soit directement dans le domaine temporel, soit après qu'elles aient subi un prétraitement. Lorsque cette commande est activée, la fenêtre Variables et Prétraitements apparaît et donne accès aux choix de ces traitements à effectuer et des variables simulées sur lesquels les effectuer.

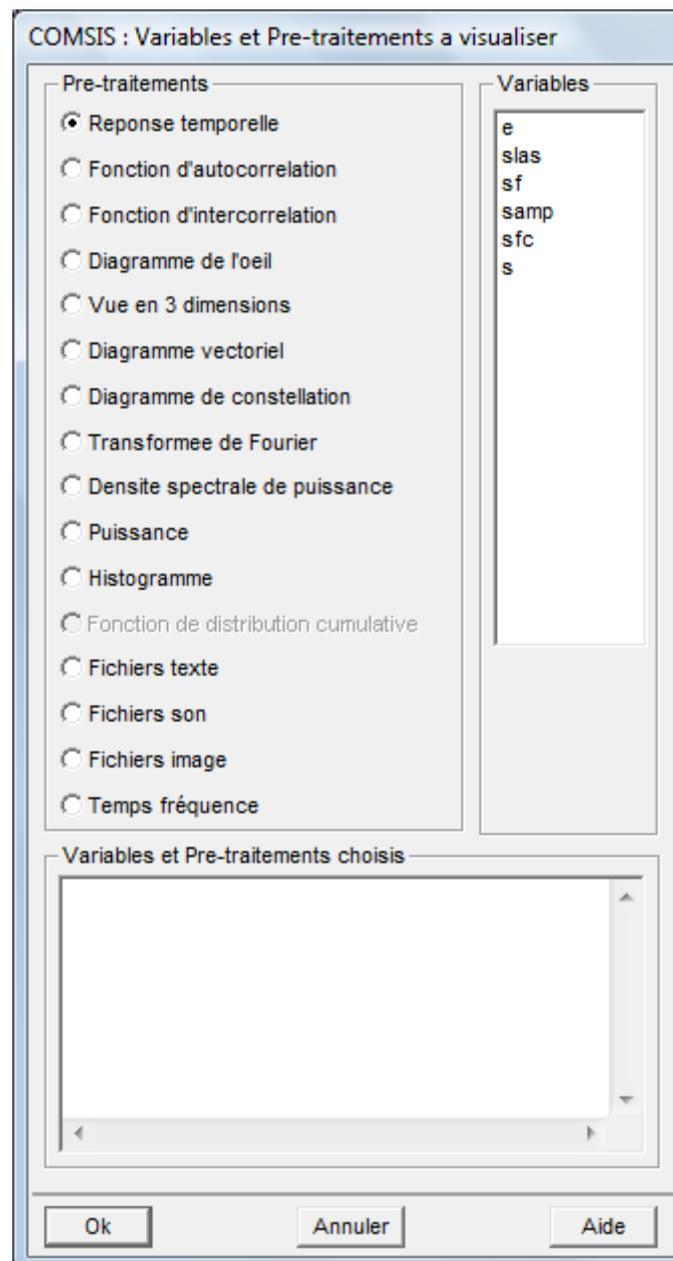


Figure 3. 6: Fenêtre variable et prétraitement à visualiser.

Par la suite nous allons essayer de détailler quelques-unes de ces variables.

**a) La réponse temporelle :**

Cette commande permet d'observer directement les variables simulées, sans prétraitement. L'abscisse des courbes est constituée d'une base de temps.

**b) Le diagramme de l'œil :**

Expérimentalement, on obtient le diagramme de l'œil en observant, sur un oscilloscope, le signal reçu, en fonction d'une base de temps synchronisée sur l'horloge des données. En simulation, on utilise une technique identique qui repose sur la connaissance d'une variable d'horloge de synchronisation, utilisée pour générer la base de temps appropriée.

COMSIS offre la possibilité de faire des mesures quantitatives sur les diagrammes de l'œil : ouverture horizontale, ouverture verticale, taux d'erreur binaire, hauteur de l'œil, facteur Q, largeur de l'œil...

**c) La densité spectrale de puissance :**

La densité spectrale de puissance d'un signal donne une idée de la largeur de bande nécessaire pour la transmettre. Elle permet également d'apprécier l'efficacité de certaines fonctions et d'évaluer différents types de brouillage.

**d) Détermination du facteur Q :**

La simulation a permis de calculer le signal bruité dont on veut évaluer le facteur Q.

COMSIS calcule alors les niveaux moyens du signal bruité et les écarts-types sur la transmission des niveaux hauts et des niveaux bas pour donner le facteur Q.

**e) Taux d'erreur sur les bits :**

COMSIS propose trois méthodes de mesure du taux d'erreurs binaire (TEB) et le tracé des courbes de taux d'erreur (La méthode de Monte-Carlo, L'estimation basée sur la théorie de la valeur extrême, L'extrapolation de la queue de la distribution).

### 3.2.5 Critères de qualité d'une transmission :

Lors du transport d'un signal par la fibre optique il s'expose à des dégradations et pour le juger il faut étudier les paramètres suivants :

### a) Le diagramme de l'œil :

Le diagramme de l'œil est une méthode pour représenter et analyser un signal numérique haut débit. Il permet de visualiser et de déterminer rapidement les principaux facteurs de qualité électrique du signal. Le diagramme de l'œil est construit à partir d'une forme d'onde numérique en superposant les courbes correspondant à chaque bit sur un même graphe avec l'amplitude du signal en Y (axe vertical) et le temps en X (axe horizontal). En répétant l'opération sur un grand nombre d'échantillons de signal, le graphe obtenu fournit les statistiques moyennes du signal et présente l'aspect d'un œil [8].

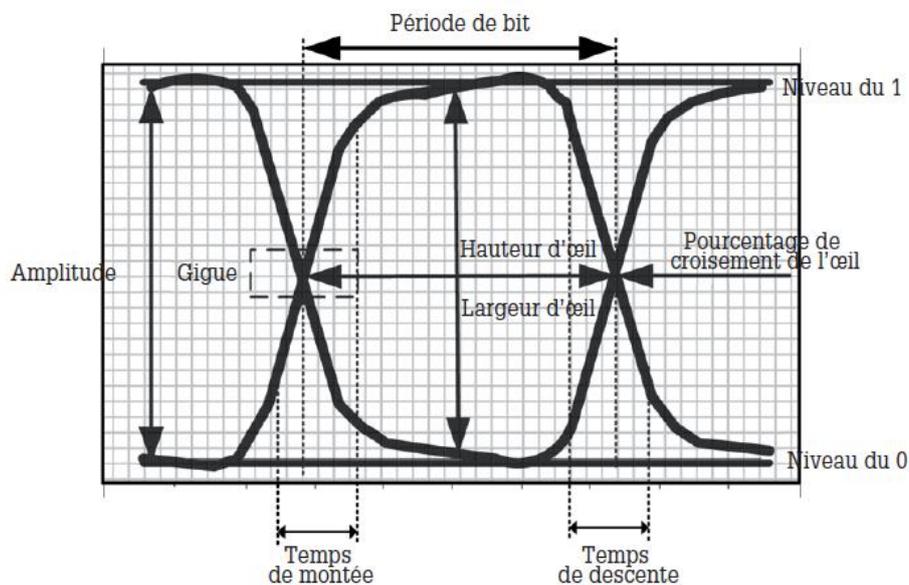


Figure 3. 7: Mesures typiques du diagramme de l'œil.

Les expériences ont montré que plus le bruit d'amplitude ou la gigue temporelle sont élevés, plus les « bords » du diagramme de l'œil « s'épaississent » et plus la qualité du signal transmis est mauvaise.

### b) Le facteur de qualité en amplitude ou facteur Q :

Le facteur Q, ou facteur de qualité, est un critère de qualité d'un signal optique. Il est obtenu à partir des statistiques de bruit (moyennes et écarts-types) des niveaux « 1 » et « 0 » du signal à détecter. Le facteur Q est défini par :

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (3.1)$$

D'où :

$\mu_0, \mu_1$  : désignent les valeurs moyennes des niveaux « 1 » et « 0 » du signal.

$\sigma_0, \sigma_1$  : désignent les écarts-types respectifs de  $\mu_0$  et  $\mu_1$ .

Plus le signal est de mauvaise qualité, plus le diagramme de l'œil est fermé, plus les facteurs de qualité est faible et ainsi plus la détection du signal sans erreur est difficile. Le diagramme de l'œil est donc un excellent moyen visuel de juger de la qualité du signal dans la limite de la réponse de la photodiode et de l'oscilloscope utilisé [7].

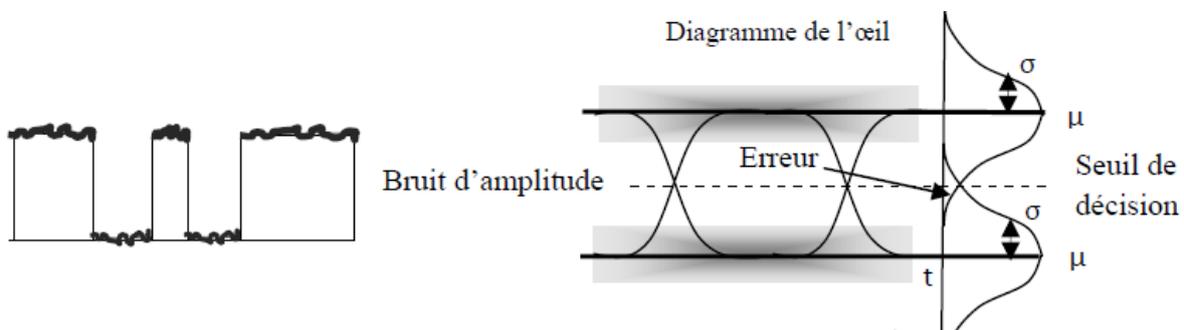


Figure 3. 8: Effet de bruit d'amplitude sur de diagramme de l'œil.

### c) Le taux d'erreurs binaire :

Le taux d'erreur binaire ou B.E.R., abréviation de l'expression anglaise *Bit Error Rate*, désigne une valeur, relative au taux d'erreur, mesurée à la réception d'une transmission numérique, relative au niveau d'atténuation et/ou de perturbation d'un signal transmis. Il se définit comme suit :

$$\text{TEB} = \frac{\text{nombre de bits erronés}}{\text{nombre de bits transmis}} \quad (3.2)$$

Donc l'augmentation du TEB signifie la mauvaise qualité de signal et tant que TEB faible notre signal est bon.

### d) Le rapport signal sur bruit :

Le bruit le plus gênant est évidemment le bruit aléatoire. Il peut modifier notablement le signal à certains moments et produire des confusions entre "0" et "1". Pour cette raison, il faut veiller à ce que la puissance du signal soit supérieure à celle du bruit. Le paramètre correspondant est le rapport "signal sur bruit" S/B défini en décibels par :

$$S/B(\text{en décibels})=10 \log_{10}(P_S(\text{Watt})/P_B(\text{Watt})) \quad (3.3)$$

Où  $P_S$  et  $P_B$  désignent respectivement les puissances du signal et du bruit.

### 3.3 La première simulation : l'influence du multiplexage sur les signaux de sortie.

La première simulation sera consacrée pour le cas d'une chaîne multiplexée de quatre signaux de débit différent comme le montre la figure 3.9 puis On fera une comparaison entre les signaux.

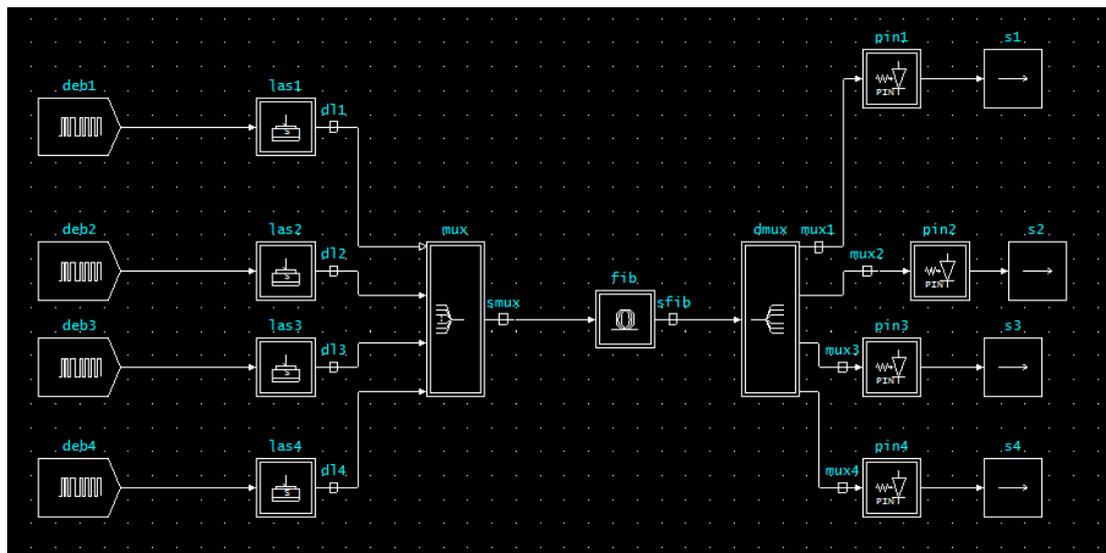


Figure 3. 9: Synoptique d'une chaîne optique multiplexés faite par logiciel COMSIS.

#### 3.3.1 Description du bloc utilisé dans la simulation :

Les blocs les plus importants utilisés par COMSIS pour notre simulation sont :

- Générateur du courant laser.
- Laser, photodecteur.
- Multiplexeur, démultiplexeur.
- La fibre optique.

##### a) Le courant-laser :

Le courant-laser responsable de la génération du courant d'entrée de laser il est formé uniquement de deux valeurs :  $I_{min}$  et  $I_{max}$  qui représentent le courant qui entre dans le laser quand l'information à transmettre est un 0 ou un 1 respectivement.

On augmente le débit de chaque émetteur par 500Mbits/s :

**Emetteur 1 :**

La figure 3.10 présente les différents paramètres à introduire pour générer les signaux d'entrée.

Figure 3. 10: Paramètres caractéristiques du courant laser 1.

**Emetteur 2 :**

Figure 3. 11: Paramètres caractéristiques du courant laser 2.

**Emetteur 3 :**

Figure 3. 12: Paramètres caractéristiques du courant laser 3.

**Emetteur 4 :**

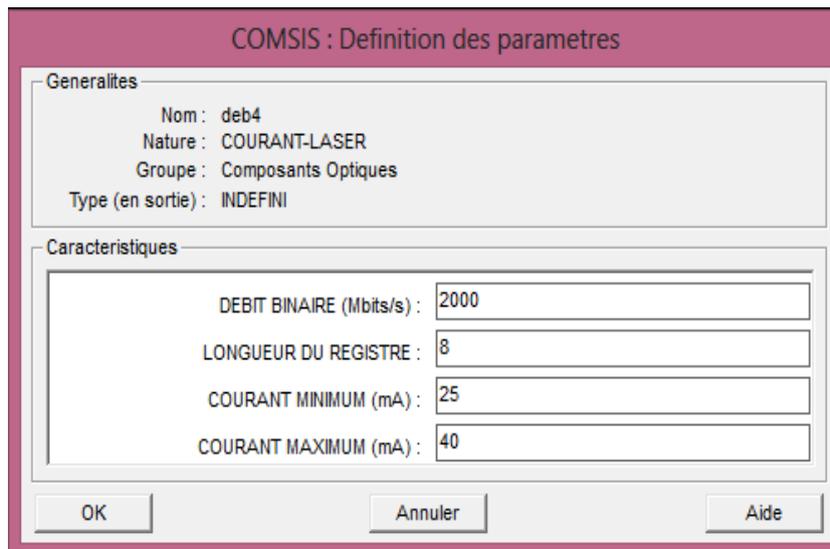


Figure 3. 13: Paramètres caractéristiques du courant laser 4.

**b) Le laser :**

Le laser permet de moduler directement le courant électrique représentant la séquence de données en le transformant en une puissance optique.

**Laser1 :**

La figure 3.14 présente le composant optique qui permet de convertir le signal électrique en un signal lumineux optique ainsi que les paramètres de fonctionnement.

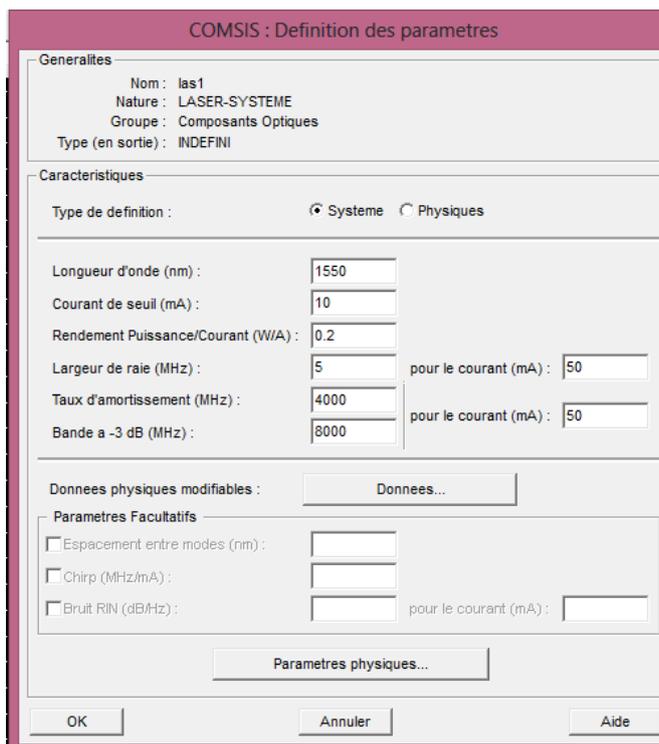


Figure 3. 14: Paramètres caractéristiques du laser 1.

**Laser 2 : Paramètres de fonctionnement de laser 2.**

Figure 3. 15: Paramètres caractéristiques du laser 2.

**Laser 3 :**

Figure 3. 16: Paramètres caractéristiques du laser 3.

**Laser 4 :**

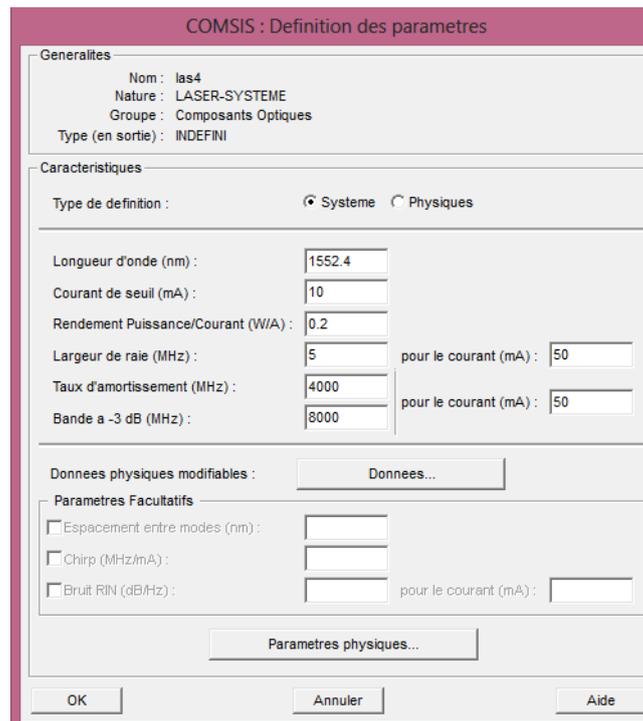


Figure 3. 17: Paramètres caractéristiques du laser 4.

**c) Le multiplexeur :**

C'est un multiplexeur WDM, ce dispositif sert à multiplexé les quatre signaux en un seul signal et l'envoyé dans la fibre. La figure 3.18 indique les paramètres de fonctionnement à introduire.

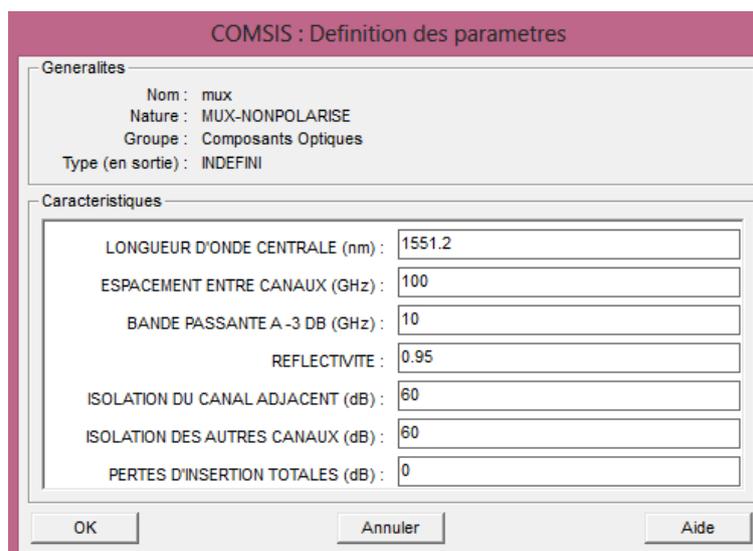


Figure 3. 18: Paramètres caractéristiques du multiplexeur.

**d) La fibre optique :**

On utilise une fibre optique monomode avec une longueur variable  $L$ , une atténuation de 0.2db/km et avec une dispersion chromatique constante qui égale à 17ps/nm/km comme le montre la figure 3.19.



Figure 3. 19: Paramètres caractéristiques de la fibre optique.

**e) Le demultiplexeur :**

La figure 3.20 présente les paramètres de démultiplexeur utilisé dans notre simulation.

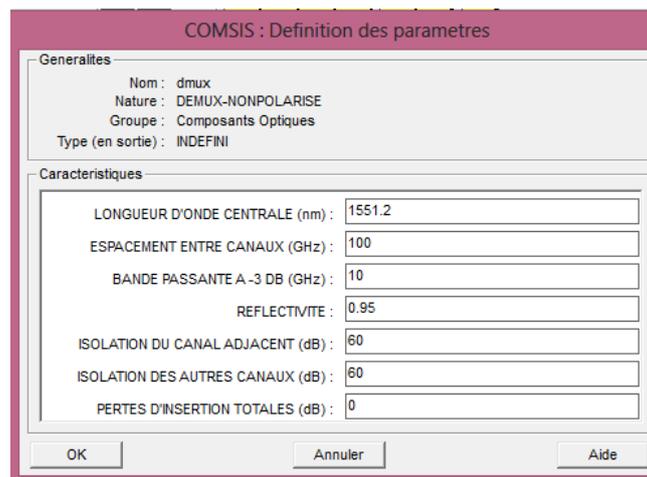


Figure 3. 20: Paramètres caractéristiques du démultiplexeur.

**f) La photodiode :**

Le type utilisé c'est la PIN avec une sensibilité de 0.5A/W.

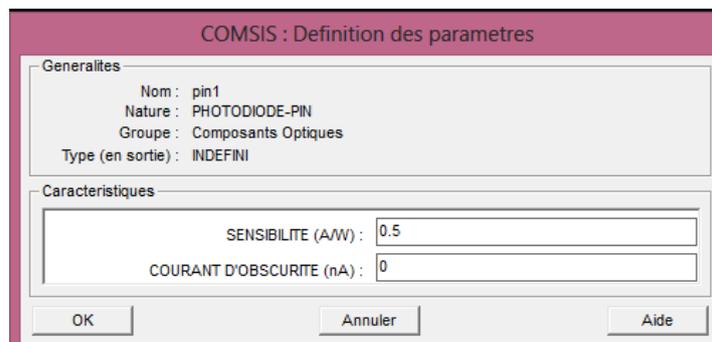


Figure 3. 21: Paramètres caractéristiques de la PIN.

3.3.2. L'analyse temporelle :

On utilisant la simulation de la figure 3.9, elle nous donne les signaux d'entrée et de sortie du multiplexeur.



Figure 3. 22: Comparaison entre signal d'entré et de sortie pour laser 1.

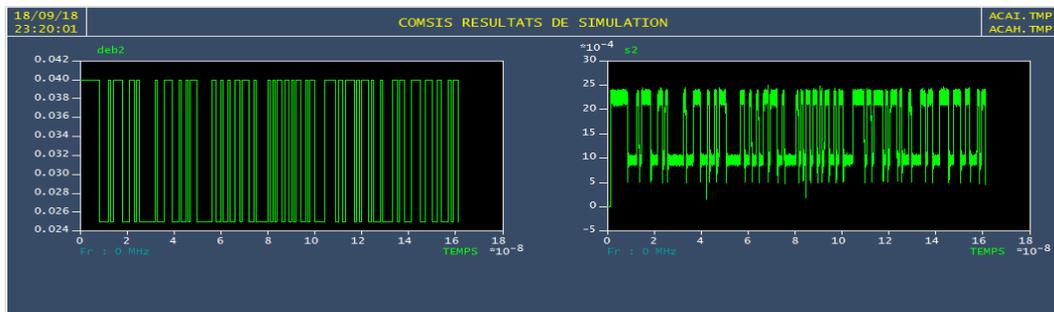


Figure 3. 23: Comparaison entre signal d'entré et de sortie pour laser 2.

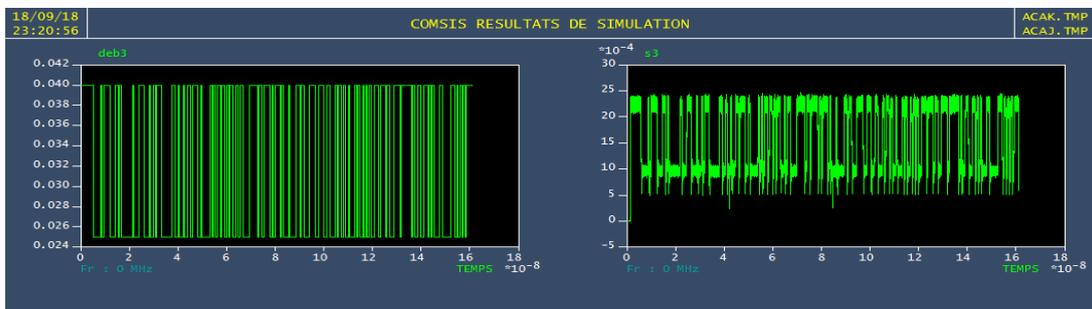


Figure 3. 24: Comparaison entre signal d'entré et de sortie pour laser 3.

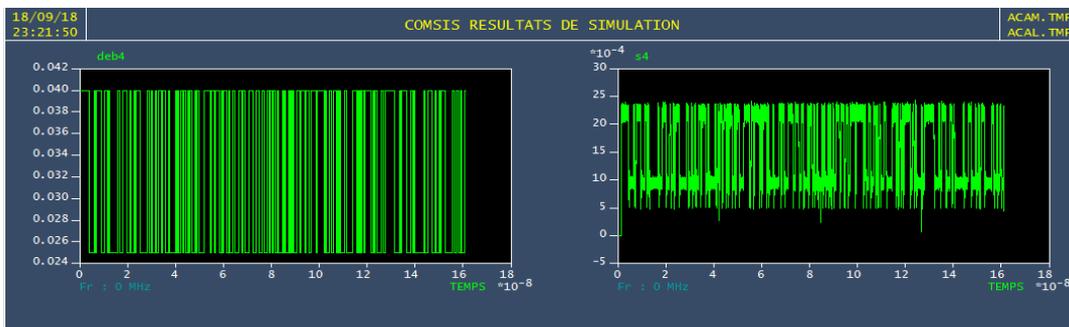


Figure 3. 25: Comparaison entre signal d'entré et de sortie pour laser 4.

D'après les figures 3.22 ,3.23, 3.24, 3.25 on remarque que les signaux d'entrées et de sorties sont presque identique car le signal de sortie présente un bruit résiduelle très faible. Ce signifie que le passage du signal à travers le multiplexeur est acceptable.

### 3.4 La deuxième simulation : l'influence de la longueur de la fibre sur la qualité du signal.

#### a) Le diagramme de l'œil pour L=1m :

On utilisant la figure 3.19, on change la longueur de la fibre à L=1m. D'après des options de COMSIS on visualise le diagramme de l'œil et il nous donne aussi deux paramètres : le facteur Q et le TEB.

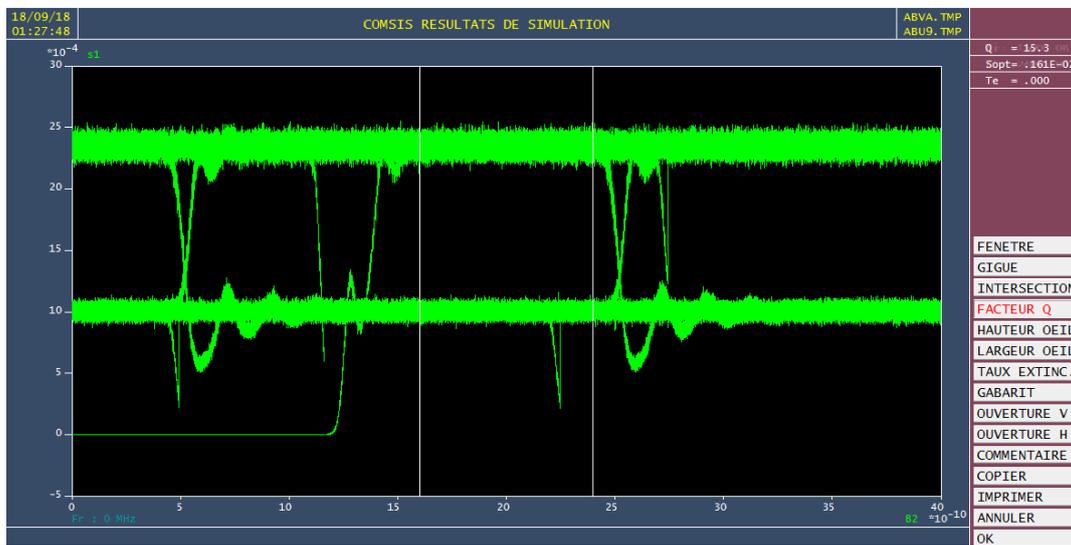


Figure 3. 26: Diagramme de l'œil de la sortie 01 avec L=1m et D=500 Mbits/s.

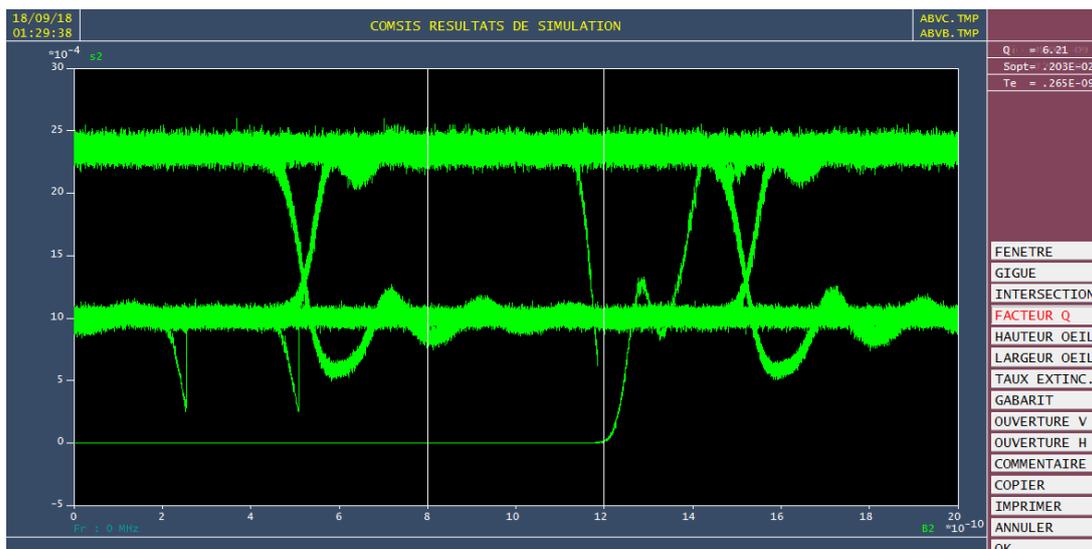


Figure 3. 27: Diagramme de l'œil de la sortie 02 avec L=1m et D=1000 Mbits/s.

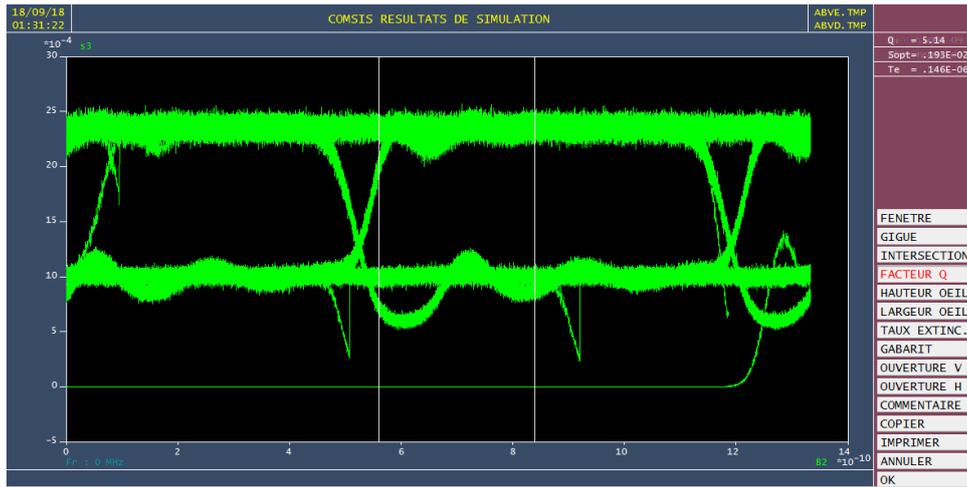


Figure 3. 28: Diagramme de l'œil de la sortie 03 avec L=1m et D=1500 Mbits/s.

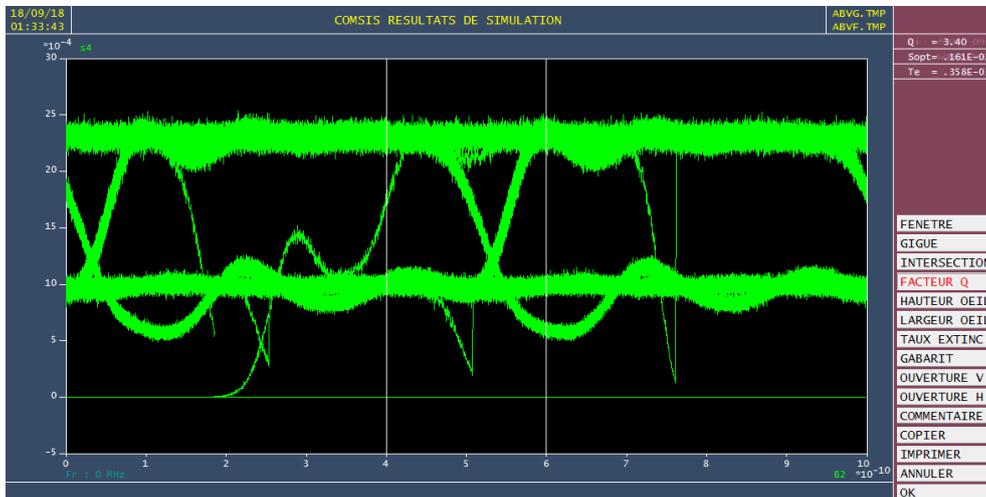


Figure 3. 29: Diagramme de l'œil de la sortie 04 avec L=1m et D=2000 Mbits/s.

**b) Le diagramme de l'œil pour L=10m :**

Cette fois on choisit L=10m et on répète la simulation.

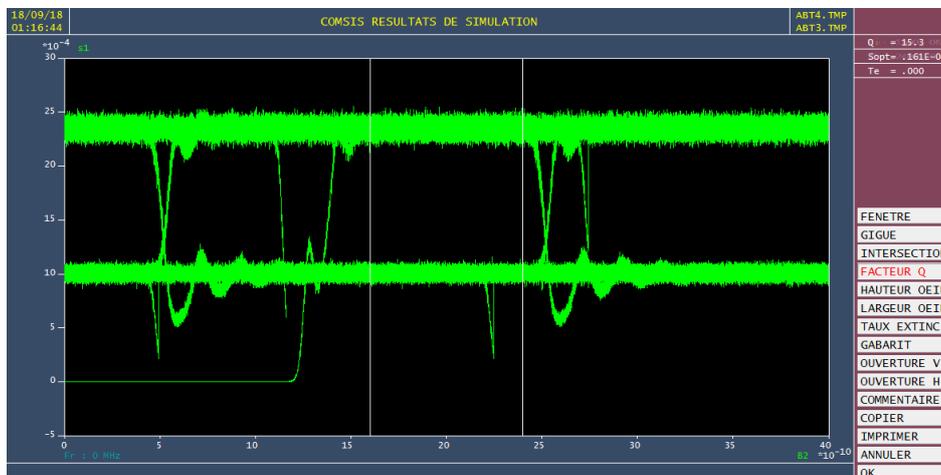


Figure 3. 30: Diagramme de l'œil de la sortie 01 avec L=10m et D=500 Mbits/s.

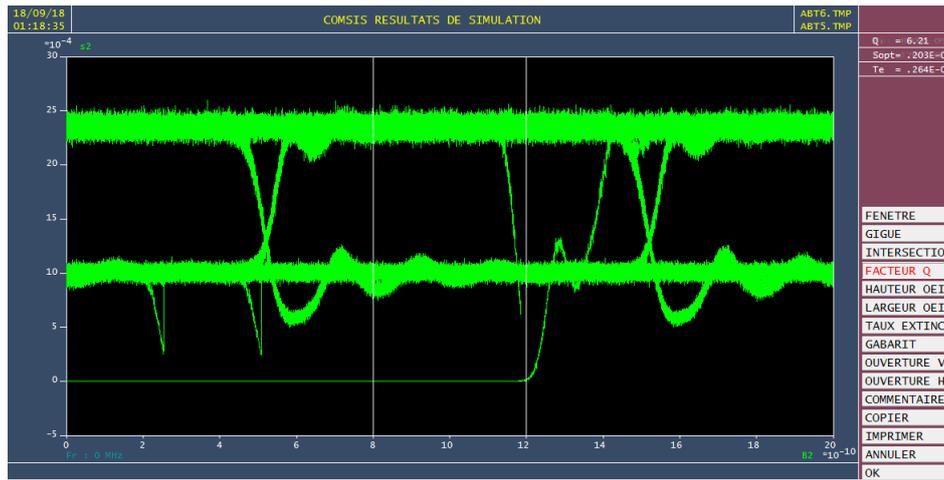


Figure 3. 31: Diagramme de l'œil de la sortie 02 avec L=10m et D=1000 Mbits/s.

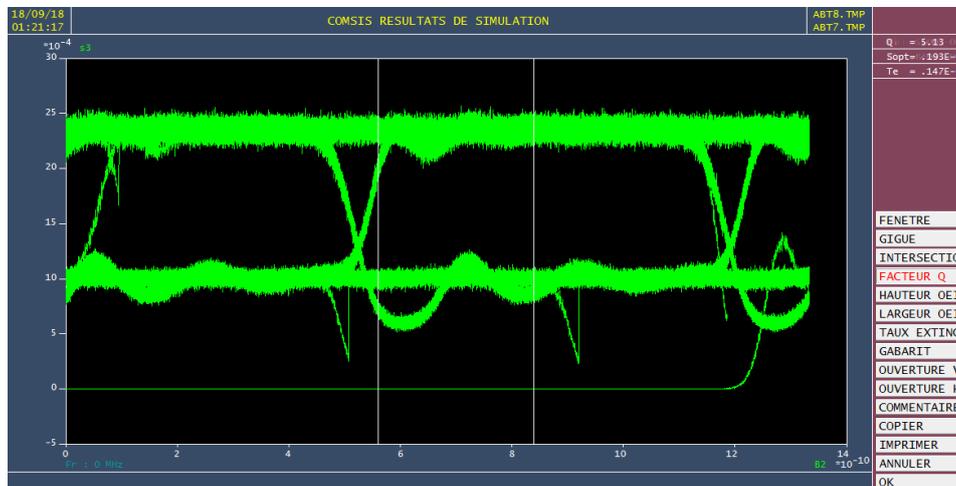


Figure 3. 32: Diagramme de l'œil de la sortie 03 avec L=10m et D=1500 Mbits/s.

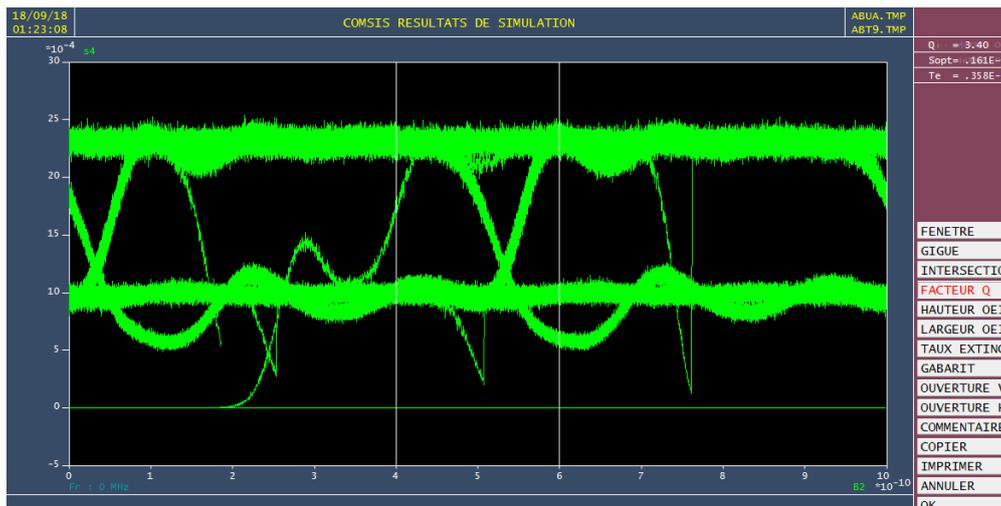


Figure 3. 33: Diagramme de l'œil de la sortie 04 avec L=10m et D=2000 Mbits/s.

c) Le diagramme de l'œil pour L=200m :

On répète la simulation avec une longueur de fibre L=200m.

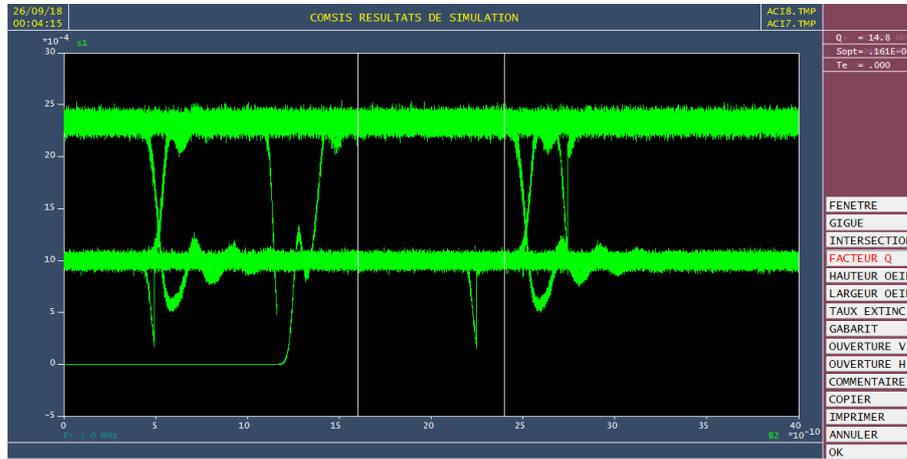


Figure 3.34: Diagramme de l'œil de la sortie 01 avec L=200m et D=500 Mbits/s.

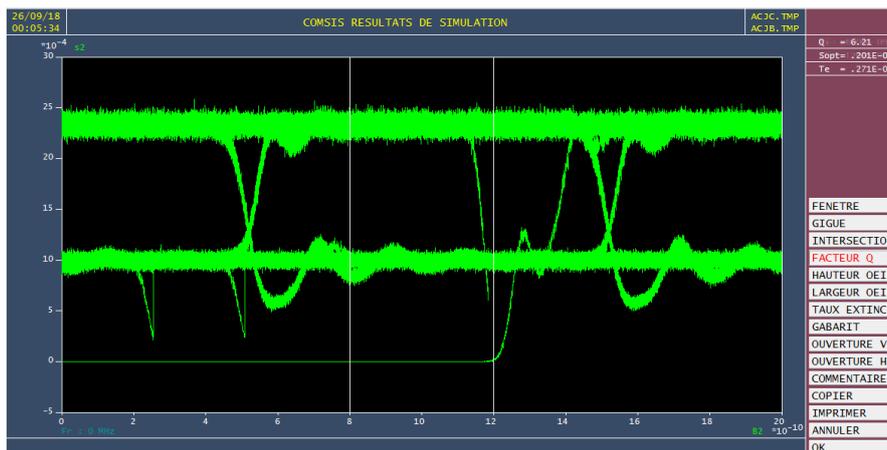


Figure 3.35: Diagramme de l'œil de la sortie 02 avec L=200m et D=1000 Mbits/s.

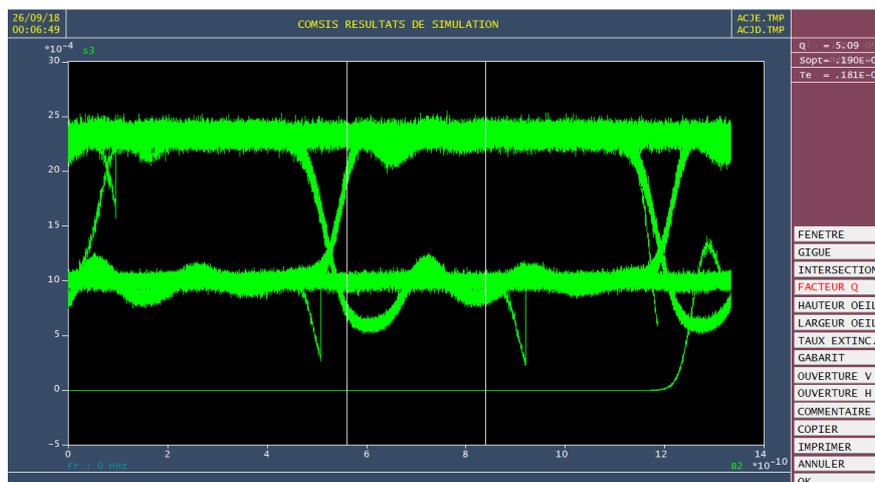


Figure 3.36: Diagramme de l'œil de la sortie 03 avec L=200m et D=1500 Mbits/s.

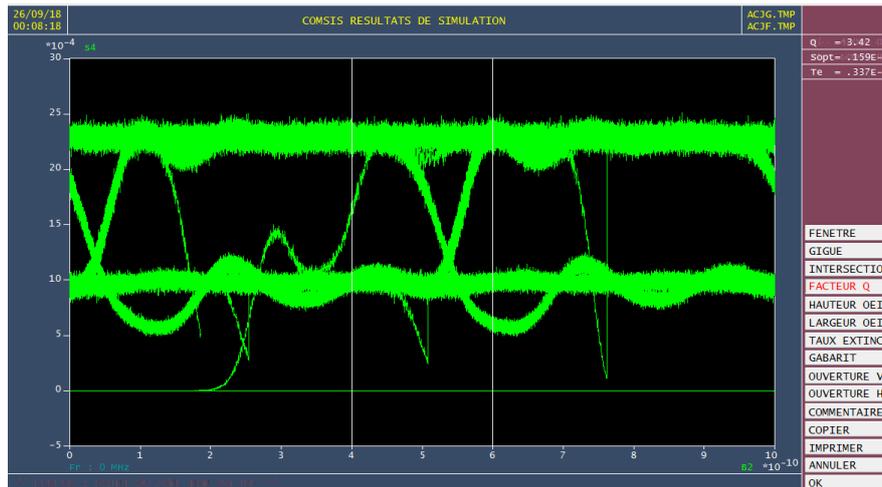


Figure 3. 37: Diagramme de l'œil de la sortie 04 avec L=200m et D=2000 Mbits/s.

**d) Discussion des résultats :**

Les tableaux 3.1,3.2,3.3 présente les différent résultats de simulation des quatre sorties avec des débits différent( 500,1000,1500,2000 )Mbit/s pour des longueurs de fibre 1m,10m,200m.

	Sortie1	Sortie 2	Sortie 3	Sortie 4
<b>Le débit (Mbits/s)</b>	500	1000	1500	2000
<b>Facteur Q</b>	15.3	6.21	5.14	3.40
<b>TEB</b>	0.000	$0.265 \cdot 10^{-9}$	$0.146 \cdot 10^{-6}$	$0.358 \cdot 10^{-3}$

Tableau 3. 1: Les résultats de simulation pour L=1m.

	Sortie1	Sortie 2	Sortie 3	Sortie 4
<b>Le débit (Mbits/s)</b>	500	1000	1500	2000
<b>Facteur Q</b>	15.3	6.21	5.13	3.40
<b>TEB</b>	0.000	$0.264 \cdot 10^{-9}$	$0.147 \cdot 10^{-6}$	$0.358 \cdot 10^{-3}$

Tableau 3. 2: Les résultats de simulation pour L=10m.

	Sortie1	Sortie 2	Sortie 3	Sortie 4
<b>Le débit (Mbits/s)</b>	500	1000	1500	2000
<b>Facteur Q</b>	14.8	6.21	5.09	3.42
<b>TEB</b>	0.000	$0.271 \cdot 10^{-9}$	$0.181 \cdot 10^{-6}$	$0.337 \cdot 10^{-3}$

Tableau 3. 3: Les résultats de simulation pour L=200m.

D'après les figures de 3.26 à 3.37 et les tableaux de 3.1, 3.2, 3.3 on remarque qu'avec l'augmentation du débit le facteur Q diminue et le TEB augmente. Donc la qualité de transmission s'affaiblie tout en restant dans le domaine de l'acceptable.

### 3.5 La troisième simulation : l'influence du bruit interne sur la fibre optique.

#### a) Rapport signal bruit pour L=1m :

Pour les signaux d'entrée :

```
>> CALCUL DE LA CONTRIBUTION DU SIGNAL UTILE POUR :
L
.001

VARIABLE "deb4" : - INFINI
VARIABLE "deb3" : - INFINI
VARIABLE "deb2" : - INFINI
VARIABLE "deb1" : - INFINI      VARIABLE "deb1" : - INFINI
```

Figure 3. 38: Le rapport signal bruit pour les signaux d'entrée avec L=1m.

Pour les signaux de sortie :

```
CALCUL DIRECT DE "s2" EN FONCTION DE "mux2"
CALCUL DIRECT DE "s3" EN FONCTION DE "mux3"
CALCUL DIRECT DE "s4" EN FONCTION DE "mux4"

VARIABLE "s1" : 32.7285993451004      dB
VARIABLE "s2" : 32.851919095276      dB
VARIABLE "s3" : 32.8706371640923     dB
VARIABLE "s4" : 32.7014501928083     dB
```

Figure 3. 39 : Le rapport signal bruit pour les signaux de sortie avec L=1m.

#### b) Rapport signal bruit pour L=200m :

Pour les signaux de sortie :

The screenshot shows a window titled "COMSIS : Mode Alphanumerique". It contains a text area with the following text:

```
CALCUL DIRECT DE "s2" EN FONCTION DE "mux2"
CALCUL DIRECT DE "s3" EN FONCTION DE "mux3"
CALCUL DIRECT DE "s4" EN FONCTION DE "mux4"

VARIABLE "s1" : 32.6884747596768      dB
VARIABLE "s2" : 32.812005400959      dB
VARIABLE "s3" : 32.8306843252727     dB
VARIABLE "s4" : 32.6613179509725     dB
```

Below the text area is a label "VARIABLE(S) REPRESENTANT LE SIGNAL UTILE :" followed by an empty input field. At the bottom, there are three buttons: "OK", "Annuler", and "Aide".

Figure 3. 40: Le rapport signal bruit pour les signaux de sortie avec L=200m.

#### c) Discussion de résultats :

D'après les résultats obtenus on remarque que à l'entrée le SNR= - infini donc le bruit est négligeable puis on varie la longueur on prend L=1m on obtient SNR= 32 dB et avec L=200m le SNR reste toujours égale à 32 dB.

On conclut qu’avec l’augmentation de longueur L le SNR ne change pas donc la puissance du bruit interne reste constante durant la transmission.

### 3.6 La quatrième simulation : l’influence du bruit externe sur la transmission optique.

On propose un bruit externe (thermique), exprimé par le composant générateur de bruit courant puis on l’ajout un amplificateur optique et filtre BF pour améliorer le signal. Comme illustre la figure 3.41.

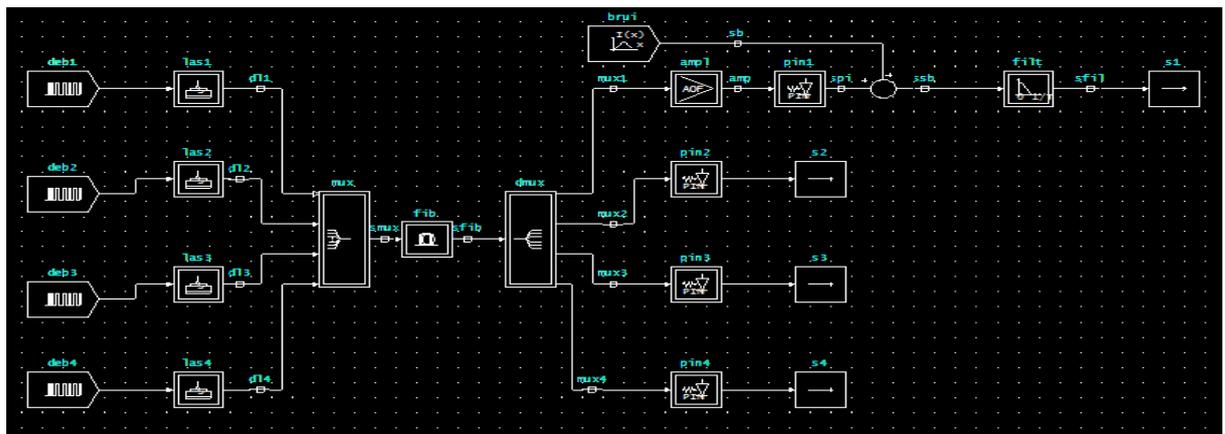


Figure 3. 41: Schéma synoptique du quatrième simulation.

On choisit les paramètres des composants comme suit :

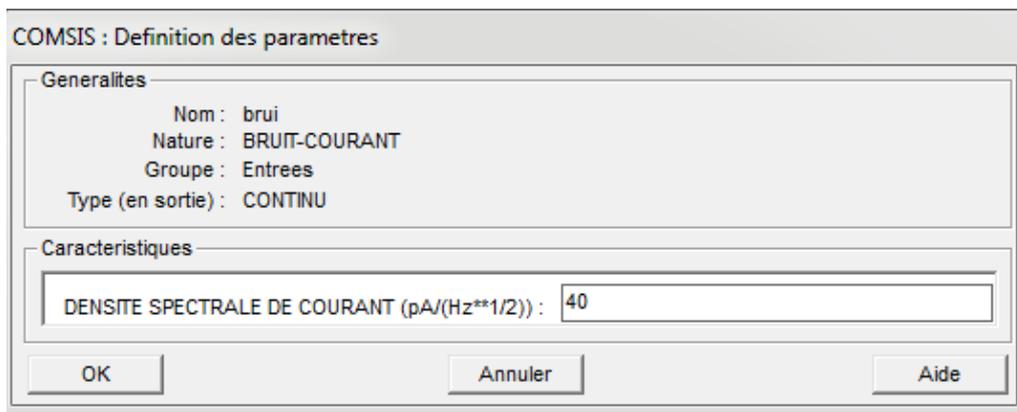


Figure 3. 42: Paramètres caractéristiques du bruit-courant.

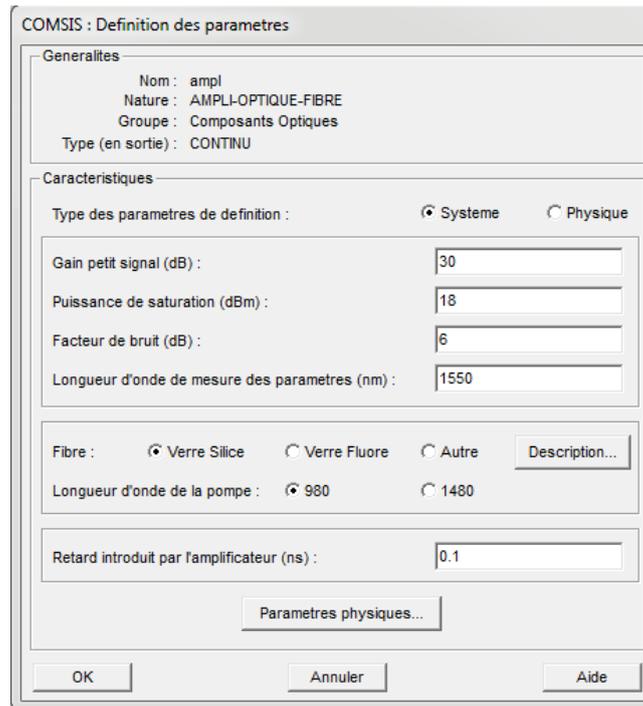


Figure 3. 43: Paramètres caractéristiques de l’amplificateur optique.

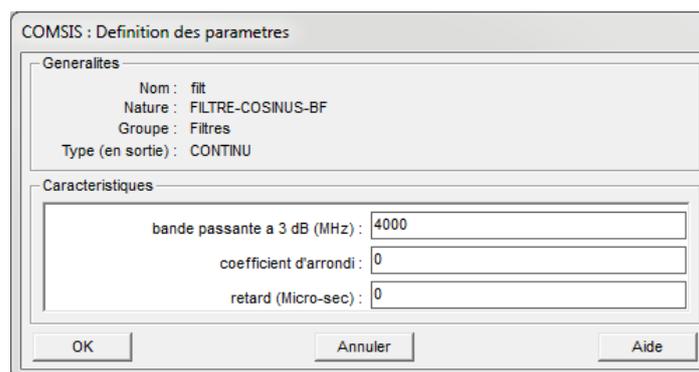


Figure 3. 44: Paramètres caractéristiques du filtre BF.

a) **La réponse temporelle :**

On utilisant le schéma bloc illustré dans la figure 3.41 pour la trace de la réponse temporelle de la figure 3.45.

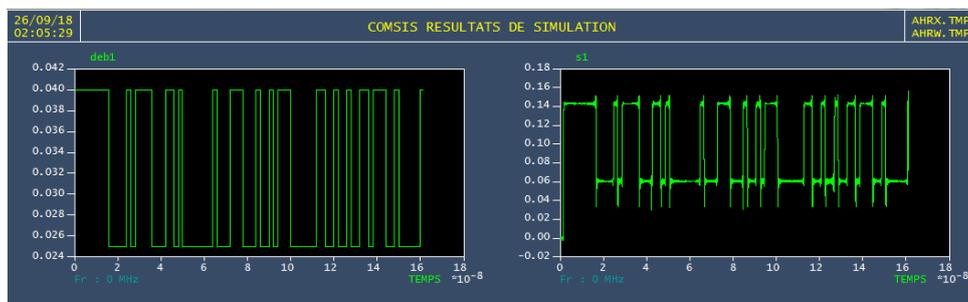


Figure 3. 45: La réponse temporelle du signal traité.

On remarque que le signal est amélioré par rapport au celui de simulation précédente.

a) Diagramme de l'œil de D=500 Mbit/s :

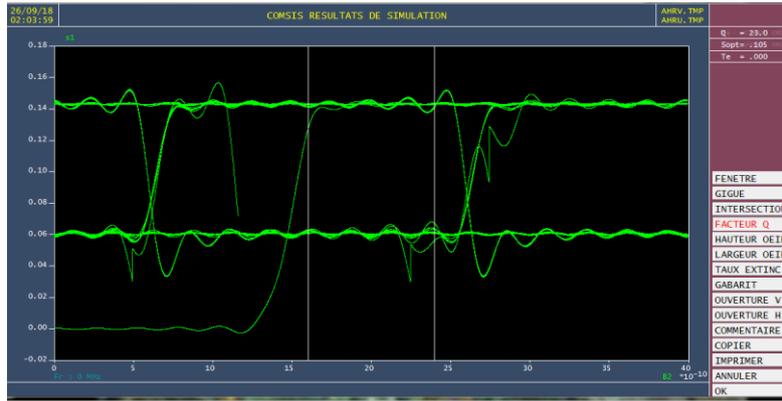


Figure 3. 46: Diagramme de l'œil pour D= 500 Mbits/s.

VARIABLE "s1" : 56.9230917310112 dB

Figure 3. 47: Le SNR pour D=500 Mbits/s.

Les mesures de diagramme donnent : Q= 23 et TEB=0.

c) Le diagramme de l'œil pour D= 1000 Mbits/s :

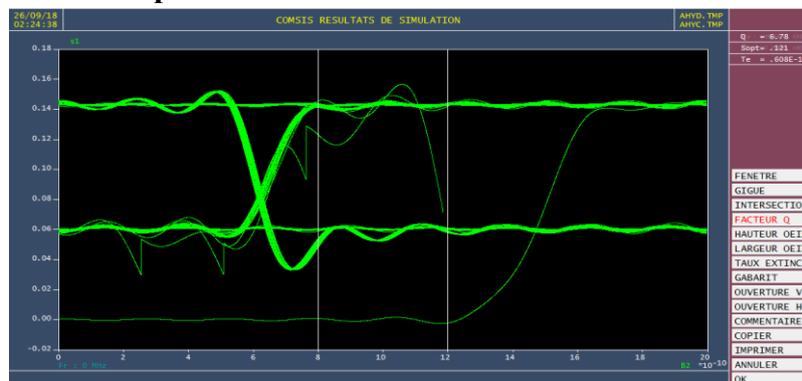


Figure 3. 48: Diagramme de l'œil pour D= 1000 Mbits/s.

VARIABLE "s1" : 57.4705121679239 dB

Figure 3. 49: Le SNR pour D=1000 Mbits/s.

Les mesures donnent : Q=6.78 et TEB=0.608.10<sup>-11</sup>.

	D=500 Mbits/s	D=1000 Mbits/s
<b>Simulation 02</b>	Q=14.8 TEB=0.000	Q=6.21 TEB=0.271.10 <sup>-09</sup>
<b>Simulation 04</b>	Q= 23 TEB=0.000	Q=6.78 TEB=0.608.10 <sup>-11</sup>

Tableau 3. 4: Tableau de comparaison entre simulation 02 et simulation 04.

D'après les résultats de cette simulation on conclut que malgré on ajout un bruit extérieur, l'intégration d'un amplificateur optique et un filtre BF au chaine de transmission améliore la qualité du signal.

### 3.7 Conclusion :

D'après les résultats de simulation on peut déduire les conséquences suivantes:

- Le multiplexage optique est une technique la plus pratique pour augmenter la capacité de transmission par fibres tout en évitant de poser de nouveaux câbles, c'est pour cela qu'on propose de l'utiliser dans les avions afin d'éviter l'encombrement d'installation et augmenter le débit tout en réduisant le bruit.
- Dans un avion la longueur de fibre peut aller jusqu'à 200m et la qualité de signal reste bonne.
- La fibre optique contient un bruit interne mais sa valeur est petite.
- Dans le cas où le bruit est externe on peut l'éliminer avec un amplificateur et un filtre BF







### Conclusion générale et perspectives :

Notre objectif dans ce travail est d'améliorer la transmission des données en avionique par l'augmentation de débit et la minimisation de câblage. C'est pourquoi il nous a paru important de commencer ce mémoire par une description des réseaux utilisés pour la transmission actuelle des données dans les avions. Cette description nous permet de maîtriser le concept théorique de transport des informations et de comprendre le fonctionnement des protocoles utilisés pour cet objectif.

Nous nous sommes intéressés en particulier à l'étude de la fibre optique, ses composants et les caractéristiques de chacun par la simulation système à l'aide du logiciel COMSIS qui permet des gains de temps et d'argent. Le procédé employé consiste à l'étude d'une chaîne optique multiplexée on joue avec les trois paramètres principales ; la longueur de la fibre, le débit et le bruit, tout en essayant de maintenir les performances globales de la liaison.

On a montré que l'augmentation du débit ou de la longueur de fibre optique ne pose pas des problèmes de bruit dans la transmission, même s'il y a du bruit extérieur on peut le réduire par l'utilisation des amplificateurs optiques et des filtres.

D'après les études faites dans ce mémoire on propose de remplacer la transmission actuelle par la fibre optique, on commence par une liaison optique multiplexée WDM entre les capteurs et le calculateur (ADC, FMS, FADEC...) puis à partir de la sortie de ce composant on transmet les informations à l'aide d'une fibre optique en collaboration avec un répartiteur optique vers les autres équipements.

Comme perspectives nous pouvons dire que la nouvelle génération des avions dirigés vers la construction d'un avion électrique demande une transmission des données par fibre optique ainsi que les équipements attachés.

## Conclusion générale et perspectives

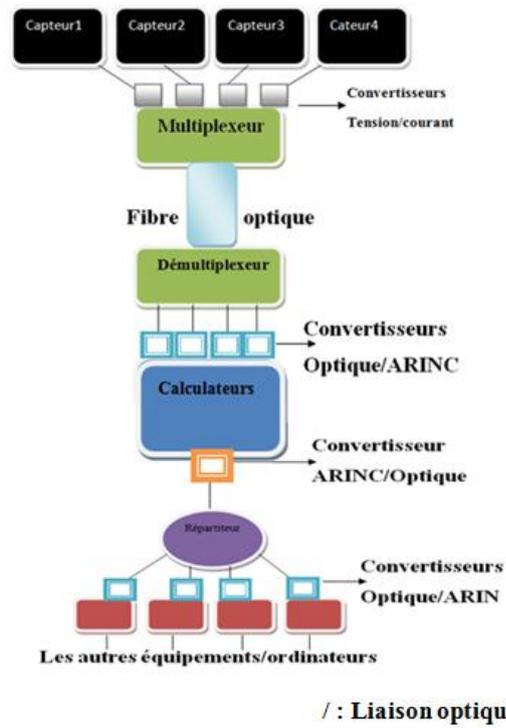


Figure 4. 1: L'architecture de la liaison par fibre optique dans l'avion