

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la A Recherche Scientifique**  
**UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU**



**FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE**  
**DEPARTEMENT ELECTRONIQUE**

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**de MASTER ACADEMIQUE en Electronique**

**Spécialité : Télécommunication et réseau.**  
**Filière : Génie électrique**

**Thème**

**Etude et installation d'une ligne**  
**spécialisée à Algérie Télécom**

**Présenté par :**

**Proposé par Mr K. MOKRI**

**Melle BENYOUCEF Rachida**

**Dirigé par Mr F. OUALLOUCHE**

**Mme SEBIH Lila**

**Année universitaire 2013/2014**

---

# Remerciements

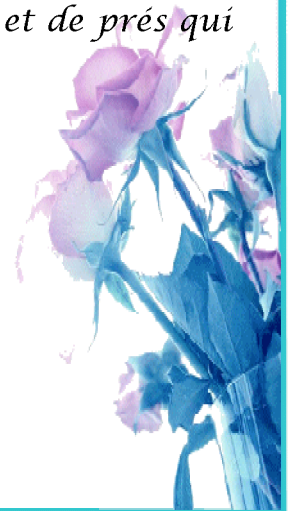
*Nous remercions tout d'abord DIEU le tout puissant de nous avoir donné la sante et le courage de réaliser ce travail dans les meilleurs conditions.*

*Ce travail a été réalisé sous la direction de Mr OUALLOUCHE .F notre promoteur au département d'électronique à l'université de MOULOUD MAMMARI de TIZI OUZOU .nous tenons particulièrement à le remercier pour sa disponibilité et ses conseils.*

*Nous remercions infiniment Mr MOUKRI.K notre encadreur chef de centre ALGERIE TELECOM de TIZI OUZOU « C.R.M.E.T » de nous avoir orienté tout au long de notre travail, avec ses conseils et ses encouragements.*

*Un énorme remerciement assez particulier est adressé à toute l'équipe d'ALGERIE TELECOM de TIZI OUZOU (C.R.M.E.T, CA1, CA2).*

*Nous remercions vont à tous nos amis(es) de loin et de près qui nous ont aidés et encouragés pour effectuer ce travail.*





# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*Tout d'abord je remercie le bon DIEU de m'avoir donné la santé pour réaliser ce travail, lequel je dédie à toutes les personnes qui me sont chers.*

*A mes très chers parents "mahfoud et fatima" qui sont la cause de m'être un jour un Cadre qui peut donner quelque chose à sa partie et pour leur sacrifient et leur dévouement pour mon bonheur.*

*A Mes frères et sœurs et toute la famille sans exception.*

*A tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie universitaire.*

*A toute la promotion M2 2013/2014.*

*A ceux qui m'aiment.*

*Je dédie ce travail*



*Rachida*



# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

*Tout d'abord je remercie le bon DIEU de m'avoir donné la santé pour réaliser ce travail, lequel je dédie à toutes les personnes qui me sont chers.*

*A mes très chers parents « à ma très chère mère et à la mémoire de mn père » qui sont la cause de m'être un jour un Cadre qui peut donner quelque chose à sa partie et pour leur sacrifice et leur dévouement pour mon bonheur.*

*A mon mari « Ahmed » et ma petite jolie fille « HAYET »*

*A Mes sœurs et mes frères et toute la famille sans exception.*

*A tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie universitaire.*

*A ceux qui m'aiment.*

*Je dédie ce travail*

*Lila*



# Sommaire

## Introduction général

## Chapitre 1 : Généralité sur les chaîne de transmission

1. Préambule.....	1
2. La transmission.....	1
2.1. Transmission en parallèle-série .....	1
2.1.1. Transmission parallèle.....	2
2.1.2. Transmission série .....	2
2.2. Transmission d'exploitation .....	3
2.2.1. Transmission simplex .....	3
2.2.2. Mode semi-duplex (half duplex ou alternatif) .....	3
2.2.3. Mode duplex (full duplex) .....	3
2.3. Transmission synchrone-asynchrone:.....	4
2.3.1. Transmission asynchrone.....	4
2.3.2. Transmission synchrone .....	4
2.4. Transmission en bande de base .....	5
2.4.1. Principe.....	5
2.5. Les codes d'aide à la transmission.....	5
2.5.1. Choix du code de transmission .....	6
2.5.2. Les codages .....	6
A/ le code NRZ (No Return to Zero).....	6
B/ Le code bipolaire HDBn (bipolaire haute densité d'ordre n).....	7
C/ Le code biphasé ou Manchester.....	8
2.6. La modulation.....	9
❖ La modulation de fréquence FSK (Frequency Shift Keying) .....	9
❖ La modulation de phase PSK (Phase Shift Keying).....	9
❖ La modulation d'amplitude ASK (Amplitude Shift Keying).....	10
❖ La modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation).....	10
2.6.1. Principe de modulation MIC ou PCM .....	11
A/L'échantillonnage .....	11

➤ Théorème de Shannon .....	11
B/ La quantification .....	12
➤ Le bruit de quantification .....	12
C/ La compression .....	12
➤ La trame MIC .....	13
2.7. Les techniques de multiplexage .....	13
2.7.1 Multiplexage TDM.....	13
2.7.2. Multiplexage FDM.....	14
2.7.3. Multiplexage WDM/DWDM.....	14
3. Les Supports de transmissions .....	15
3.1. Notion sur les ondes électromagnétiques .....	15
3.2. Caractéristiques des supports de transmission .....	15
3.2.1. Bande passante .....	16
3.2.2. Bruits et distorsions .....	16
3.2.3. Capacité limitée des supports de transmission .....	17
3.2.4. Qualité des câbles .....	17
3.3. Types de supports .....	18
3.3.1. Supports physiques.....	18
3.3.1.1. Les câbles à paires torsadées.....	18
3.3.1.2. Le câble coaxial.....	19
3.3.1.3. Câble à fibre optique .....	20
3.3.2. Le faisceau hertzien.....	21
2.4. Perturbations liées aux supports de transmission .....	21
3. Discussion.....	22

## **Chapitre 2 : Etude sur la fibre optique**

1. Préambule.....	23
2. La fibre optique .....	23
2.1. La fibre .....	23
2.2. L'optique .....	23
3. Théorèmes optiques.....	25
4. Présentation :.....	26
5. Principe et fonctionnement .....	26

5.1. Principe .....	26
5.2. Fonctionnement .....	27
5.3. Système de transmission.....	28
5.3.1. Photo-détecteur .....	29
5.3.1.1. Photodiode PIN :.....	30
5.3.1.2. Photodiode à avalanche (APD).....	30
5.3.2. Amplificateur optique .....	31
5.3.3. Les coupleurs.....	31
5.4. Types de fibres optiques .....	32
5.4.1. Les fibres multimodes.....	33
5.4.2. Les fibres monomodes .....	34
5.5. Caractéristiques .....	35
5.5.1. La bande passante .....	35
5.5.2. Atténuation .....	35
5.5.3. Dispersion chromatique (intramodale).....	36
5.5.4. Non-linéarité .....	36
➤ Effet Kerr en optique .....	36
5.6. Le module d'émission .....	37
5.6.1. Le laser .....	37
➤ Les diodes laser : DL.....	37
5.6.2. Modulation .....	38
5.7. Le module de réception .....	38
5.8. Les filtres optiques .....	39
5.9. Avantages et inconvénients de la fibre optique .....	39
5.10. Applications de la fibre optique .....	40
6. Discussion :.....	40

## **Chapitre 3 : les technologies de transmission**

1. Préambule.....	42
2. Les réseaux optiques.....	43
2.1. Les réseaux étendus (WAN, Wide Area Network).....	43
2.2. Les réseaux métropolitains (MAN, Métropolitain Area Network).....	43
2.3. Les réseaux locaux (LAN, Local Area Network).....	44

3. Les différentes technologies .....	44
3.1. Hiérarchie PDH .....	44
3.1.1. La trame de base E1.....	45
3.1.2. Principe de multiplexage :.....	46
3.1.3. Les avantages et inconvénients de PDH.....	46
3.2. Hiérarchie SDH /SONET.....	47
3.2.1. La structure de la trame STM-1.....	47
3.2.2. Hiérarchie de multiplexage SDH .....	48
3.2.3. Les avantages et inconvénients de la hiérarchie synchrone .....	49
➤ Tableau comparatif des techniques SDH et PDH .....	50
3.3. Technologie WDM/DWDM .....	50
3.3.1. Présentation du WDM/DWDM .....	50
3.3.2. Fonctionnement général du WDM/DWDM .....	52
3.3.3. Les Différentes Technologie Du WDM .....	53
3.3.3.1. Les caractéristiques du D-WDM, C-WDM et de l'U-DWM .....	54
3.3.4. Développement de capacité.....	55
3.3.4.1. Augmentation de débit par canal .....	56
3.3.4.2. Augmentation du nombre de canaux(DWDM) .....	56
3.3.5. Le multiplexage en longueur d'onde .....	56
3.3.5.1. Principe et architecture .....	56
3.3.5.2. Commutation/routage DWDM .....	58
3.3.5.3. Application du DWDM .....	58
3.3.6. Réseaux optiques :.....	59
3.3.7. Multiplexeur/Démultiplexeur.....	60
3.3.8. Les avantages et inconvénients de WDM/DWDM.....	60
4. Discussion.....	61

## **Chapitre 4 : installation d'une ligne spécialisée**

1. Préambule.....	62
1.1. Réseau de transmission d'Algérie télécom .....	62
1.2. Réseau fibre optique d'Algérie télécom .....	62
➤ Le système 2.5 Gbits/s .....	63
➤ Système 10 GB/s « HUAWEI» .....	64

➤ Système 80 GB/s « HUAWEI» (DWDM).....	64
1.3. Architecture de réseaux de la wilaya TIZI OUZOU .....	65
2. Les systèmes équipant le centre:.....	66
2.1. ADR 155 Mbit/s.....	66
2.2. Système 622 Mb/s « HUAWEI ».....	67
3. Réseau de l'entreprise .....	67
3.1. Liaison spécialisée: LS.....	67
➤ Liaison RMS: Réseau Multiservice.....	67
➤ Liaison VPN Virtual Privat Network (réseau privé virtuel).....	68
➤ Liaison point à point .....	68
3.2. Exemple d'une liaison spécialisé.....	69
3.2.1. Description de la ligne réalisée.....	69
3.2.2. configuration des différents équipements.....	71
3.2.3. Modem SIEMENS STU .....	71
a. Configuration de la paire des modems SIEMENS STU .....	72
b. Connexion d'un modem à un terminal .....	72
c. Configuration du modem SEIMENS STU .....	73
d. Configuration de l'équipement de système 622 Mb/s.....	77
e. Les teste .....	78
4. Teste de la liaison optique.....	79
4.1. Appareil Emission/Réception .....	79
4.1.1. Principe de la mesure.....	79
4.2. Le réflectomètre .....	79
4.2.1. Principe de la mesure.....	79
4.3. Un PF (PowerFul tester).....	80
5. Discussion .....	81

## **Conclusion générale**

## **Annexe**

## **Liste des figures**

## **Liste des tableaux**

## **Glossaire**

## **Bibliographie**

### Introduction

La télécommunication par fibre optique constitue aujourd'hui une alternative rentable pour les transmissions de longue portée ou de portée moyenne. Elle tire avantage des propriétés de la fibre optique (bande passante plus importante, immunité accrue en regard des interférences électromagnétiques, avantages en matière de sécurité, ...etc.). Les améliorations qui sont apportées à la technologie des transmissions par fibre optique sont telles que la communication n'est plus désormais le privilège des seules grandes entreprises transmettant des débits d'information très élevés mais aussi et surtout, le privilège du simple consommateur.

La fibre optique remplit très bien le rôle du support de transmission le mieux adapté à la demande en bande passante. Son utilisation est désormais courante dans les réseaux de transmission. Un nouveau principe de multiplexage-démultiplexage en longueur d'onde nommé WDM/DWDM permet de transporter plusieurs signaux sur une seule fibre optique en leurs affectant des longueurs d'ondes différentes. Mais avec sa principale percée dans la connexion optique à grande bande passante, le multiplexage dense en longueur d'onde (DWDM) refaçonne le tableau des réseaux de communication, ce qui a incité l'opérateur de télécommunication « ALGERIE TELECOM » à adopter cette technologie dans le Backbone national de transmission à 80Gbit/s (8 canaux de 10Gbit/s).

La technologie DWDM est née avec l'idée d'injecter simultanément dans la même fibre optique plusieurs trains des signaux numériques chacun ayant une longueur d'onde distincte. Cette technologie de transmission nécessite l'utilisation de la fibre optique et réduit sensiblement le coût de transmission en termes d'équipements.

Algérie télécom s'est lancée dans le processus de modernisation de son réseau de télécommunication par la mise en œuvre du backbone fibre optique de grande capacité DWDM parallèlement au réseau SDH pour satisfaire les besoins des abonnés, afin de contribuer au mieux au développement national.

Au cours de notre stage à Algérie Télécom, nous avons étudié la transmission du réseau à haut débit basée sur la technologie DWDM et installé une ligne spécialisée d'un client d'Algérie Télécom, en l'occurrence la banque CPA.

Notre mémoire est composé de quatre chapitres, organisés de la manière suivante :

Le premier chapitre est consacré à des généralités sur une chaîne de transmission ainsi que les différents supports de transmission.

Dans le deuxième chapitre nous présentons le principe de la fibre optique.

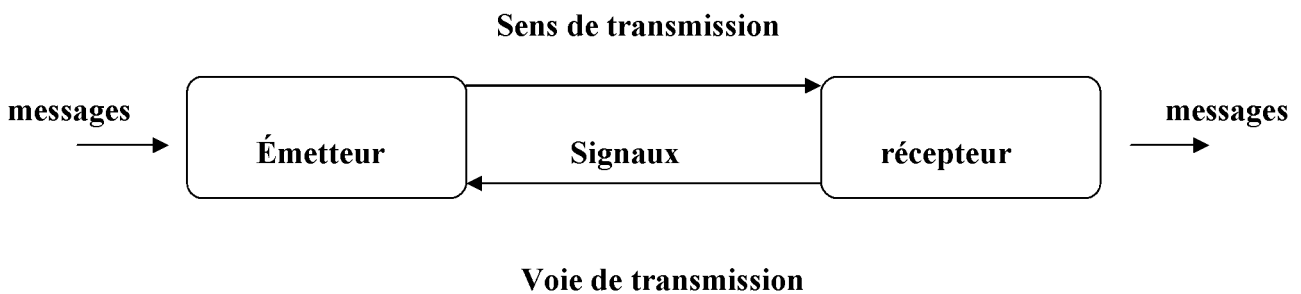
Dans le troisième chapitre nous avons étudié les différentes technologies de transmission de données basée sur le multiplexage.

Les étapes d'installation d'une ligne spécialisée sont présentées dans le dernier chapitre.

Nous terminons notre mémoire par une conclusion, une annexe et une bibliographie.

## 1. Préambule

L'information qui transite sur les réseaux de télécommunication consiste en messages de types divers : textes, sons, images fixes ou animées, vidéo, etc... La forme que revêt cette information est commode pour une communication directe et classique (conversation, échange sur papier, ...) lorsque les interlocuteurs sont en présence. Quand ils sont distants l'un de l'autre, l'emploi des réseaux de télécommunication est une manière moderne de résoudre la transmission d'informations. Toutefois, pour les nécessités du transport, la transmission d'un message nécessite un encodage en signaux de type électrique ou électromagnétique :



D'une manière générale, une chaîne de transmission de l'information présente les étapes :

- Transduction du message à émettre : conversion d'une grandeur physique en une autre. Exemple : microphone, qui transforme le signal sonore en signal électrique.
- Encodage du message. Exemple : conversion analogique / numérique.
- Emission du message. Exemple : émission par ondes hertziennes.

On parle de canal de transmission pour désigner la manière dont le signal est transmis : par ondes radios, par câble cuivre, par fibre optique, ... On fait une distinction entre les milieux de propagation sans support physique (ondes) où le signal se propage librement dans un « milieu ouvert » et ceux avec support physique (câble, fibre optique) où le signal est canalisé.

- Réception du signal. Exemple : antenne de télévision.
- Décodage du message. Son rôle est contraire de celui de l'encodeur.
- Transduction du signal en une grandeur physique perceptible par le destinataire. Exemple : haut-parleur : transformation du signal électrique en signal sonore.

## 2. La transmission

Transmettre un signal numérique consiste à reconstituer à la réception, la signal original et à en extraire l'horloge (phase et fréquence). Cette horloge est utilisée aussi bien pour des opérations de décision que pendant les opérations de conversion (numérique analogique) et éventuellement lors du multiplexage.

Un système de transmission pour objectif d'acheminer à partir d'une source (Ou émetteur), une information vers un destinataire (ou récepteur).

### 2.1. Transmission en parallèle-série :

### 1. Préambule

Les premières expériences de transmission optique datent de la fin de XIX<sup>ème</sup> siècle avec la modulation de l'intensité de la lumière par un signal acoustique. Faute de savoir guider efficacement la lumière jusqu'au destinataire, ces moyens ne sont pas développés pour la transmission, mais donnent naissance à l'enregistrement optique du son.

Utilisant le principe connu depuis longtemps des fontaines lumineuses, les fibres optiques, minces cheveux de verre très transparents, ont fait l'objet d'applications décoratives, puis plus utilitaires (éclairage et endoscopie où l'atténuation n'est pas un paramètre critique). Partie en 1960 de 1000dB/Km, l'atténuation est descendue à 20 dB/Km en 1975, puis 0,2dB/Km en 1984. Actuellement on sait fabriquer des fibres ayant une atténuation inférieure à 0,2 dB/Km.

L'apparition du laser depuis 1960 a permis d'envisager la transmission d'information à distance, sur le principe des faisceaux hertziens, à des fréquences beaucoup plus élevées (de l'ordre de  $10^{14}$  Hz).

La première démonstration scientifique du principe de la réflexion totale interne fut faite par les physiciens français Jean-Daniel Colladon et Jacques Babinet à Paris au début des années 1840. L'irlandais John Tyndall répéta l'expérience devant la Société Royale Britannique en 1854. À l'époque, l'idée de courber la trajectoire de la lumière, de quelque façon que ce soit, était révolutionnaire puisque les scientifiques considéraient que la lumière voyageait uniquement en ligne droite. Leur démonstration consistait à guider la lumière dans un jet d'eau déversé d'un trou à la base d'un réservoir. En injectant de la lumière dans ce jet, celle-ci suivait bien la courbure du jet d'eau, démontrant ainsi qu'elle pouvait être déviée de sa trajectoire rectiligne. Ils purent de cette manière démontrer le principe qui est à la base de la fibre optique.

Enfin avec plus de 10 millions de kilomètres fabriqués par an, les fibres optiques sont désormais une technologie à maturité, qui se diffuse dans les domaines d'application de plus en plus vastes.

### 2. La fibre optique :

#### 2.1. La fibre :

La fibre est un élément filamenteux d'origine animale, végétale, minérale ou synthétique. Le diamètre moyen des fibres est inférieur à 0,05 cm. Utilisées entre autres dans les textiles, les fibres sont classées selon leur origine, leur composition chimique ou les deux à la fois [Ubgar 2010].

#### 2.2. L'optique :

L'optique est la partie de la physique qui traite de la propagation et du comportement de la lumière. De façon générale, la lumière est la partie du spectre électromagnétique (voir Figure1), qui s'étend des rayons X aux micros.

- **A. La lumière :**

La lumière est le rayonnement électromagnétique visible. Elle est due à des oscillations extrêmement rapides d'un champ électromagnétique dans une gamme particulière de fréquences perceptibles par l'œil humain.

- **B. La propagation de la lumière :**

Le trajet de la lumière dans un milieu peut être représenté par un segment de droite appelé rayon lumineux. La lumière se propage en ligne droite dans les milieux homogènes (même composition en tout point) et transparents (comme l'eau, l'air, le verre, etc.), la lumière se propage en ligne droite sans être atténuée, ou très peu.

**Ex :** diffusion et réflexion de la lumière : Lorsqu'elle rencontre un objet, la lumière est partiellement diffusée par cet objet (qui devient une source secondaire de lumière) : c'est la réflexion de la lumière (le vide est un milieu transparent parfait, dans lequel la lumière n'est ni absorbée, ni réfléchi).

- **C. Absorption et réfraction de la lumière :**

L'autre partie du rayon lumineux est absorbée par l'objet :

Si l'objet est opaque, la lumière absorbée ne peut traverser l'objet. Si l'objet est translucide ou transparent, une partie de la lumière absorbée peut traverser l'objet en changeant généralement de direction : c'est la réfraction de la lumière n d'un milieu est égal au rapport de la célérité « C » de la lumière dans le vide à celle de la lumière dans ce milieu [I.Ghettal, A.Ifrihaddaden.2010]:

$$n = \frac{c}{v}$$

- **D. La vitesse :**

La lumière semble se propager instantanément : lorsque l'on pointe le faisceau d'une lampe électrique vers un objet, n'est-il pas éclairé immédiatement.

Pourtant la lumière possède une vitesse dont la mesure a constitué l'un des plus grands défis de la science.

- **E. L'onde :**

Lorsque l'on jette une pierre dans l'eau, de petites vagues successives se forment à la surface de l'eau. Ces vaguelettes progressent dans toutes les directions (en cercles concentriques à partir de l'endroit où est tombée la pierre) et s'atténuent petit à petit : ce sont des ondes. Une onde est donc un phénomène physique qui résulte d'une perturbation (ici l'impact de la pierre dans l'eau), dont les effets se propagent dans un milieu (comme la surface de l'eau). De manière générale, on peut dire qu'une onde est une perturbation qui se déplace (dans l'eau, dans l'air, etc.).

• **F. La fréquence et la longueur d'onde :**

De manière générale, une onde est caractérisée par l'une des deux grandeurs suivantes : sa fréquence ou sa longueur d'onde. Ces notions fondamentales s'appliquent à toutes les ondes, y compris le son et la lumière.

La fréquence (notée  $f$ ) et la longueur d'onde (notée  $\lambda$ ) sont liées par la formule suivante:

$$\lambda = V/f$$

Où  $V$  est la vitesse de propagation de l'onde. Autrement dit, plus la fréquence est grande, plus la longueur d'onde est petite (et inversement).

De même qu'un son peut être constitué de différentes longueurs d'ondes, la lumière peut être décomposée en différentes longueurs d'ondes que nous percevons comme autant de couleurs : du violet (la plus petite longueur d'onde) au rouge (la plus grande longueur d'onde). L'ensemble de ces longueurs d'onde constitue le spectre lumineux (ou spectre visible de la lumière).

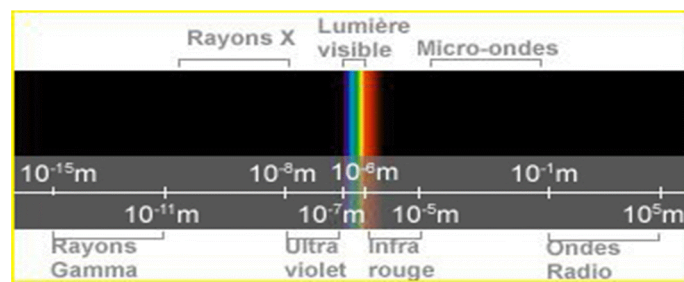


Figure 1 : correspondance couleur longueurs d'ondes dans le champ de la lumière visible

**3. Théorèmes optiques**

• **Loi de réflexion (1<sup>ère</sup> loi de Descartes)**

La réflexion est le renvoi de la lumière lors d'une rupture d'impédance (interface). la loi de Descartes précise que : « le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence ; l'angle d'incidence est égale à l'angle de réflexion ».

• **Loi de réfraction (2<sup>ème</sup> loi de Descartes)**

La réfraction est la déviation subite par les rayons lumineux à la traversée de l'interface séparant deux milieux transparents. la loi de Descartes stipule que : « le rayon réfracté se trouve dans le plan d'incidence ; il existe un rapport constant entre le sinus des angles d'incidences et de réflexion  $\theta_1$  et  $\theta_2$ , rapport qui représente l'indice «  $n$  » du deuxième milieu par rapport au premier ».

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

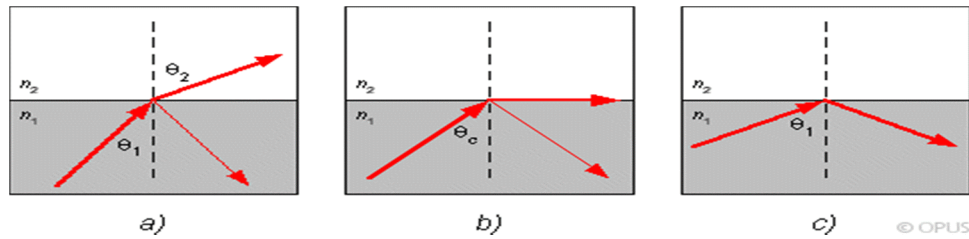


Figure 2: angle incidente et angle réflexion

#### 4. Présentation :

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données. Elle offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques. Les fibres optiques sont si minces qu'elles peuvent passer dans le cas d'une aiguille.

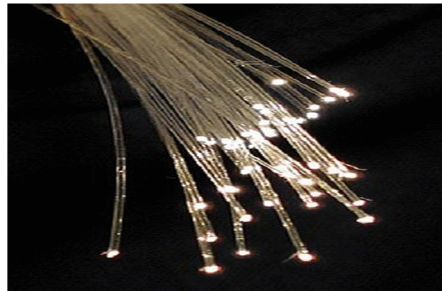


Figure 3 : Fibres optiques

#### 5. Principe et fonctionnement :

##### 5.1. Principe :

L'optique est la branche de la physique qui traite de la lumière, du rayonnement électromagnétique et de ses relations avec la vision. Entourée d'une gaine protectrice, la fibre optique peut être utilisée pour conduire de la lumière entre deux lieux distants de plusieurs centaines, voire milliers, de kilomètres. Le signal lumineux codé par une variation d'intensité est capable de transmettre une grande quantité d'informations. En permettant les communications à très longue distance et à des débits jusqu'alors impossibles. Ses propriétés sont également exploitées dans le domaine des capteurs (température, pression, etc.), dans l'imagerie et dans l'éclairage aussi le type de propagation des fibres optiques repose sur le principe de la réflexion. Les rayons lumineux qui se propagent le long du cœur de la fibre heurtent sa surface.

Afin d'éviter les pertes de lumière liées à son absorption par des impuretés à la surface de la fibre optique, le cœur de celle-ci est revêtu d'une gaine en verre d'indice de réfraction beaucoup plus faible ; les réflexions se produisent alors à l'interface cœur-gaine.

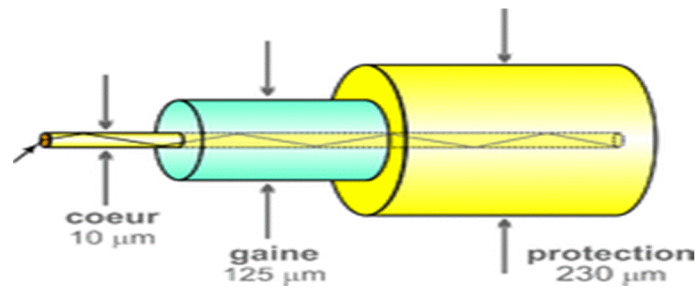


Figure 4: Principe d'une fibre optique

## 5.2. Fonctionnement :

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Elle est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine. Le cœur de la fibre a un indice de réfraction légèrement plus élevé (différence de quelques millièmes) que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux (en raison du phénomène de réflexion totale interne). L'ensemble est généralement recouvert d'une gaine plastique de protection [N.Boubrik. S.Chamek .S.Fferhani.2009].

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique sans perte, en empruntant un parcours en zigzag. La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec très peu de pertes même lorsque la fibre est courbée. Une fibre optique est souvent décrite selon deux paramètres :

- La différence d'indice normalisé, qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur et la

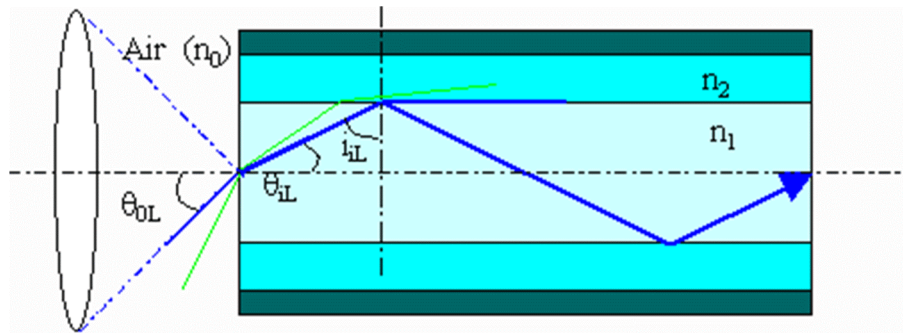
Gaine :

$$\Delta = \frac{n_c - n_g}{n_c}$$

où  $n_c$  est l'indice de réfraction du cœur, et  $n_g$  celui de la gaine .

- L'ouverture numérique de la fibre, qui est concrètement le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre pour que la lumière puisse être guidée sans perte, mesuré par rapport à l'axe de la fibre. L'ouverture numérique est égale à :

$$\sin \theta_{max} = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$



**Figure 5 : Principe d'une fibre optique à saut d'indice**

Il existe plusieurs types de fibre optique. Dans la fibre à saut d'indice, l'indice de réfraction change brutalement entre le cœur et la gaine. Dans la fibre à gradient d'indice, ce changement d'indice est beaucoup plus progressif. Dans les fibres à cristaux photoniques, l'écart d'indice entre les différents matériaux (en général la silice et l'air) est beaucoup plus important. Dans ces conditions, les propriétés physiques du guidage diffèrent sensiblement des fibres à saut d'indice et à gradient d'indice.

Dans le domaine des télécommunications optiques, le matériau privilégié est la silice très pure car elle présente des pertes optiques très faibles. Quand l'atténuation n'est pas le principal critère de sélection, on peut également mettre en œuvre des fibres en matière plastique.

Un câble de fibres optiques contient en général plusieurs paires de fibres, chaque fibre conduisant un signal dans chaque sens. Lorsqu'une fibre optique n'est pas encore alimentée, on parle de fibre optique noire.

### 5.3. Système de transmission :

Tout système de transmission d'information possède un émetteur et un récepteur. Pour un lien optique, deux fibres sont nécessaires. L'une gère l'émission, l'autre la réception. Il est aussi possible de gérer émission et réception sur un seul brin mais cette technologie est plus rarement utilisée car l'équipement de transmission est plus onéreux.

Le transpondeur optique a pour fonction de convertir des impulsions électriques en signaux optiques véhiculés au cœur de la fibre. A l'intérieur des deux transpondeurs partenaires, les signaux électriques sont traduits en impulsions optiques par une LED et lus par un phototransistor ou une photodiode[N.KAABACHE ET L.GACEM.2005].

Les émetteurs utilisés sont de trois types:

- les LED Light Emitting Diode (ou diode électroluminescente) qui fonctionnent dans le rouge visible (850 nm),
- les Lasers, utilisés pour la fibre monomode, dont la longueur d'onde est 1300 ou 1550 nm,

Les récepteurs sont :

- les photodiodes PIN, les plus utilisées car elles sont peu coûteuses et simples à utiliser avec une performance satisfaisante,
- les photodiodes à avalanche.

Pour tous les types de détecteurs optiques, le principe de fonctionnement est le même : l'effet photoélectrique.

Entre les deux transpondeurs, l'information est portée par un support physique (la fibre) appelé le canal de transmission. Au cours de son parcours, le signal est atténué et déformé : des répéteurs et des amplificateurs placés à intervalles réguliers permettent de conserver l'authenticité du message. En général, la modulation du signal optique est une modulation d'intensité lumineuse obtenue par la modulation du signal électrique dans la diode ou le laser.

L'atténuation et la déformation du signal sont des conséquences directes de la longueur du canal de transmission. Afin de conserver le signal optique de la source, les systèmes de transmission optique utilisent trois types d'amplificateurs :

- "Régénération" (amplification seule),
- "Régénération-Reshaping" (amplification et remise en forme),
- "Régénération-Reshaping-Retiming" (amplification, remise en forme et synchronisation).

Comme dans tous les systèmes de transmission, on cherche à transmettre dans la même fibre optique un maximum de communications d'origines différentes. Afin de ne pas brouiller les messages, on les achemine sur des longueurs d'onde différentes : c'est le multiplexage en longueur d'onde ou WDM (Wavelength Division Multiplexing). Il existe plusieurs techniques de multiplexage chacune adaptée au type de transmission sur fibre optique (transmission longue distance ou boucle locale par exemple) : Dense WDM (beaucoup de signaux à des fréquences très rapprochées), Ultra WDM (encore plus), Coarse WDM (moins de canaux mais moins coûteux)...

### 5.3.1. Photo-détecteur :

Le photo-détecteur opère la conversion optique/électrique et extrait du faisceau lumineux l'information qu'y a inscrit l'émetteur. Ses caractéristiques essentielles sont :

- Réponse rapide en haut débit: On a intérêt d'avoir une fréquence de coupure la plus élevée possible pour garantir un temps de montée bref ainsi qu'une capacité de transmission élevée.
- Sensibilité à la longueur d'onde utilisée : elle caractérise le rendement global de conversion de la puissance lumineuse en courant électrique.
- Un rendement important puisqu'on a un faible bruit.

On peut distinguer deux catégories de photodiodes celles qui n'ont aucun gain interne (PIN) et celles qui ont un gain interne (APD).

5.3.1.1. Photodiode PIN :

Elle est réalisée par l'insertion, entre les zones P et N de faible résistivité, d'une zone de forte résistivité I, quasiment intrinsèque. En fonctionnement la diode est soumise à une tension inverse suffisante pour appauvrir en porteurs libres la totalité de la zone intrinsèque. On s'arrange également par construction pour réduire au maximum la part d'absorption hors de la zone I en créant la jonction tout près de la surface [N.KAABACHE ET L.GACEM.2005].

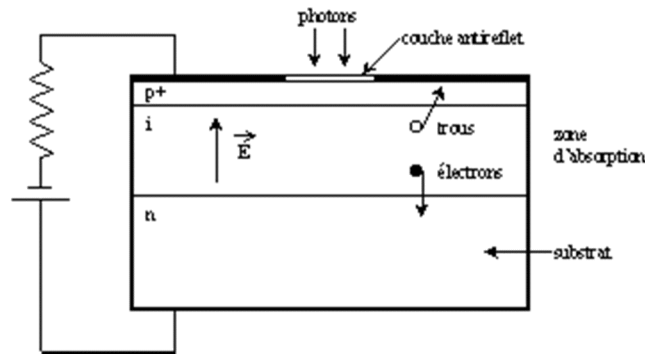


Figure 6.1 : Photodiode PIN.

5.3.1.2. Photodiode à avalanche (APD):

Quand la puissance lumineuse à détecter est très faible, de l'ordre du nano watt, les photos courantes sont aussi peu élevées et pour réduire l'importance du bruit, on peut chercher à donner un gain interne au dispositif en utilisant la photodiode à avalanche [N.KAABACHE ET L.GACEM.2005].

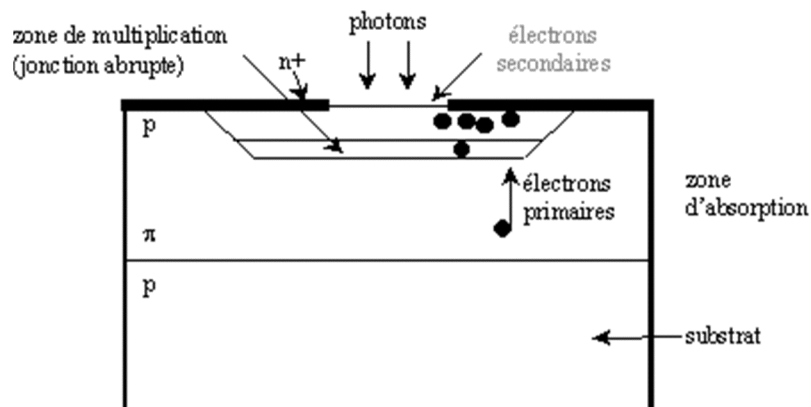


Figure 6.2: Structure d'une photodiode à avalanche

- **Comparaison entre PIN et APD**

<b>Caractéristiques</b>	<b>PIN</b>	<b>APD</b>
Technologie	Simple	Complexe
Mise en œuvre	Simple	Délicate
Gain interne	Nom	Oui (gain d'avalanche)
Tension de polarisation	Faible	Élevée
Courant d'obscurité	Faible	Moyenne
Facteur d'accès de bruit	Non	Oui

**Tableau 2: Comparaison entre PIN et APD**

### 5.3.2. Amplificateur optique :

➤ **Les amplificateurs à fibre dopée (EDFA) :**

Un amplificateur optique à fibre amplifie la lumière grâce au mécanisme d'émission stimulée. Les éléments actifs sont plus couramment des ions d'erbium ; si un photon interagit avec un électron dans l'état métastable, un effet quantique de résonance produit le retour de l'ion dans l'état fondamental et une photon est émise avec les mêmes caractéristiques que le photon incident.

A partir d'un photon on obtient ainsi deux : c'est la base de l'amplification optique. Mais l'amplification l'emporte si les photons rencontrent plus d'ions dans l'état métastable que dans l'état fondamental. Cette condition est désignée par le terme « inversion de population » et est obtenue par l'opération de pompage par exemple à la longueur d'onde de 980 nm.

### 5.3.3. Les coupleurs

Dans les réseaux de fibres optiques, les coupleurs permettent de distribuer le signal optique vers plusieurs fibres ou inversement, acheminer le signal venant de plusieurs fibres vers une seule. Le principe de base est celui du couplage par onde évanescente entre deux fibres dont les cœurs sont très proches. Pour que les coupleurs permettent une diffusion efficace d'informations, ils doivent satisfaire à deux conditions fondamentales :

- Leur panne ne doit pas perturber le système auquel ils donnent accès.
- Le prélèvement de données en un point ne doit pas soustraire plus de quelques pour-cent de la puissance transmise.

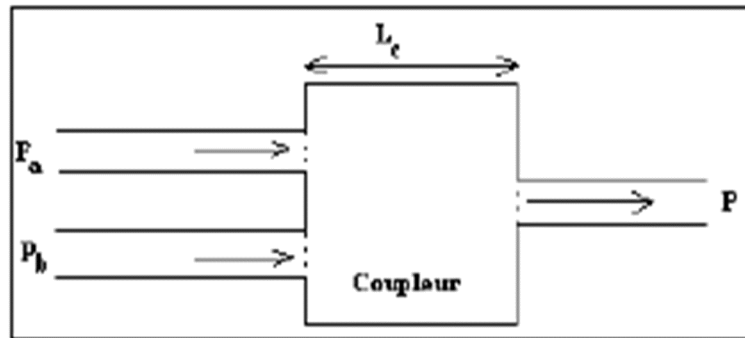


Figure 7: coupleur à deux entrées et une sortie

#### 5.4. Types de fibres optiques :

Dans les réseaux informatiques, --comme avec la paire de cuivre-- les fibres vont souvent par deux : l'interface d'une machine utilise une fibre pour envoyer des données et l'autre fibre pour en recevoir. Toutefois il est possible de réaliser une liaison bidirectionnelle sur une seule fibre optique.

Plusieurs types de fibres optiques sont aujourd'hui utilisés dans les réseaux informatiques : Il existe trois types de fibre optique :

- La fibre à saut d'indice 200/380 dont le cœur et la gaine sont en verre d'indice de réfraction différente. Cette fibre génère une grande dispersion des signaux et donc une déformation du signal reçu.
- La fibre à gradient d'indice dont le cœur est constituée de plusieurs couches de verre ayant un indice de réfraction proche. La dispersion est alors réduite et les temps de propagation sont égalisés. Bande passante typique 200-1500Mhz/km.
- La fibre monomode dont le cœur est si fine que le chemin de propagation est pratiquement direct. La bande passante transmise est presque infinie ( $> 10$  Ghz/km).
  - monomode ou multimode,
  - avec des tailles de cœur et de gaine variables. La plus commune : la 50/125, fibre multimode, a un cœur de 50 microns de diamètre pour une gaine de 125 microns,
  - avec des types de connecteurs différents : ST (section ronde à visser), SC (section carrée clipsable), LC (petite section carrée clipsable).

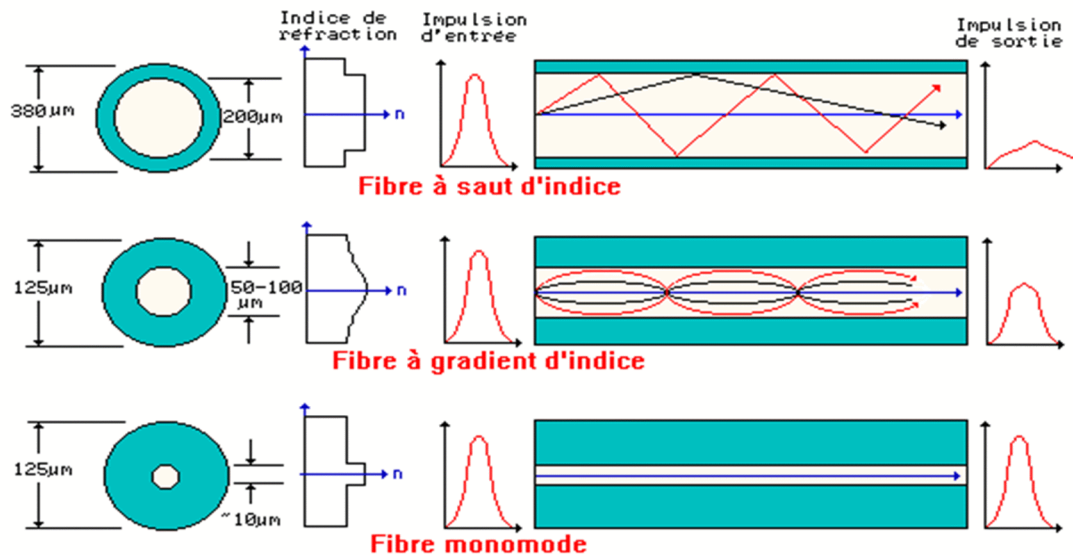


Figure 8 : types de Fibre optique

- Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée : les fibres monomodes et multimodes :

### 5.4.1. Les fibres multimodes

Les fibres multimodes (dites MMF, pour Multi Mode Fiber), ont été les premières sur le marché. Elles ont pour caractéristiques de transporter plusieurs modes (trajets lumineux). Du fait de la dispersion modale, on constate un étalement temporel du signal proportionnel à la longueur de la fibre. En conséquence, elles sont utilisées uniquement pour des bas débits ou de courtes distances.

La dispersion modale peut cependant être minimisée (à une longueur d'onde donnée) en réalisant un gradient d'indice dans le cœur de la fibre. Elles sont caractérisées par un diamètre de cœur de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de micromètres (les cœurs en multimodes sont de 50 ou 62,5 µm pour le bas débit). Cependant les fibres les plus récentes, de type OM3, permettent d'atteindre le Gbit/s sur des distances de l'ordre du km. Les longues distances ne peuvent être couvertes que par des fibres optiques monomodes.

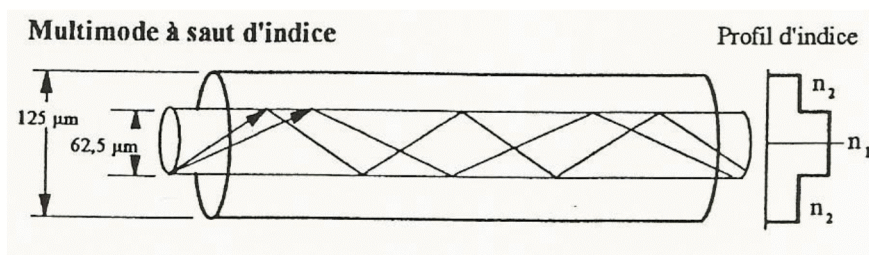


Figure 9 : Les fibres multimodes

5.4.2. Les fibres monomodes :

Pour de plus longues distances et/ou de plus hauts débits, on préfère utiliser des fibres monomodes (dites SMF, pour *Single Mode Fiber*), qui sont technologiquement plus avancées car plus fines. Leur cœur très fin n'admet ainsi qu'un mode de propagation, le plus direct possible c'est-à-dire dans l'axe de la fibre. Les pertes sont donc minimales (moins de réflexion sur l'interface cœur/gaine) que cela soit pour de très hauts débits et de très longues distances. Les fibres monomodes sont de ce fait adaptées pour les lignes intercontinentales (câbles sous-marin).

Une fibre monomode n'a pas de dispersion intermodale. En revanche, il existe un autre type de dispersion : la dispersion intra modale. Son origine est la largeur finie du train d'onde d'émission qui implique que l'onde n'est pas strictement monochromatique : toutes les longueurs d'onde ne se propagent pas à la même vitesse dans le guide ce qui induit un élargissement de l'impulsion dans la fibre optique. On l'appelle aussi dispersion chromatique (cf. plus haut « Dispersion chromatique »). Ces fibres monomodes sont caractérisées par un diamètre de cœur de seulement quelques micromètres (le cœur monomode est de 9 µm pour le haut débit).

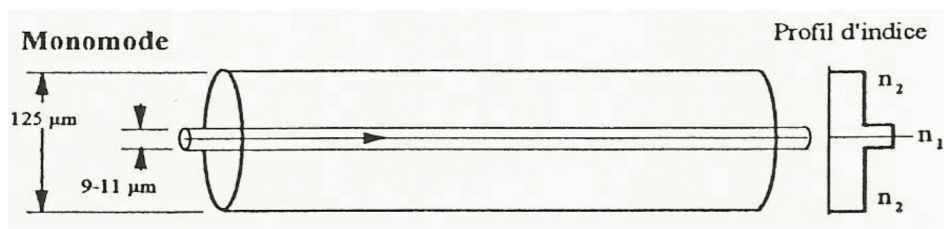


Figure 10 : Les fibres monomodes

- Largeur de bande: 100 GHz.km
- Atténuation: 0,3 dB/km à  $\lambda = 1550\text{nm}$  (portée 100km)

• Comparaison entre fibre monomode et multimode

Fibre monomode	Fibre multimode
Faible dispersion	Forte dispersion
Connexion délicate	Connexion facile
Faible atténuation	Forte atténuation
Hauts débits, longues distances	Réseaux locaux

Tableau 3: Comparaison entre fibre monomode et multimode

### 5.5. Caractéristiques :

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

#### 5.5.1. La bande passante :

La bande passante est l'un des paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique.

La bande passante est la fréquence maximum pour laquelle le signal transmis subit un affaiblissement de 3 dB. Elle s'exprime en Mhz. Km, et est inversement proportionnelle à la longueur de la liaison.

#### 5.5.2. Atténuation :

L'atténuation caractérise l'affaiblissement du signal au cours de la propagation.

Soient  $P_0$  et  $P_L$  les puissances à l'entrée et à la sortie d'une fibre de longueur  $L$ . L'atténuation linéaire se traduit alors par une décroissance exponentielle de la puissance en fonction de la longueur de fibre (Loi de Beer-Lambert) :  $P_L = P_0 e^{-\alpha L}$

L'atténuation est souvent exprimée en décibel (dB) par la relation suivante [N.KAABACHE ET L.GACEM.2005].

$$\alpha_{Tot} (dB) = 10 \log \frac{P_0}{P_L}$$

où  $\alpha$  est le coefficient d'atténuation linéaire. On utilise souvent le coefficient  $\alpha_{dB}$  exprimé en dB/km et relié à  $\alpha$  par  $\alpha_{dB} = 4,343\alpha$ .

Le principal atout des fibres optiques est une atténuation extrêmement faible. L'atténuation va varier suivant la longueur d'onde. La diffusion Rayleigh limite ainsi les performances dans le domaine des courtes longueurs l'onde (domaine du visible et du proche ultraviolet). Un pic d'absorption, dû à la présence de radicaux dans la silice, pourra également être observé autour de 1 385 nm. Les progrès les plus récents dans les techniques de fabrication permettent de réduire ce pic.

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. Si l'on désire transmettre l'information sur des milliers de kilomètres, il faudra avoir recours à un ré amplification périodique du signal, le plus généralement par l'intermédiaire d'amplificateurs optiques qui allient simplicité et fiabilité. Le signal subira des pertes supplémentaires à chaque connexion entre fibres, que ce soit par des traverses ou bien par soudure, cette dernière technique réduisant très fortement ces pertes.

### 5.5.3. Dispersion chromatique (intramodale)

La dispersion chromatique est exprimée en  $\text{Ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$  et 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 1 300-1 310 nm.



Figure 11 : dispersion chromatique intramodal de la fibre monomode

- **Dispersion modale de polarisation (PMD) :**

La dispersion modale de polarisation (PMD) est exprimée en  $\text{ps}/\text{km}^{1/2}$  et caractérise l'étalement du signal. Ce phénomène est dû à des défauts dans la géométrie des fibres optiques qui entraînent une différence de vitesse de groupe entre les modes se propageant sur différents axes de polarisation de la fibre.

### 5.5.4. Non-linéarité :

Un canal de transmission est dit non linéaire lorsque sa fonction de transfert dépend du signal d'entrée. L'effet Kerr, est parmi les principales sources de non linéarité dans les fibres optiques. Parmi les conséquences de ces effets non-linéaires, on peut citer l'auto modulation, des mélanges à quatre ondes intra- et inter-canaux.

- **Effet Kerr en optique :**

L'effet Kerr, en optique géométrique, est une extension des lois de la réfraction de la lumière lors de la propagation de cette dernière dans des milieux d'indices variables. Cet effet a pris récemment une importance considérable dans l'industrie des télécommunications par fibres optiques. (Fibres à gradient d'indice).

Dans une fibre à gradient d'indice, on utilise cet effet pour éviter la dispersion chromatique lors de la transmission de la lumière. Cela a pour conséquence de conserver, tout au long du parcours, les relations de phases dans le spectre de la lumière transmise, et donc d'éviter la dégradation de l'information

### 5.6. Le module d'émission :

La partie émission d'une liaison optique est composée de divers éléments (laser, modulateur, driver). son rôle est de délivrer au support de transmission un signal optique sur lequel sont inscrites les données.

#### 5.6.1. Le laser :

Le laser (Light Amplification by stimulated Emission Radiation) est un dispositif qui émet de la lumière grâce au phénomène d'émission stimulée (dont le rayonnement correspond à la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation, et la même directivité spatiale). Le laser est composé de trois éléments essentiels :

- d'un milieu amplificateur qui utilise la propriété d'émission stimulée de photons dans une jonction PN ou l'inversion de population entre les bandes de valence et conduction est assurée par une injection de charges électriques.
- D'une cavité résonante permettant de sélectionner les modes d'oscillations.
- Emission spontanée : les électrons et les trous ayant une durée de vie se recombinent dans un semi-conducteur à gap direct en émettant un photon (recombinaison radiative).

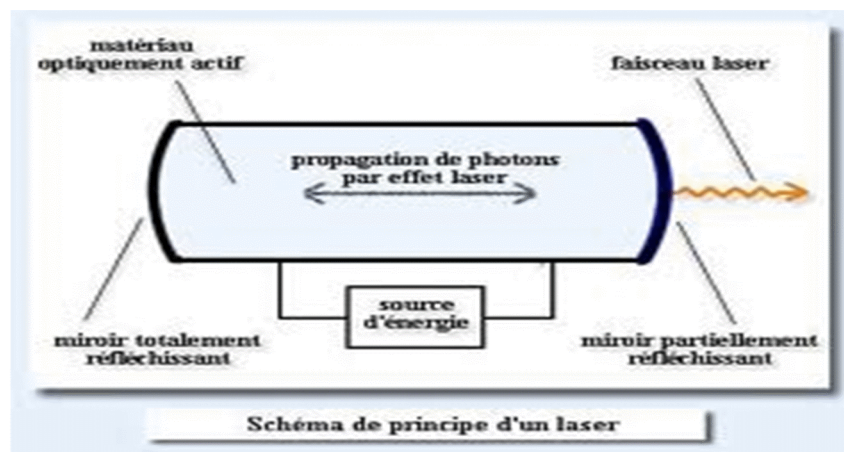


Figure 12: principe fonctionnement d'un laser

#### ➤ Les diodes laser : DL

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques c'est porté sur les émetteurs à semi-conducteur à cause de leurs petites dimensions en rapport avec celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité que l'on a à moduler directement la lumière

émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique. Ainsi la diode laser est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre [N.KAABACHE ET L.GACEM.2005].

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

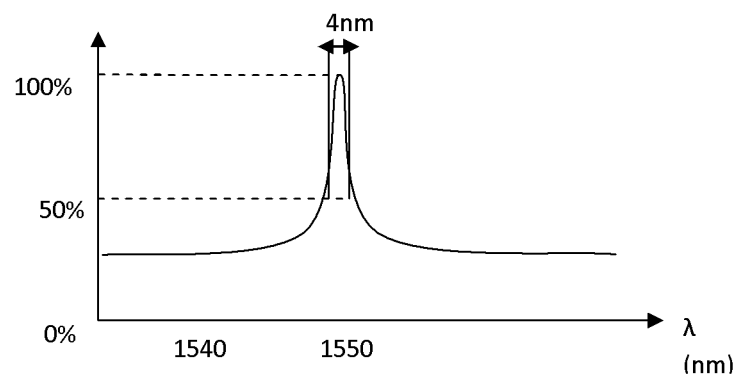


Figure 13 : diode laser, caractéristiques spectrales

### 5.6.2. Modulation :

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les graver sur le signal lumineux à envoyer dans la fibre, pour cela, il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques. Il existe deux techniques :

- **Modulation directe** : consiste à faire varier le courant de la source, la modulation directe provoque une modulation de la longueur d'onde émise, cette solution requiert assez peu de composants.
- **Modulation externe** : consiste à écrire les données électrique sur un signal optique continu en utilisant un modulateur, elle est plus rapide et permet donc d'atteindre des débits plus élevés.

### 5.7. Le module de réception :

Le récepteur optique est un dispositif qui permet d'extraire l'information du signal électrique reçu.

Les systèmes de transmission par fibre optique nécessitent des récepteurs optiques devant remplir certaines conditions :

- Une grande sensibilité à la longueur d'onde de fonctionnement.
- Une grande bande passante (réponse à grande vitesse)
- Bruit minimum (courant d'obscurité le plus faible possible).
- Bonne stabilité en température.

### 5.8. Les filtres optiques :

Le filtre a pour but de limiter l'occupation spectrale d'un signal. La séparation spectrale est réalisée en réfléchissant une certaine gamme de longueurs d'onde et en transmettant les autres. Caractérise donc le filtre par sa bande passante, c'est-à-dire le domaine de fréquences (longueurs d'onde) pour lequel il laisse passer la lumière.

### 5.9. Avantages et inconvénients de la fibre optique :

Comme elle aussi est vite apparue très intéressante pour le domaine des télécommunications. Elle présente un support de transmission dont les nombreux avantages justifient son introduction dans les systèmes de transmission.

#### ➤ Avantages

- ❖ performances de transmission : très faible atténuation, très grande bande passante, multiplexage possible de plusieurs signaux ; elles permettent aux systèmes d'avoir une portée et une capacité très supérieures à celles des câbles conducteurs.
- ❖ Avantage de mise en œuvre : très petite taille, grande souplesse, faible poids, appréciables aussi bien en télécommunications que pour le câblage en informatique, aéronautiques, applications industrielles.
- ❖ Sécurité électrique : isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive ou sous forte tension.
- ❖ Sécurité électromagnétique : la fibre optique n'est pas sensible aux parasites et n'en crée pas elle-même.
- ❖ Avantage économique : contrairement à l'idée encore répandue, le coût global d'un système sur fibre optique et de plus en plus souvent inférieur à celui d'un système sur cuivre.

#### ➤ Inconvénients

- ❖ La fibre optique ne permet pas le transport d'énergie.
- ❖ Les répéteurs doivent être alimentés séparément, soit localement, soit par second câble électrique, soit par un câble mixte optique et électrique.
- ❖ Les techniciens manipulant la fibre optique doivent protéger leurs yeux. Il est indispensable de porter des verres de protection infrarouge pour travailler de près sur un dispositif en fonctionnement.
- ❖ Perte de raccordement entre différents composants optiques du système. Parmi les pertes de raccordement on trouve :
  - Pertes de couplage à la source : une partie seulement de la puissance émise par le laser sera captée par la fibre à cause de la désadaptation entre eux.
  - Pertes d'épissure : elle est due à cause d'une discontinuité des rayons, une erreur d'espacement, une erreur d'excentrement, une erreur d'alignement angulaire.

- Pertes dues aux conditions d'utilisation des fibres : toute courbure trop serrée crée des pertes par rayonnement.

### 5.10. Applications de la fibre optique :

L'une des applications les plus courantes des fibres optiques est la transmission de lumière à des endroits difficilement accessibles, comme la sonde d'une roulette de dentiste. Assemblées par milliers, avec précision, afin de conserver leurs propriétés de propagation, les fibres optiques sont également utilisées pour la transmission des images. Chaque point de l'image projetée à l'extrémité d'un paquet de fibres est reproduit à l'autre extrémité du paquet. L'image reconstituée peut alors être observée à travers une loupe. La transmission des images via les fibres optiques trouve de nombreuses applications : en médecine (développement de l'endoscopie qui permet d'explorer les organes internes du corps humain, notamment dans le cadre de la chirurgie laser), en télécopie, en photocomposition, en Infographie, etc.

Les fibres optiques sont également utilisées dans une grande variété d'appareils de détection. Leurs applications techniques dans ce domaine sont presque illimitées, la lumière qu'elles propagent étant sensible à un grand nombre de modifications de l'environnement : la pression, les ondes sonores, la tension, la chaleur et le mouvement. La technologie des fibres optiques a également été appliquée à la propagation des rayons laser de haute puissance, pour des opérations de découpage et de perforation sur différents matériaux.

En télécommunications, on utilise de plus en plus les fibres optiques. En effet, les ondes lumineuses possèdent de hautes fréquences, or la capacité de transport de l'information d'un signal augmente avec la fréquence. Les systèmes de laser associés à des fibres optiques sont ainsi utilisés dans les réseaux de télécommunications.

De nombreux réseaux de télécommunications à grande distance utilisant des fibres optiques possèdent déjà des liaisons continentales et transocéaniques. Un signal ainsi acheminé par fibres optiques peut parcourir de grandes distances avant qu'il ne soit nécessaire de le régénérer au moyen d'un répéteur. Dans le cas de systèmes de télécommunications par fibres optiques, les répéteurs sont généralement situés tous les 100 km environ, contre 1,5 km pour les systèmes électriques ordinaires. Les amplificateurs récemment mis au point permettent d'augmenter encore cette distance.

### 6. Discussion :

Si la fibre optique assure le transport des informations numériques de façon appréciable, ce que l'on sait beaucoup moins, c'est que sa portée est limitée et que des conversions optiques électroniques optiques (O/E/O) sont nécessaires sur tous les parcours. De plus, entre le laboratoire et la mise en œuvre dans un réseau, il y a tout un domaine à considérer.

Aujourd'hui, le déploiement de la fibre optique va plus loin puisque ils essaient de l'utiliser pour relier les foyers à Internet. Outre le débit plus important, la fibre optique aurait pour avantage de permettre aux foyers un débit plus stable à des distances plus grandes (10km). En effet, le débit d'une liaison fibre optique n'est pas dépendant de son éloignement vis-à-vis du Nœud de Raccordement Optique (NRO). D'autre part, la fibre optique est évolutive.

## 1. Préambule

Le réseau de transmission fournit les capacités de transport des flux voix, vidéo, données générés par les réseaux de commutation : IP, ATM, RTC, GSM,... etc. Trois technologies sont considérées pour la transmission : PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), SDH (Synchronous Digital Hierarchy) et D-WDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) est née au début des années 70 avec la numérisation du téléphone. Elle définissait, entre les points du réseau de l'opérateur, des jonctions Mic à 2Mbit/s accueillant trente-deux circuits à 64 kbit/s par multiplexage temporel. C'est à partir de ce multiplexage successif des circuits sur plusieurs niveaux que la hiérarchie des débits a été créée en Europe : 2 (E1), 8 (E2), 34 (E3), 140 (E4) et 565 Mbit/s (E5).

Le réseau de transmission existant est constitué pour l'essentiel par juxtaposition de deux technologies (PDH et SDH), sur des supports principalement optiques. Il existe cependant des liens hertziens dans certaines zones géographiques peu adaptées aux conduites enterrées. La structure de ces réseaux est soit du type réseau maillé comme c'est le cas aujourd'hui pour de nombreux réseaux interurbains en Europe, soit du type réseau en anneau, structure qui s'est beaucoup répandue avec la SDH dans les réseaux urbains et régionaux, et dans les réseaux longue distance en Amérique puis en Europe.

Les débits de SDH sont appelés STM-i avec le STM-1 égal à 155 Mbit/s. STM signifie Synchronous Transfert Module. Le STM-4 correspond à un débit de 622 Mbit/s, le STM-16 correspond à un débit de 2,5 Gbit/s et le STM-64 correspond à un débit de 10 Gbit/s. La SDH est concurrencée par Ethernet. En effet, SDH est une technique originellement conçue pour gérer les communications en mode circuit, typiquement les communications téléphoniques. Or, depuis les années 2000, le volume de données de type paquet a supplanté en quantité celui des données de type téléphonique, laissant SDH un peu inadapté aux nouveaux services qu'on lui demande aujourd'hui.

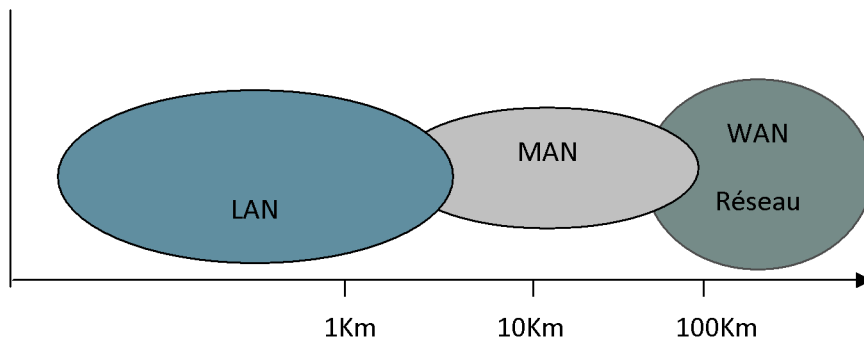
Le multiplexage en longueur d'onde (D-WDM, Dense Wavelength Division Multiplexing) est une technique utilisée en communications optiques qui permet de faire passer plusieurs signaux de longueur d'onde différentes sur une seule fibre optique, en les mélangeant à l'entrée à l'aide d'un multiplexeur (MUX), et en les séparant à la sortie au moyen d'un démultiplexeur (DEMUX).

La capacité de transport de la fibre optique continue d'augmenter régulièrement grâce au multiplexage en longueur d'onde. Dans le même temps, le débit de chaque longueur d'onde ne cesse de progresser. On estime qu'il a été multiplié par deux tous les six mois de 2000 à 2004, date à laquelle on a atteint près de 1 000 longueurs d'onde. Comme, sur une même longueur d'onde, la capacité est passée pour la même période de 2,5 à 40 Gbit/s et bientôt 160 Gbit/s, des capacités de plusieurs dizaines de térabits par seconde (Tbit/s, ou 10<sup>12</sup> bit/s) sont aujourd'hui atteintes sur la fibre optique.

Le multiplexage en longueur d'onde, ou WDM (Wavelength Division Multiplexing), consiste à émettre simultanément plusieurs longueurs d'onde, c'est-à-dire plusieurs lumières, sur un même cœur de verre. Cette technique est fortement utilisée dans les cœurs de réseau. On l'appelle DWDM (Dense WDM) lorsque le nombre de longueur d'onde devient très grand.

## 2. Les réseaux optiques

Dans un réseau la chaîne de transmission d'un signal, depuis le point d'expédition jusqu'au point de destination, comporte les maillons principaux suivantes :



Figure

1 : les réseaux optique

selon la taille

### 2.1. Les réseaux étendus (WAN, Wide Area Network).

Ce sont les réseaux déployés à l'échelle d'un pays ou d'un continent et dans les nœuds sont de très grands centres urbains.

Ce type de système régénérer le signal optique. Ces répéteurs sont constitués par des régénératrices optoélectriques 3R (Retiming, Rechipping, Regenerating) et par des amplificateurs optiques.

### 2.2. Les réseaux métropolitains (MAN, Métropolitain Area Network)

C'est des réseaux qui correspondent aux réseaux mis en œuvre dans une grande ville ou agglomération et qui permettent le relire différents arrondissements. Ce type de réseaux :

- à une longueur qui varie entre 1 à 10 Km.
- A un grand degré de connectivité.
- Utilise des anneaux métropolitains qui se caractérisent généralement par un trafic maillé avec un certain degré de concentration lie à l'interconnexion avec le réseau longue distance. Les anneaux d'accès collectent en général le trafic de plusieurs nœuds pour le concentrer vers un nœud partage avec un réseau métropolitain structurant.
- Doit, à la différence du réseau longue distance, prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers.
- Mêlent les trafique de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) ou autre encore. Les amplificateurs optiques sont essentiels pour les amplifications de ce type de réseau.
- Et souvent équipe par des cartes transpondeuses multi-débits universelles, acceptant n'importe quel débit de 100 Mb/s à 2.5 Gb/s.
- Utilise le DWDM, offrant les mêmes avantages que le système a longues distances.

- Les distances étant plus faibles, nécessitent moins d'amplificateurs optiques, se permet d'étendre la bande spectrale au-delà des amplificateurs dopés l'erbium et réduit les problèmes de dispersion.

### 2.3. Les réseaux locaux (LAN, Local Area Network)

C'est un réseau individuel s'étend généralement sur une zone géographique unique et fournit des services et des applications aux personnes au sein d'une structure organisationnelle commune, telle qu'une entreprise, un campus ou une région.

Encore appelés réseaux de distribution aux réseaux d'accès. Ils représentent le dernier maillon et finissent d'acheminer l'information à l'abonné. Ils sont donc plus courts et moins gourmands en capacité. Tous ces maillons doivent répondre à la demande croissante de capacité des réseaux de télécommunication, quel que soit le type de service utilise.

## 3. Les différentes technologies :

### 3.1. Hiérarchie PDH :

La hiérarchie numérique plésiochrone ou PDH (en anglais *Plesiochronous Digital Hiérarchie*) est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunications afin de véhiculer les voies téléphoniques numérisées. Le terme « plésiochrone » vient du grec *plesio* (proche) et *chronos*(temps) et reflète le fait que les réseaux PDH utilisent des éléments pratiquement mais non parfaitement synchronisés : ils ont un même débit nominal pour toutes les artères du même type mais ce débit diffère légèrement en fonction de l'horloge de traitement local.

C'est la technique qui a précédé le SDH, elle consiste à multiplexer et de transporter les débits inférieurs en les transmettant à des débits supérieur.

Le transfert de données est basé sur un flux à 2 048 kbit/s. Pour la transmission de la voix, ce flux est séparé en 30 canaux de 64 kbit/s et 2 canaux de 64 kbit/s utilisés pour la signalisation et la synchronisation. On peut également utiliser l'intégralité du flux pour de la transmission de donnée dont le protocole s'occupera du contrôle.

Le débit exact des données dans le flux de 2 Mbit/s est contrôlé par une horloge dans l'équipement générant les données. Le débit exact varie légèrement autour de 2 048 kbit/s.

Le caractère plésiochrone du multiplexage impose une opération de multiplexage à chaque niveau pour accéder à un signal affluent. Ainsi pour extraire un train à 2 Mbits/s dans un multiplexe à 140 Mbits/s, 3 démultiplexeurs sont nécessaires, 140 vers 4x34, 34 vers 4x8 et 8 vers 4x2 (norme européenne).

Afin d'amener plusieurs flux de 2 Mbit/s d'un point à un autre, ils sont combinés par multiplexage en groupes de quatre. Cette opération consiste à prendre 1 bit du flux #1 suivi d'un bit

du #2, puis le #3 et enfin le #4. L'équipement émetteur ajoute également des informations permettant de décoder le flux multiplexé.

Chaque flux de 2 Mbit/s n'étant pas nécessairement au même débit, des compensations doivent être faites. L'émetteur combine les quatre flux en assumant qu'ils utilisent le débit maximum autorisé. Occasionnellement le multiplexeur essaiera donc d'obtenir un bit qui n'est pas encore arrivé ! Dans ce cas, il signale au récepteur qu'un bit est manquant ce qui permet la reconstruction des flux à la réception.

La combinaison du multiplexage décrit permet un débit de 8 Mbit/s. Des techniques similaires permettent d'agréger quatre de ces flux pour former des conduits de 34 Mbit/s puis 140 Mbit/s et enfin 565 Mbit/s [O.ADAMUS ,J.COPIN ,E.PANETTA.2003].

L'utilisation du PDH se limite le plus souvent à 140 Mbit/s après quoi on lui préfère la SDH.

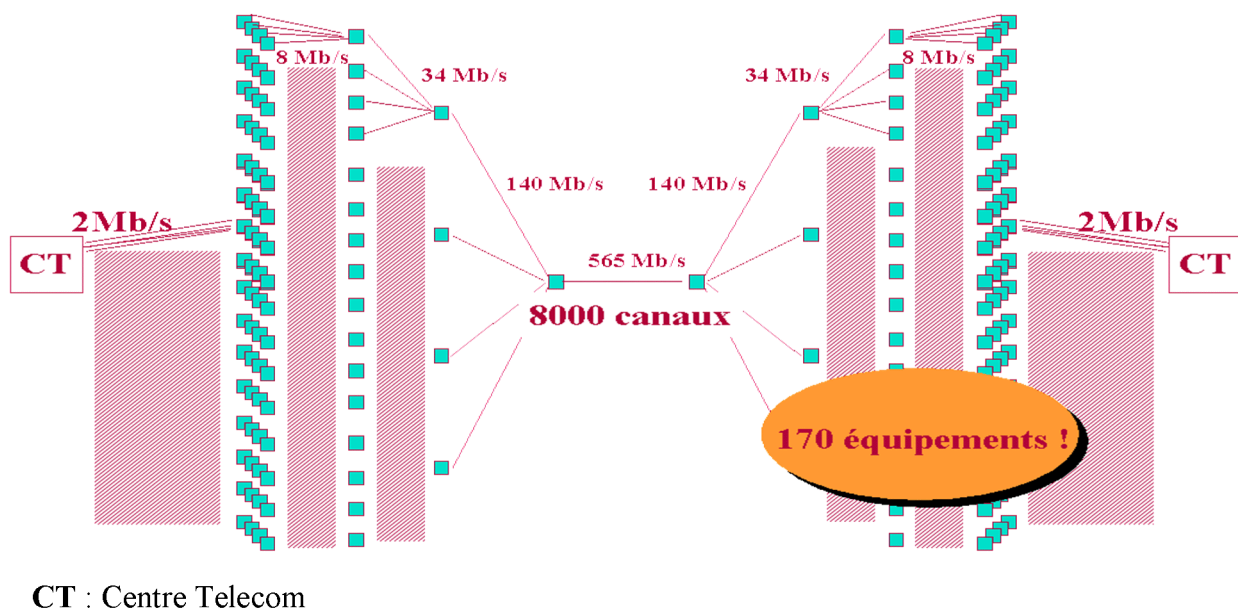


Figure 2: Hiérarchie PDH

### 3.1.1. La trame de base E1

Le transfert de données est basé sur un flux à 2 048 Kbit/s. utilisés pour la voix, ce flux est séparé en 30 canaux de 64 Kbit/s et 2 canaux de 64Kbit/s utilisés pour la signalisation et la synchronisation. Chaque trame est définie par une durée de 125 µs divisée en 32 IT numérotée de 0 à 31. Les IT 1 à 15 et 17 à 31 sont dédiées aux transferts d'information (Figure). Les autres IT servent à la signalisation:

- L'IT0 des trames paires est réservé au verrouillage de trame. -L'IT0 des trames impaires est réservé au service (alarmes,...).
- L'IT16 est généralement réservé au transport de la signalisation des diverses voies du multiplex.

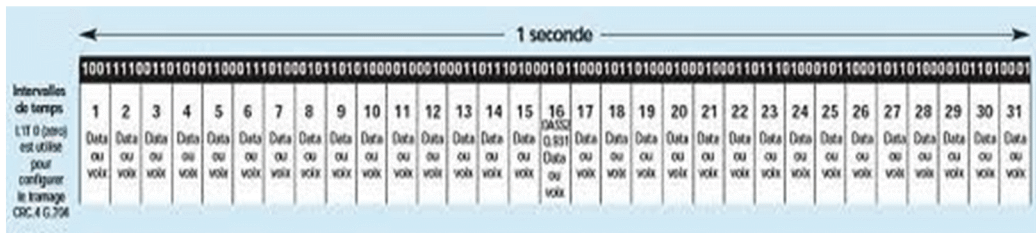


Figure 3 : La trame de base E1

3.1.2. Principe de multiplexage :

La figure ci-dessous décrit le principe de multiplexage de la hiérarchie plésiochrone, Cette technique impose un démultiplexage complet pour accéder à un niveau inférieur.

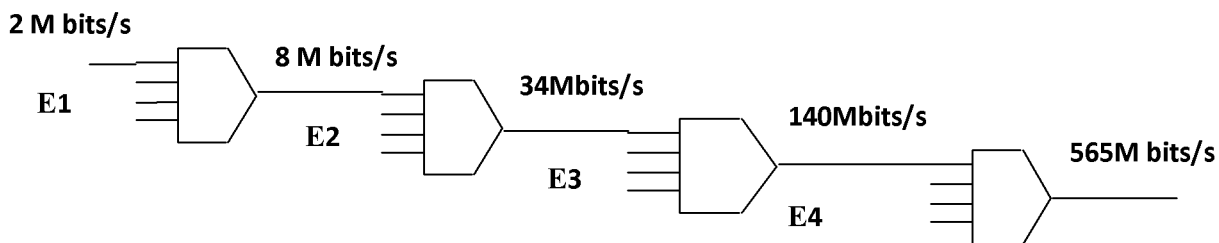


Figure 4: principe de la hiérarchie PDH

- 30 voies analogiques donnent E1.
- 30 voies numériques par canal ,4 canaux E1 a 2,048 M bits/s.
- 120 voies numériques par canal ,4 canaux E2 a 8,448 M bits/s.
- 480 voies numériques par canal ,4 canaux E3 a 34,368 M bits/s.
- 1920 voies numériques par canal ,4 canaux E4 a 139,264 M bits/s.

➤ Les équipements utilisés dans le système PDH au niveau du CA2 sont :  
 NOKIA (140 Mbit, 34 Mbit, 8Mbit, 2 Mbit)  
 SIEMENS (140 Mbit, 34 Mbit, 8 Mbit, 2Mbit)

3.1.3. Les avantages et inconvénients de PDH

- **Avantage :**
  - disponibilité de la ressource de transport dès qu'elle a été affectée.
  - Ces techniques sont bien adaptées aux applications à forte contrainte temporelle telle que la téléphonie (RNIS), et mal adaptées aux applications informatiques.

➤ **Inconvénient :**

- Lorsqu'il faut extraire un canal de 2 Mbps d'un multiplex à 140 Mbps, trois opérations de démultiplexage sont nécessaires qui entraînent une perte d'efficacité.
- si utilisation non permanente de cette ressource, il y a gaspillage car elle ne peut être utilisée par un autre canal.

### 3.2. Hiérarchie SDH /SONET:

La hiérarchie SONET (synchronous Optical network) est une proposition qui définit la couche physique d'une architecture à haut débit. SDH correspond à une vision spécifique de SONET, la trame de base définie par cette hiérarchie est l'OC-1(Optical container) au débit de 51,84 Mbit/s. un réseau SONET support les débits plésiochrones américains.

La demande de croissante nécessitant de larges bandes passantes a été à l'origine de la conception puis de la définition de la hiérarchie numérique synchrone (SDH).

Les avantages de cette technique à savoir la hiérarchie normalisée et appliquée mondialement : réduction du nombre d'équipement, flexibilité et évolution ont conduit les exploitants à développer des réseaux synchrones complexes [O.ADAMUS ,J.COPIN ,E.PANETTA.2003].

- La SDH est concurrencée par Ethernet. En effet, SDH est une technique originalement conçue pour gérer les communications en mode circuit. Or, depuis les années 2000, le volume de données de type paquet a supplanté en quantité celui des données de type téléphonique, laissant SDH un peu inadapté aux nouveaux services qu'on lui demande aujourd'hui.

Les réseaux SDH les plus déployées sont aujourd'hui des réseaux combinant les niveaux STM 1, STM 4 et STM 16. Le niveau STM 256 devrait commencer à être déployé à la fin de l'année 2000. Les architectures peuvent être réalisées en bus, en anneau, en étoile, ou encore maillées et peuvent être combinées entre elles permettant aux opérateurs de résoudre un grand nombre de cas pratiques.

#### 3.2.1. La structure da la trame STM-1:

Cette trame possède les caractéristiques suivantes :

- Longueur totale : 2430 octets.
- Durée de 155  $\mu$ s (fréquence de réception de 8 KHz).
- Débit résultant : 155.520 Mbit/s.
- Elle est constituée de 9 lignes et de 270 colonnes

$$\begin{aligned} \text{STM1} &= 9 \text{ lignes} \times 270 \text{ colonnes} \times 8 \times 8000 \\ &= 2430 \text{ octets} \times 64 \text{ K bits/s} \\ &= 155,52 \text{ M bits/s} \end{aligned}$$

STM1= 155 M bits/s
--------------------

➤ Comporte trois zones réserves respectivement a:

- la capacité utile (2349 octets : soit 150,336 Mbit/s).
- le sur débit de section SOH (Section Over Head) (RSOH et MSOH).

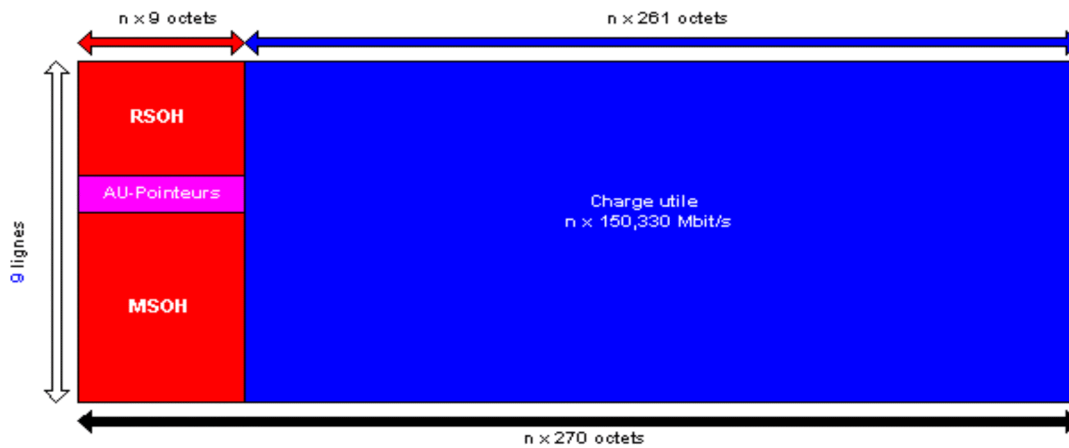


Figure 5 : Trame SDH

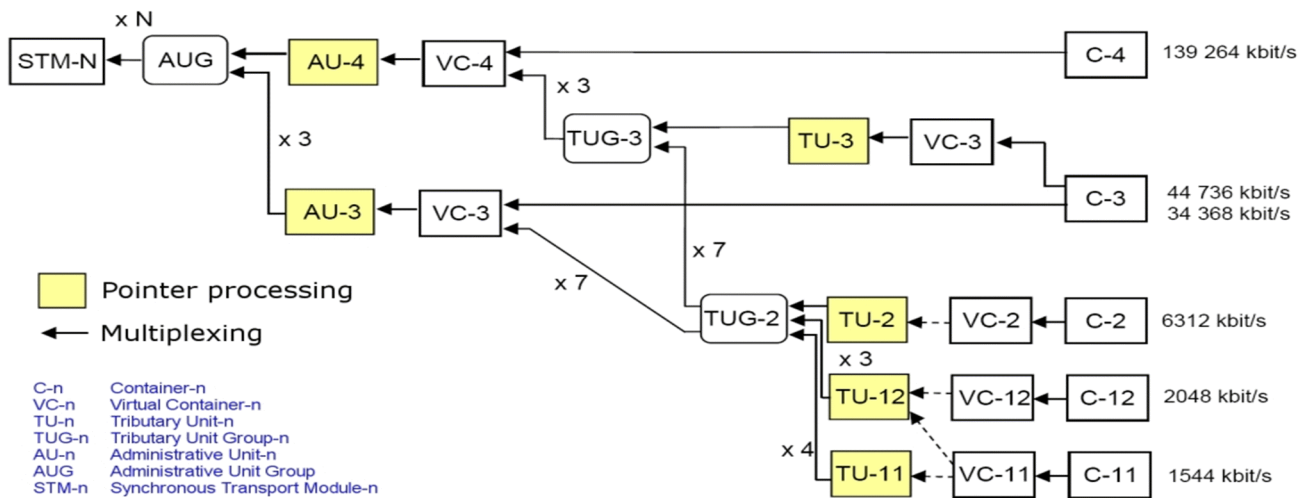
• Tableau récapitulatif des STM-n actuellement normalisés :

Débit de bit	Abrévié	SDH	SONET
51.84 Mbit/s			STS-1
155.52 Mbit/s	155 Mbit/s	STM-1	STS-3
622.08 Mbit/s	622 Mbit/s	STM-4	STS-12
2488.32 Mbit/s	2.5 Gbit/s	STM-16	STS-48
9953.28 Mbit/s	10 Gbit/s	STM-64	STS-192
39813.12 Mbit/s	40 Gbit/s	STM-256	

Tableau 4 : répertoire des débits de la hiérarchie SDH/SONET

### 3.2.2. Hiérarchie de multiplexage SDH :

En SDH on retrouve deux niveaux de conteneur virtuel (VC) : le “Low Order VC” : LO-VC ” et le “High Order VC” : HO-VC.



**Trame de transport = pointeur + entête de conduit + pointeur multiplexage + entête de conduit + Affluent**

**Figure 6: Hiérarchie de multiplexage SDH**

$$VC-12 = E1 = 2\text{Mbit/s} \quad (1)$$

$$VC-3 = 21 E1 \quad (2)$$

$$VC-4 = 3 VC-3 = 63 E1 \quad (3)$$

### 3.2.3. Les avantages et inconvénients de la hiérarchie synchrone :

➤ **Avantage :**

- Simplification du réseau, des techniques de multiplexage/ démultiplexage qui permet l'utilisation d'un nombre illimité d'équipements.
- Haute flexibilité Possibilité d'accéder aux affluents bas débits sans besoin de décomposer tout le signal haut débit.
- Intégration de PDH d'où une possibilité de transporter des signaux existants dans le PDH ceci permet d'intégrer les équipements SDH dans les réseaux existants, et permet l'introduction d'une large gamme de services.
- Facilité d'évolution vers les niveaux de multiplexage supérieurs, l'extension du réseau et les nouveaux services. (Niveau bas de SDH à niveau élevé de SDH).

➤ **Inconvénient:**

- l'origine américaine du SDH se substitue de quelques imperfections concernant la transmission des signaux dans la hiérarchie; par exemple, il est seulement possible de transmettre 3\*34 Mbits/s dans STM-1 bien que la capacité autoriserait une transmission de signaux 4\*34 Mbits/s.
- inconvénient de multiplexage par synchronisation de trame
- retard dans le temps.
- la large application de logiciels rend le SDH vulnérable aux virus et aux mauvaises manipulations.
- Rapport d'utilisation de la largeur de bande est bas.

➤ **Tableau comparatif des techniques SDH et PDH :**

<b>Hiérarchique Numérique Plésiochrone (PDH)</b>	<b>Hiérarchique Numérique Synchrone (SDH)</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Réseau Plésiochrone (oscillateur libre interne).</li> <li>2. Technique de multiplexage asynchrone.</li> <li>3. Une trame de transmission spécifique est définie pour chaque niveau de de multiplexage.</li> <li>4. Multiplexage bit par bit.</li> <li>5. Alignement de l'horloge par justification positive bit par bit.</li> <li>6. La synchronisation sur le signal de verrouillage de trame n'est pas nécessaire.</li> <li>7. Accès aux canaux individuels entrelacés seulement après démultiplexage pointeur.</li> <li>8. Débit normalisé maximal de 140 Mbits/s.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Réseau synchrone (l'oscillateur interne est synchronisé avec l'horloge référence externe).</li> <li>2. Technologie de multiplexage synchrone.</li> <li>3. Tous les signaux multiplexée ont la même structure de trame.</li> <li>4. Multiplexage octet par octet.</li> <li>5. Alignement de l'horloge par justification positive « zéro » négatif octet par octet.</li> <li>6. La synchronisation sur le mot de verrouillage de trame est nécessaire.</li> <li>7. Accès « simple ».</li> <li>8. A chacun des canaux entrelacés possible après analyse des débits binaires normalisés à partir 155 Mbits/s.</li> </ol>

**Tableau 5 : Tableau comparatif des techniques SDH et PDH**

**3.3. Technologie WDM/DWDM :**

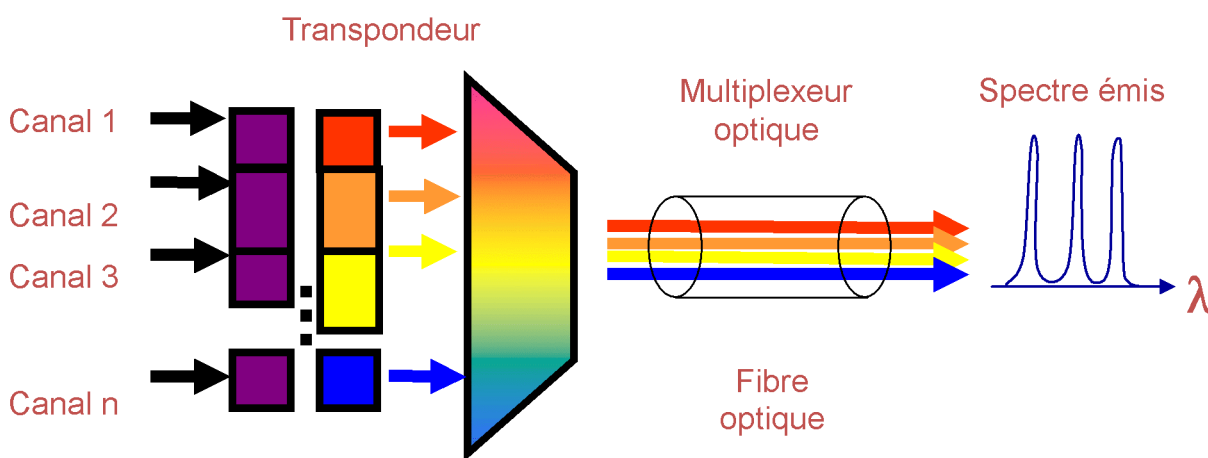
**3.3.1. Présentation du WDM/DWDM :**

La technologie WDM repose sur le principe du multiplexage optique. Le principe consiste à transporter plusieurs signaux sur un brin de fibre optique. Chaque signal est coloré, c'est-à-dire placé sur une longueur donnée grâce à un transpondeur.

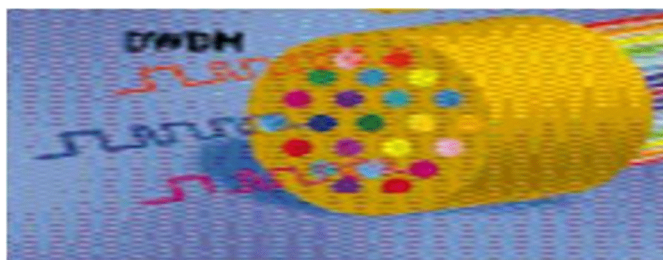
Puis via un multiplexeur optique ; toutes les longueurs d'ondes sont envoyées sur le même brin de fibre optique [O.ADAMUS ,J.COPIN ,E.PANETTA.2003].

Un démultiplexeur va séparer les longueurs d'onde les unes des autres, puis un transpondeur va reconvertir le signal en canal gris.

Le but est de faire circuler plusieurs longueurs d'ondes sur une même fibre optique. Chaque longueur d'onde est représentée par une couleur. Chaque couleur est retransmis sur un canal différent.



**Figure 7.1 : principe général du WDM**



**Figure 7.2 : Chaque couleur est retransmis sur un canal différent**

Avec un nombre de canaux exploités qui ne cesse d'augmenter, le WDM apporte une nouvelle solution évolutive dans les télécommunications.

N'importe quel signal peut être transporté via la technologie WDM. Le seul pré-requis concerne ce signal qui doit être numérique. Le protocole peut être indifféremment :

- ATM
- SDH : E1, STM-1, STM-4, STM-16, STM-64
- Ethernet : 10 Mbps, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet

- Fiber Channel : FC100, FC200, FC400, FC800

Chaque longueur d'onde est indépendante. Ainsi sur une même fibre optique, plusieurs protocoles peuvent être transportés.

### 3.3.2. Fonctionnement général du WDM/DWDM :

La technologie du WDM est représentée par deux terminaux et un lien optique monomode les reliant. Le premier est un multiplexeur, le second un démultiplexeur.

Le multiplexeur a pour rôle de changer les longueurs d'ondes des signaux entrant et de les multiplexer sur un seul canal. Pour changer les longueurs d'ondes entrantes, il est nécessaire d'utiliser un transpondeur.

Lorsque des signaux arrivent au niveau du multiplexeur, il est possible qu'ils aient la même longueur d'onde, même si l'émetteur est différent. Etant donné qu'il n'est pas possible d'envoyer deux fois la même longueur d'ondes sur un même lien au risque d'erroné l'information des deux signaux, c'est le transpondeur qui va se charger de changer la longueur d'onde d'un de des deux signaux.

Ainsi, chaque flux entrant va être codé sur une porteuse par modulation d'amplitude ou de phase. Ce qui permet donc de diffuser des signaux de sources différentes et ayant des longueurs d'ondes identiques sur un même canal.

Arrivé au démultiplexeur, celui-ci va agir comme plusieurs filtres dans des zones de longueurs d'ondes données. Il a donc connaissance des longueurs d'ondes qui circulent dans le lien optique. Le démultiplexeur va donc pouvoir récupérer l'intégralité d'un signal qui avait été multiplexé.

L'intérêt de la fibre optique est que ces signaux ne peuvent se confondre, à la réception ils seront parfaitement distingués

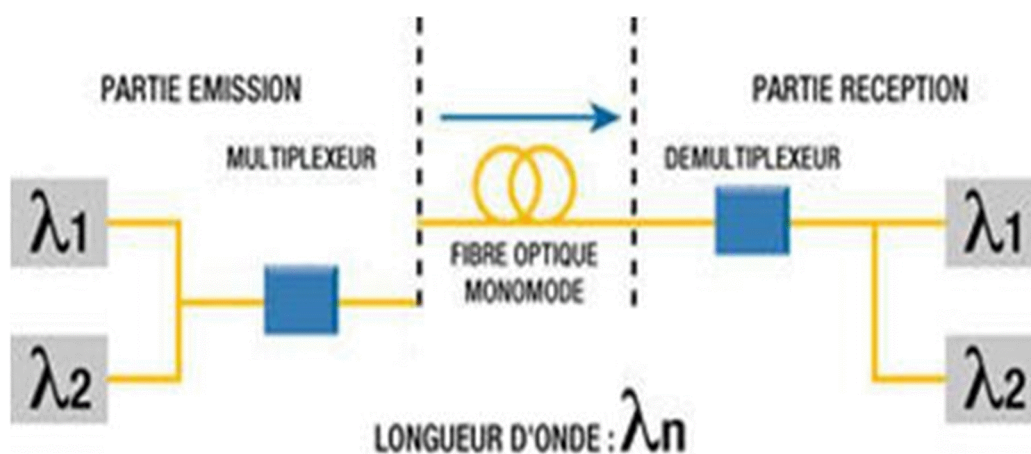


Figure 8 : Fonctionnement général du WDM/DWDM

### 3.3.3. Les Différentes Technologie Du WDM :

Il existe plusieurs technologie WDM, Elles restent identiques par leur principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux exploité dans une fibre.

#### ❖ DWDM

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.

- Espacement entre 2 longueurs d'onde : 100GHz (environ 0.8 nm) ou 50GHz.
- Nombre de longueurs d'onde maximum : 160
- Portée : 600 km.
- Amplification via la technologie EDFA.

#### ❖ UWDM

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

- Espacement entre 2 longueurs d'onde : 0.08 nm.
- Nombre de longueurs d'onde maximum : 400.
- Portée : plus de 600 km.
- Amplification via la technologie EDFA.

#### ❖ CWDM

La technologie du C-WDM est utilisée sur la deuxième fenêtre spectrale. Grâce à l'important espacement laissé à chaque canal.

- Espacement entre 2 longueurs d'onde : 1.6 nm.
- Nombre de longueurs d'onde maximum : 16.
- Portée : entre 40 et 80 km.
- Pas d'amplification possible.

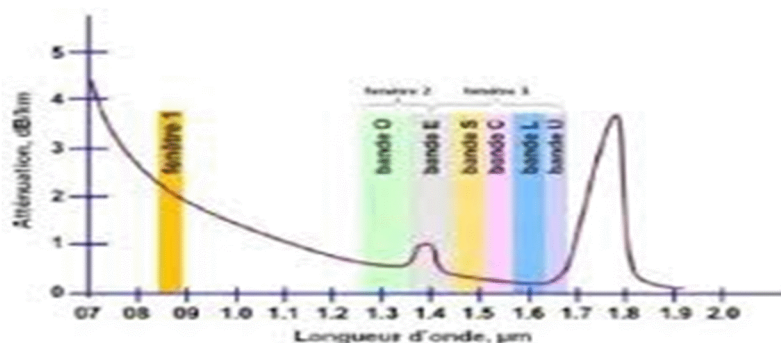


Figure 9 : Technologie WDM, longueurs d'onde

- bande U (Ultra) : 178,980 à 184,487 Th ( $\lambda_0$  de 1 675 à 1 625 nm) ;
- bande L (Longue) : 184,487 à 191,560 Th ( $\lambda_0$  de 1 625 à 1 565 nm) ;
- bande C (Conventionnelle) : 191,560 à 195,942 Th ( $\lambda_0$  de 1 565 à 1 530 nm) ;
- bande S (Short) : 195,942 à 205,337 Th ( $\lambda_0$  de 1 530 à 1 460 nm) ;
- bande E (Étendue) : 205,337 à 220,435 Th ( $\lambda_0$  de 1 460 à 1 360 nm) ;
- bande O (Originale) : 220,435 à 237,930 Th ( $\lambda_0$  de 1 360 à 1 260 nm).

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 4 000 Gb/s (4 Tera b/s) avec 400 canaux optiques à 10 Gb/s, en technologie U-DWDM.

Types	Fenêtres	Espacements (nm)	Canaux	Débits potentiels
C-WDM	2 <sup>ème</sup>	1,6 - 0,8	8 - 16	2,5 à 5 GHz
WDM	3 <sup>ème</sup>	0,6	32	320G à 1.28T
D-WDM	3 <sup>ème</sup>	0,4 - 0,2	80 - 160	3T à 12T
U-WDM	3 <sup>ème</sup>	0,08	400	10T à 40T

Tableau 6 : les différentes technologies de WDM

### 3.3.3.1. Les caractéristiques du D-WDM, C-WDM et de l'U-DWM :

#### ❖ Les caractéristiques de D-WDM et de l'U-WDM :

La particularité du D-WDM et de l'U-WDM est qu'ils utilisent des espacements de longueurs d'ondes très courtes. C'est grâce à cela qu'il est possible d'avoir un nombre de canaux important dans la fibre.

L'inconvénient de cette technologie est qu'il est nécessaire d'avoir un laser refroidi en température. Les longueurs d'onde d'émission étant très proche, il est nécessaire de réguler la température du laser entre les impulsions. Un laser régulé en température représente un coût très onéreux.

Sur la 3<sup>ème</sup> fenêtre spectrale des longueurs d'ondes utilisées, il est possible d'amplifier les signaux optiques. Les amplificateurs EDFA et Raman sont les procédés utilisés pour amplifier des signaux lumineux et faire face à leur atténuation. L'avantage des technologies D-WDM et U-DWDM est qu'ils utilisent des longueurs d'ondes qui sont amplifiables sans pour autant passer par

l'intermédiaire d'un amplificateur électrique. Ce principe évite donc la reconversion d'un signal optique en signal électrique pour être amplifié et à sa retransformations en signal optique.

Néanmoins le D-WDM introduit des phénomènes non linéaires qui ont notamment pour conséquence de limiter en pratique la distance entre amplificateurs entre 50 et 100 Km L'introduction d'effet non linéaire n'apparaissent pas tant que le nombre de canaux reste inférieur à 32 canaux et que la puissance par canal reste inférieure à 1mW. Voici les effets non linéaires les plus néfastes actuellement :

- Cross Phase Modulation (XPM) : Apparaît lorsque la phase d'un signal est modifiée par un autre signal de longueur d'onde proche.
- Four Wave Mixing (FWM) : Crée de l'inter-modulation optique entre les différents canaux.
- Stimulated Raman Scattering (SRS) : Appelé "effet raman", augmente les écarts de puissance reçue entre canaux et par conséquent produit une trop grande dispersion du rapport signal/bruit. Il peut aussi modifier la longueur d'onde d'un signal.

Il existe différentes techniques pour corriger ces problèmes :

- Le DCF (Dispersion Compensating Fiber) est un moyen pour compenser les pertes non linéaire qui consiste à introduire dans la liaison un tronçon de fibre produisant une dispersion négative (environ -100 ps/nm.km) de compensation. Pour une longueur de 100 km, il faut environ un tronçon de 10 km.

### ❖ Les caractéristiques de C-WDM :

La technologie du C-WDM est utilisée sur la deuxième fenêtre spectrale. Grâce à l'important espacement laissé à chaque canal, il n'est pas obligatoire de réguler en température le laser d'émission.

Le C-WDM n'est pas compatible avec les amplificateurs optiques car la longueur d'onde utilisée ne permet pas une amplification à l'erbium. C'est notamment pour cette raison que le C-WDM est utilisé sur des distances plus courtes (entre 40 et 80 km) que ses confrères.

Donc pas d'amplification et pas de régulation en température du laser, ceci permet d'avoir des composants moins chers pour faire du multiplexage optique. Malgré sa faible capacité, le C-WDM reste le meilleur moyen économique pour faire du multiplexage optique.

Le C-DWM devient un concurrent direct aux D-WDM et U-WDM avec un nombre de canaux proche et pour un coût inférieur.

### 3.3.4. Développement de capacité :

Pour augmenter la capacité total d'un system WDM, il est possible de jouer sur le débit transporté par chaque canal ou sur le nombre de canaux, voir sur les deux en même temps.

**3.3.4.1. Augmentation de débit par canal :**

Les progrès de l'électronique rapide, l'intégration des composants électroniques et optiques, permettent de traiter dans les équipements d'extrémités, des débits de plus en plus élevés. Si les premiers systèmes WDM travaillaient avec des débits de 2.5 Gbit/s, rapidement des transmissions à 10 Gbit/s sont apparues pour atteindre aujourd'hui des débits de 40 Gbit/s par canal. Mais cette augmentation du débit rend le signal de plus en plus sensible aux défauts de la propagation, tant linéaires que non linéaire. Ainsi, la dispersion chromatique autour de 16.5 ps/(nm.km) à 1550 nm pour une fibre de type SMF (single monomode fiber), néfaste à la transmission d'information, ne pourra plus être négligée et des solutions de compensation de dispersion devront être trouvées et développées. De même l'apparition de puissance injectée plus élevée ainsi que la dispersion modale de polarisation seront aussi des facteurs de dégradation très importantes et leurs impacts devront être maîtrisés.

**3.3.4.2. Augmentation du nombre de canaux:**

Pour augmenter le nombre de canaux, la méthode consiste à diminuer l'espacement entre chaque longueur d'onde tout en restant dans la même bande (par exemple la bande C). Les espacements utilisés prennent alors pour valeurs 50 GHz (ou 0.4 nm) voir 25 GHz (0.2 nm).

Des certaines de canaux peuvent donc être obtenus dans une même bande ! du fait que l'espacement se trouve inférieure à 100 GHz, on parle alors de technologie DWDM (pour Dense Wavelength Division Multiplexing). ce resserrement impose par ailleurs des tolérances de plus en plus faibles sur la stabilité des lasers et des filtres qui séparent les canaux dès le démultiplexeur.

**3.3.5. Le multiplexage en longueur d'onde :**

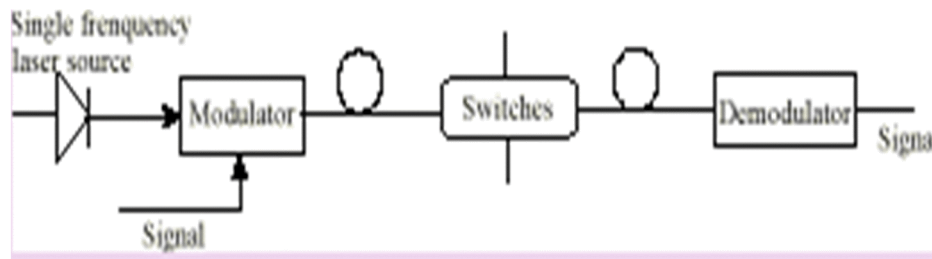
Le multiplexage en longueur d'onde (WDM, Wave-length Division Multiplexing ou DWDM, Dense Wave-length Division Multiplexing) est l'une des technologies qui a permis le rapide essor mondial de l'Internet ces dernières années.

Alors que le débit par canal en multiplexage temporel (TDM) a augmenté de 2,5 Gbit/s à 10 Gbit/s et va bientôt atteindre 40 Gbit/s, le DWDM, basé sur la multiplication de la capacité de transmission des fibres optiques par la combinaison de 2 à 160 canaux sur une même fibre, a réduit fortement le coût par bit, favorisant l'augmentation de la capacité de transmission des réseaux longue distance.

**3.3.5.1. Principe et architecture :**

Le multiplexage en longueur d'onde repose sur l'envoi d'ondes lumineuses multiples (fréquences) dans une même fibre optique. L'information est transmise par chaque onde, appelée voie, par modulation d'intensité (ou d'amplitude) ou par modulation de phase.

À la réception, un prisme optique ou un dispositif semblable sépare les fréquences de manière à extraire séparément l'information transmise par chaque voie. Un signal numérique binaire, plus précisément un signal de modulation d'intensité par tout ou rien, peut également être acheminé par chaque voie individuelle, bien qu'on s'attende à un débit binaire plus faible qu'avec la modulation d'intensité ou de phase.



**Figure 10 : Principe des communications optiques**

La figure 10 illustre le principe de base des communications par fibre optique, y compris le DWDM, l'émetteur manipule le signal d'entrée en exerçant une modulation par déplacement d'amplitude (ou d'intensité) (MDA), une modulation par déplacement de fréquence (MDF) ou une modulation par déplacement de phase (MDP) sur une onde porteuse lumineuse de fréquence  $F_s$  et d'une largeur de bande très étroite, une onde laser monofréquence (ou d'une seule couleur). Ce signal modulé est groupé à d'autres signaux émis sur d'autres fréquences, transmis au récepteur par fibre optique, puis reconverti en signal électrique par un détecteur optique et un démodulateur. Des commutateurs ou des routeurs peuvent en outre intervenir entre l'émetteur et le récepteur.

La figure 11 décrit l'architecture de base et le fonctionnement d'un réseau DWDM. Ce réseau se compose de nœuds d'extrémité, de nœuds de commutation et de liaisons par fibres optiques. Les nœuds d'extrémité consistent en modulateurs-démodulateurs (ou modems) à chaque voie, ainsi que de multiplexeurs et de démultiplexeurs servant respectivement au groupement et à la séparation des ondes lumineuses de fréquences différentes.

Les modulateurs convertissent les données alors que les démodulateurs reconvertissent les signaux optiques en données numériques. Les nœuds de commutation se composent de multiplexeurs et de démultiplexeurs à insertion-extraction, de commutateurs de longueur d'onde et de convertisseurs de longueur d'onde. Les multiplexeurs servent à grouper les signaux de longueurs d'onde différentes aux fins de transmission alors que les démultiplexeurs séparent ces mêmes signaux aux fins de commutation. Le commutateur de longueur d'onde interconnecte les voies d'entrée aux voies de sortie voulues.

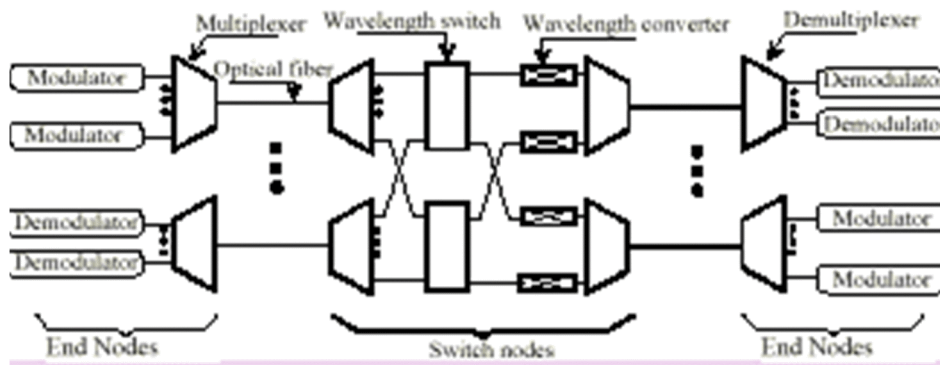


Figure 11: Principales composantes d'un réseau DWDM

### 3.3.5.2. Commutation/routage DWDM :

Une fonction de routage simple qui est proposé est d'ajouter au réseau DWDM point à point consiste en une opération par diffusion et sélection dans laquelle chaque utilisateur du réseau transmet son signal à un coupleur en étoile, d'abord utilisé pour répartir ces signaux vers tous les autres nœuds du réseau de manière passive. Il faut utiliser un protocole d'accès au support pour contrôler les transmissions aux divers nœuds du réseau afin d'éviter les collisions et de gérer les conflits dans la largeur de bande. Ce type de réseau pourrait s'avérer intéressant par sa simplicité et sa performance puisqu'il ne comporte ni commutateur ni routeur. Par contre, comme il existe une relation linéaire entre le nombre de nœuds et le nombre de longueurs d'onde, un tel réseau ne peut évoluer pour comporter une multitude de nœuds.

La capacité de routage du DWDM passera d'abord par le routage des longueurs d'onde, qui fait actuellement l'objet de recherches. Il s'agit d'un routage sélectif des signaux optiques en fonction de leur longueur d'onde lors de leur cheminement dans les éléments de réseaux situés entre l'émetteur et le récepteur, chaque signal peut être destiné à un récepteur distinct.

Le nombre de pareils récepteurs est égal au nombre de longueurs d'onde produites dans chaque nœud. La figure 11 illustre schématiquement un tel nœud de commutation par convertisseur de longueurs d'onde en vue de la réutilisation des longueurs d'onde.

Grâce à une telle interconnexion de longueurs d'onde, on peut interconnecter n'importe quelle longueur d'onde d'entrée à n'importe quelle fibre d'entrée et n'importe quelle longueur d'onde de sortie à n'importe quelle fibre de sortie, pourvu que la fibre en question comporte un nombre de voies suffisant.

### 3.3.5.3. Application du DWDM :

Actuellement la technologie DWDM était utilisée essentiellement dans les réseaux dorsaux, mais il devrait être employé pour résoudre le goulet d'étranglement entre le trafic de données et

l'augmentation de l'accès rapide à l'Internet. En effet, le développement rapide de services d'accès aux données et d'accès à large bande, tels que l'xDSL (ex : ADSL), les réseaux de stockage ou les futures générations de téléphonie mobile vont augmenter considérablement le trafic de données.

Pour résoudre efficacement ces problèmes le DWDM doit répondre à certaines exigences spécifiques des réseaux métropolitains telles que le haut degré de connectivité et de modularité requis par les applications métropolitaines et devra permettre de supporter des services à 10 Gbit/s. De plus, les technologies innovantes ne présentent d'intérêt que si elles garantissent la compatibilité avec les technologies existantes et une possibilité de migration par rapport aux infrastructures installées.

Par ailleurs, DWDM offre des mécanismes de protection au niveau optique comme l'O-SNCP (Optical Subnetwork Connection Protection), qui protège une longueur d'onde donnée. En émission, celle-ci est diffusée dans les deux sens. En réception, un sélecteur permet de choisir un des deux signaux reçus. En cas de perte d'un des deux signaux, le temps de basculement est inférieur à 50 ms. Quant à l'O-MSP (Optical Multiplex Section Protection), il permet de protéger tout un tronçon de fibre optique.

Enfin, les équipements DWDM métropolitain offrent des interfaces (transpondeur) synchrones pour interconnecter des équipements SDH/SONET.

**3.3.6. Réseaux optiques :**

Les réseaux optiques ont commencé avec WDM (Wavelength Division Multiplexing) puis ont évolué vers DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) ces technologies fournissent de la capacité additionnelle sur les fibres existantes. Les réseaux optiques sont basés sur l'utilisation de multiples longueurs d'ondes. Un réseau optique (réseau de photons) peut pourvoir aux besoins d'IP et ATM et transporter SDH, PDH (Fig. 12), chacun de ces protocoles peut être associé à une longueur d'onde.

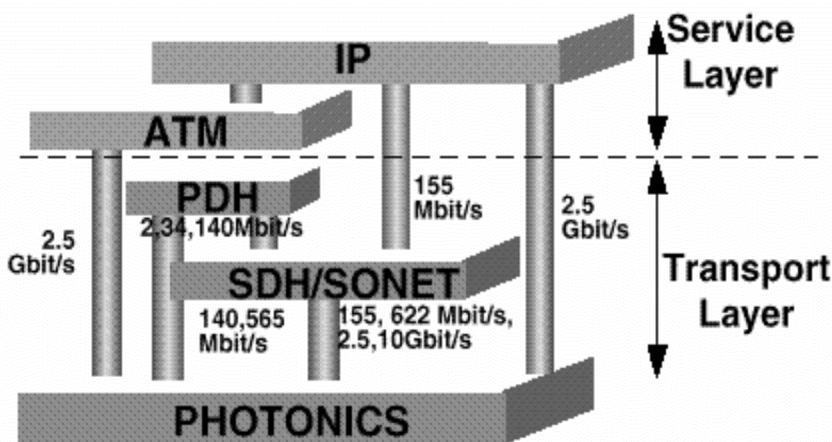


Figure 12 : Réseau optique : modèle (source MARCONI).

### 3.3.7. Multiplexeur/Démultiplexeur :

Le multiplexeur combine plusieurs longueurs d'onde, coté TX, pour une transmission sur une seule fibre optique de tous les signaux, le démultiplexeur opère la fonction inverse, coté RX. Leur première utilisation a été d'augmenter la capacité de transmission sur une fibre optique.

Ils servent de point d'entrée sur le réseau optique et incluront des fonctions « add/drop » de longueurs d'onde et des fonctions de commutation optique (« optical cross connect ») ; il existe aujourd'hui des équipements intégrant les fonctions « add/drop » (Fig. 13), la fonction commutation optique est au stade du laboratoire.

La possibilité de commuter une longueur d'onde est fondamentale pour optimiser la capacité et l'efficacité des réseaux optiques, on s'oriente donc vers des commutateurs optiques possédant des fonctionnalités équivalentes aux commutateurs électriques en commutant une longueur d'onde sur un certain nombre de ports physiques.

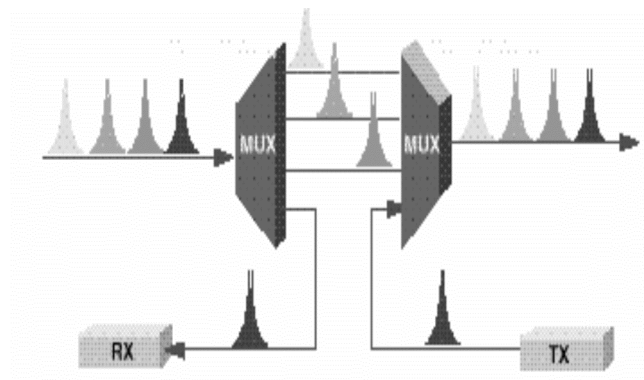


Figure 13: Fixed Optical Add/Drop Multiplexer

### 3.3.8. Les avantages et inconvénients de WDM/DWDM

#### ➤ Avantages

- Aujourd'hui, il est possible d'atteindre des débits pouvant aller à 10 Tbit/s. en effet, il existe des systèmes proposant de 4 à 80 canaux optiques à 2.5 Gbit/s et plus par canal. Par exemple un système à 16 canaux de 2.5 Gbit/s (soit 40 Gbit/s) permet l'acheminement de 500 000 conversations téléphoniques simultanément sur une seule fibre optique.

#### ➤ Inconvénients

- A chaque multiplexage ou démultiplexage de longueur d'onde, il ya des pertes appelées pertes d'insertions. Pour compenser ces pertes, on utilise des amplificateurs. Mais il y a d'autres perturbations qui déforment le signal. En effet, des phénomènes non linéaire se produisent lors de la propagation du signal dans la fibre dépendamment du niveau de puissance vehicule.il apparait des risques de diaphonie et d'interférence entre canaux existent. Ces risques sont lies principalement aux phénomènes d'auto-modulation du gain dans les amplificateurs optiques (EDFAs)

### 4. Discussion

La technologie du WDM/DWDM est sans concurrence du point de vue de la capacité car le coût de la fibre et des matériaux ne cesse de baisser avec des portées toujours plus longues. A défaut de fabriquer des fibres plus performantes qui sont déjà à un très haut niveau d'évolution, les chercheurs préfèrent développer les terminaux et d'utiliser des fibres déjà utilisées. En fait c'est un peu l'unique technologie utilisée dans le développement des Réseaux de Transport à longue distance depuis une dizaine d'années.

Aujourd'hui utilisés dans de nombreux réseaux MAN ou WAN, SDH et WDM sont deux technologies qui ont révolutionné ce type de réseaux.

Pour conclure, nous pouvons dire que le principal intérêt du WDM est la pose de nouveaux câbles optiques. L'accroissement de la capacité se fait de deux façons : en augmentant le nombre de canaux dans une fibre et en augmentant le débit par canal lors de l'émission. Actuellement, l'augmentation de la capacité est de 120% par an.

Pour avoir une liaison optique à haut débit, plus l'utilisation la technologie WDM/DWDM, il est possible de générer des ondes impulsionnelles stables qui ont la propriété de pouvoir se propager sur de grandes distances dans un milieu non linéaire et dispersif sans grande modification et qui sont par conséquent idéales pour la transmission de données par fibres optiques.

### 1. Préambule

Algérie Télécom a le statut d'une entreprise publique économique, la naissance de cette entreprise remonte au 01 janvier 2003, après une restructuration visant le secteur des Postes et Télécommunications algériens, et séparant les domaines d'activités Postales de celles des Télécommunications.

Elle s'engage dans le monde des technologies de l'informatique et de la communication avec trois objectifs :

- Accroître l'offre du service téléphonique et faciliter l'accès aux services de télécommunication au plus grand nombre d'utilisateurs, en particuliers en zones rurales.
- Accroître la qualité de services offerts et la gamme de prestations rendue plus compétitifs les services de télécommunications.
- Développer un réseau national de télécommunication fiable et connecté aux autoroutes de l'information.

#### 1.1. Réseau de transmission d'Algérie télécom :

Algérie télécom à répondre à la montrer en débit qui se pose actuellement se doit de faire évoluer la couche SDH telle qu'elle est déployée vers DWDM.

Une telle évolution du réseau doit se faire dans la continuité en essayant de rentabiliser les infrastructures en fibre optique et systèmes déjà installés.

- Réseaux public de transmission de données par paquets X.25 (DZPAC) : 7 600 accès
- Backbone national de transmission à 10 GB/s et 2,5 GB/s(SDH) et 80 GB/s(WDM).
- Réseau radio rural : 103 réseaux intégrant plus de 1500 localités
- Plus de 1000 communes (APC) rattachées en fibres optiques.

#### 1.2. Réseau fibre optique d'Algérie télécom :

L'actuel réseau fibre optique et de quelque 52.000 km, couvrant pratiquement toutes les wilayas et communes, et de 30.000 km supplémentaires de fibre optique et de raccorder l'ensemble des localités enclavées du Sud et des Hauts plateaux.

Ce réseau qui devrait progresser au fil des années avec le maillage routier et autoroutier a notamment l'avantage de permettre une nette amélioration du service public en matière de téléphonie et de l'accès à Internet haut débit.

Algérie télécom en tant qu'opérateur des Operations, modernise son réseau de télécommunication par mise en œuvre des backbone fibre optique de grande capacité DWDM parallèlement au réseau SDH en faisceaux hertziens pour satisfaire les besoin des opérateurs entrants, les banques, les entreprises, et tous les utilisateurs afin de contribuer au développement national.

Le backbone (cœur de réseau, littéralement épine dorsale) est l'ensemble des supports de transmission, il supporte la partie la plus importante du trafic avec une bande passante importante.

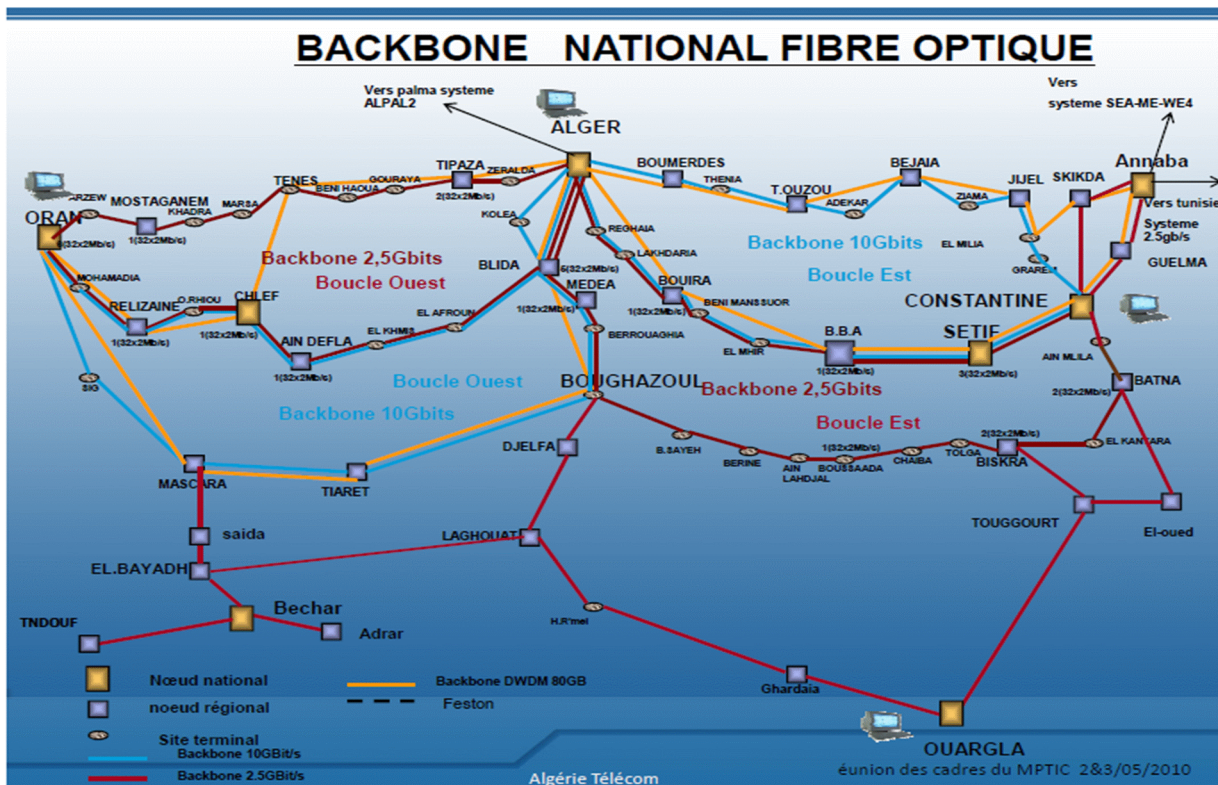


Figure 1: Backbone national fibre optique

➤ Le système 2.5 Gbits/s :

Le système 2.5 Gbits/s existant comprend 1008 liaisons à 2 Mbits/s dont on peut insérer ou extraire n'importe quel train numérique sans faire reconstituer toute la hiérarchie du multiplexage.

→ La boucle Nord à 2,5 G bits/s :

**Boucle principale :**

Alger> Bouira> Beni Mensour> Boudj Bou Arreridj> Setif> Constantine

Retour par : Constantine > Batna> Biskra> Boussaâda> Boughezoul> Médéa> Blida> Alger .

### Boucle secondaire :

Alger> Blida> Ain Defla> Chlef> Relzane> Oran> Motaganem> Tenes> Tipaza>Alger.

- Les réseaux locaux à l'intérieur des wilayas.
- Les réseaux métropolitaine des grandes cités : (par exemple : Alger, Oran, Constantine).

#### ➤ **Système 10 GB/s « HUAWEI » :**

- Deux systèmes parallèles SDH à 10 bits/s et 2,5 bits/s reliant les trois grandes villes d'Alger> Oran> Constantine. En bouclant le trafic par la côte et les hauts plateaux.

→ Boucle Nord à 10 G bits/s :

### Boucle principale :

Alger>Boumerdes>TiziOuzoou>Azazga>Adekar>Bejaia>Ziama>Jijel>Elmilia>Mila>  
Constantine > Setif> Bourdj Bou Ariredj > B.Mansour> Bouira> Lakhdoria>Alger

### Boucle secondaire :

Alger> Koléa> Blida> Ain Defla> Chelef> Relizane> Oran.

Retour par les hauts plateaux : Oran >Mascara> Tiaret> Boughezoul> Médéa> Blida>Alger.

#### ➤ **Système 80 GB/s « HUAWEI » (DWDM):**

C'est un nouveau système numérique de transmission sur fibre optique et de multiplexage. Il fait partie du DWDM. Il est en marche, son débit est de 80 Gb/s.

La gestion et l'exploitation de ce système peuvent être programmée à l'aide d'un logiciel spécial, d'où on peut faire des configurations, vérifier les alarmes.....etc.

- Backbone DWDM à 80 G bits/s extensible à 400 G bits/s

→ Boucles Est.:

Alger > Boumerdes> Tizi-Ouzou> Bejaia> Jijel> El Médéa>Skikda> Annba>Constantine>  
Setif> Bourdj Bou Ariredj> Bouira> Alger.

→ Boucle Ouest :

Alger> Tipaza> Tenes>Chlef> Relizane> Oran> Maskara> Tiaret> Boughazoul> Blida>  
Alger.

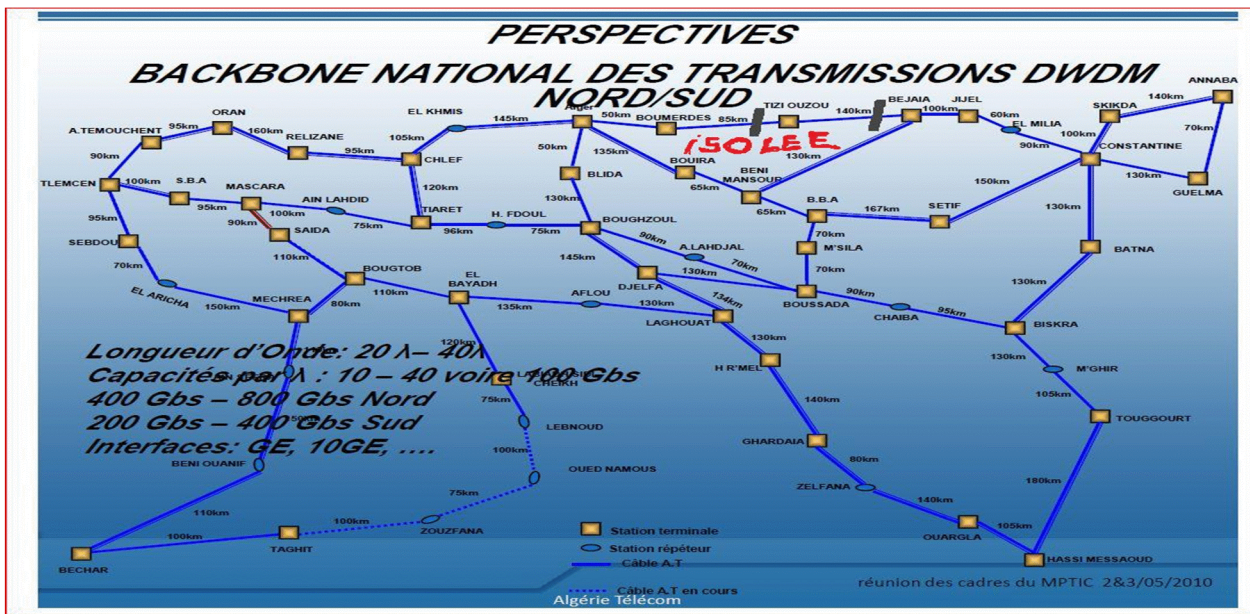


Figure 2: Backbone national des transmissions DWDM

1.3. Architecture de réseaux de la wilaya TIZI OUZOU :

Catégorie	Liaison (EXT A- EXT B)	Capacité câble	Distance en Km	Technologie
Nationale	CA2 Tizi-Ouzou-Boumerdes	16	84	DWDM-Huawei
	CA2 Tizi-Ouzou-Boumerdes	16	84	10Gb/s-Siemens
	CA2 Tizi-Ouzou-Béjaia	16+08	140	10Gb/s-Siemens
	CA2 Tizi-Ouzou-Béjaia	16	140	DWDM-Huawei
	CA2 Tizi-Ouzou-Boumerdes	16	135	10Gb/s-Huawei
Locale	CA2 Tizi-Ouzou-Draa El Mizan	16/12	90	2,5Gb/s
	CA2 Tizi-Ouzou-Fréha	16+08	34	2,5Gb/s
	CA2 Tizi-Ouzou-Azazga	16+08	41	2,5Gb/s
	CA2 Tizi-ouzou-Beni Aissi	16	12	155Mb/s
	CA2 Tizi-ouzou-Habitat (Tizi-ouzou)	16	3	fibres noire
	CA2 Tizi-Ouzou-Université Bastos	12	1	fibres noire
	CA2 Tizi-ouzou-CA1 Tizi-ouzou	16	5	155Mb/s+622Mb/s+140Mb/s
	CA2 Tizi-Ouzou-Draa Ben Khedda	36+16	14	622Mb/s+155Mb/s
	CA2 Tizi-Ouzou-Tadmait	16	22	(622+155)Mb/s
	CA2 Tizi-Ouzou- Oued Aissi	8	12	155Mb/s+34Mb/s
	CA2 Tizi-Ouzou- Tizi-Rached	8	22	622Mb/s
	CA2 Tizi-Ouzou- Tamda	16/4	20	155Mb/s
	CA2 Tizi-Ouzou-Béni Douala	12	19	622Mb/s
CA2 Tizi-Ouzou-Polyclinique	16	3	155Mb/s	

CA2 Tizi-Ouzou-Krim Belkacem	16	3	155Mb/s
CA1 Tizi-Ouzou-Boukhalfa	16	7	155Mb/s
Tizi Rached-Tala Amara	4	5	155Mb/s
Ait Arhouna-Azzefoun	16	16	2*155Mb/s
Fréha –Aghrib	12	14	155Mb/s
Fréha -Ait Arhouna	12	28	155Mb/s
Fréha –Tigzirt	12	51	622Mb/s+155Mb/s

Tableau 7 : Réseaux de la wilaya TIZI OUZOU

## 2. Les systèmes équipant le centre:

### 2.1. ADR 155 Mbit/s:

Le ADR 155C est un multiplexeur STM-1 qui permet de construire des liaisons point à point, des anneaux STM-1 ou des réseaux maillés, réalisant ainsi le transport de liaisons à 2 Mbits/s, 34 ou 45 Mbits/s, Ethernet, STM-1.

- L'ADR 155 C peut être utilisé en:
  - Multiplexeur terminal STM-1 avec une capacité maximale de 63VC 12.
  - Répartiteur STM-1: aptitude à générer 2VC 4.
  - Point d'interconnexion de LAN géré à partir d'un navigateur HTTP.

L'utilisation d'un terminal local avec PC est nécessaire lors de la première mise en service pour la configuration des paramètres de communication.

- L'ADR 155C se constitue de:
  - Un châssis équipé d'une carte mère regroupant les fonctions de base de l'équipement, parmi lesquels VC-21 accès 2 Mbits/s.
  - un module ADRFAN qui se compose de deux blocs de ventilation.
  - 4 cartes d'accès au choix:
    - Carte STM-1 optique IC1.1 ou IC1.2 permettant une connexion VC4 ou VC3/VC12.
    - Carte d'accès STM-1 électrique (ADR ERE) permettant les mêmes connexions que celles de STM-1 optique.
    - Carte d'accès Ethernet 10/100 (ADR LAN1) permettant de 2 connexions VC3.
    - Carte d'accès 21\*2 Mbits/s permettant 21 connexions VC12.



Figure 2: Systeme ADR 155 Mbit/s

## 2.2. Système 622 Mb/s « HUAWEI »:

C'est un système de transmission sur fibre optique et de multiplexage. Il fait partie de la hiérarchie numérique synchrone SDH, le système de base est STM-1 avec un débit de 155,52 MB/s.



Figure 3: Systemes 622 Mbit/s

## 3. Réseau de l'entreprise :

Les entreprises empreintes le réseau de transmission d'AT pour l'interconnexion de ses différents sites à travers le territoire national.

### 3.1. Liaison spécialisée: LS

Liaison réservée à l'usage exclusif d'un utilisateur pour l'interconnexion de ses sites distants.

- On distingue plusieurs types:
  - LS destinées pour la transmission de données:
    - ✓ LS 2fils et 4fils (bas débit < 64Kb/s).
    - ✓ LS numérique haut débit ( $\geq$  64Kb/s).
    - ✓ LS internet haut débit.
  - LS destinées à la sécurité (alarmes, sécurité incendie).

#### ➤ Liaison RMS: Réseau Multiservice.

Le Réseau Multiservice d'Algérie Télécom repose sur un Backbone complètement maillé, réseau de commutation de données à large bande, déployé dans les quatre (04) grandes villes du pays et couvre tout le territoire national avec:

- ❖ Quatre (04) noeuds Primaires:
  - Alger-1 couvrant la région du Centre
  - Oran pour la région Ouest
  - Constantine pour la région Est
  - Ouargla pour la région Sud.
- ❖ Cinq (05) noeuds Secondaires:
  - Alger II, Annaba, Sétif, Chlef, Oran.

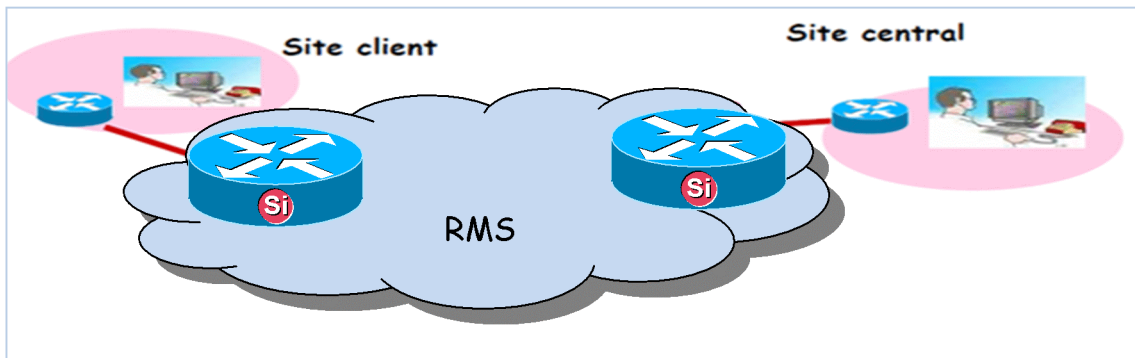


Figure 4: liaison via RMS

➤ **Liaison VPN Virtual Privat Network (réseau privé virtuel)**

Permet à un ordinateur distant d'avoir un accès directement et totalement sécurisée à un autre ordinateur ou à un réseau local.

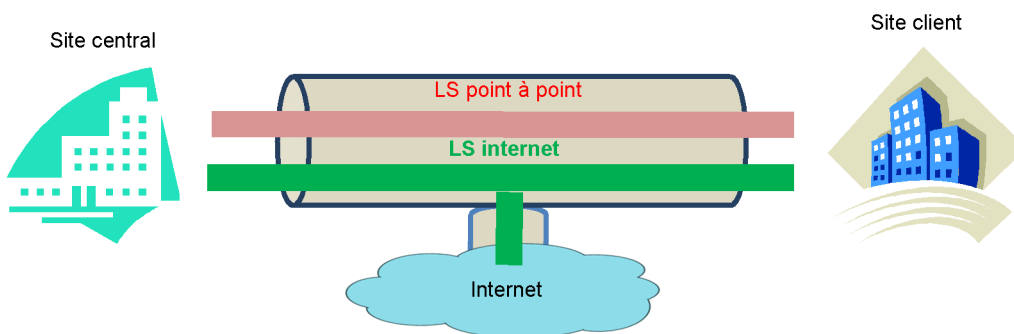


Figure 5: liaison VPN

➤ **Liaison point à point :**

Une liaison point à point est une liaison entre deux hôtes uniquement et qui n'est pas conçue pour être utilisée initialement dans un réseau. Il n'y a donc pas de notion native d'adresse réseau des deux hôtes, ni de contrôle avancé du flux.

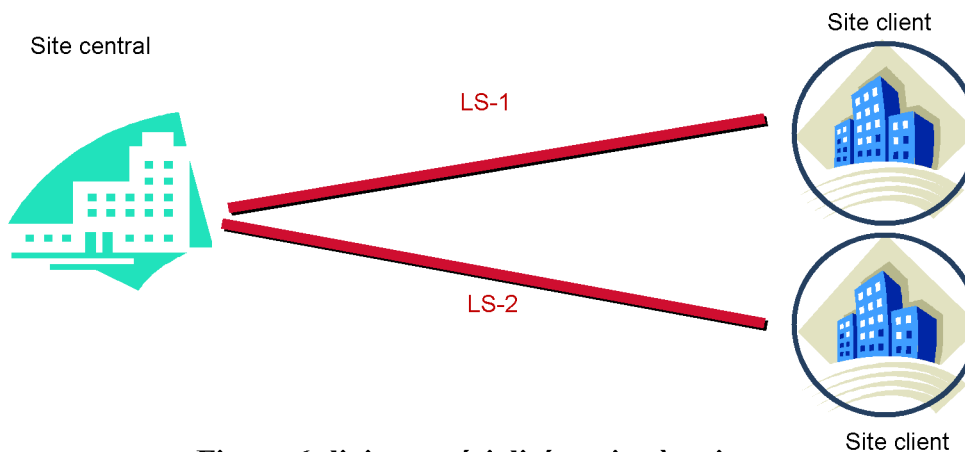


Figure 6: liaison spécialisée point à point

### 3.2. Exemple d'une liaison spécialisée

Comme nous avons déjà vu l'utilité de la ligne spécialisée ainsi les avantages qu'elle offre, on peut la classer parmi les solutions les plus utilisées actuellement dans le cas de la transmission de données.

Pour procéder à la mise en œuvre de la ligne spécialisée, on doit implémenter les services de l'opérateur et ceux du client.

- **Algérie télécom** : son rôle est subdivisé en deux phases : l'étude de faisabilité et la réalisation.

D'abord le client dépose sa demande au niveau de la direction Algérie télécom, en précisant :

- Est-ce qu'il s'agit d'une liaison Internet ou intranet en localisant les deux extrémités.
  - Le type de support qui sera utilisé.
  - Selon le type de support, est-ce que l'opérateur doit fournir une paire de modem ou une paire de TNLO (Terminal Numérique en ligne Optique) ou bien un convertisseur F.O/F.E, tous cela en respectant l'interface choisit.
  - Le débit demandé : En fonction de cette demande, le service CA doit étudier la possibilité de mettre en service cette liaison cette phase est appelée « l'étude de faisabilité », puis il se charge de la mise en place de la liaison en terme d'installation du support de transmission et les équipements appropriés appelée « la réalisation ».
- **Le client** : il se charge seulement de l'exploitation de cette liaison en configurant ses équipements.

#### 3.2.1. Description de la ligne réalisée :

Au cours de notre stage à Algérie Télécom, nous avons installé une ligne spécialisée à travers RMS de débit de 2Mbps qui relie deux sites A et B distants de 2 Km. Le site A : banque CPA (Crédit Populaire d'Algérie) à Tizi Ouzou et le site B : centrale de client, direction générale à Alger.

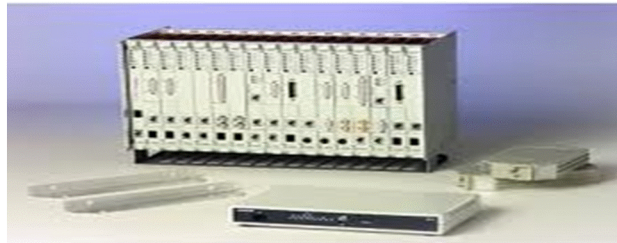
Le schéma suivant présente l'architecteur de cette réalisation :



**3.2.2. Configuration des différents équipements :**

Pour la réalisation de cette liaison, on doit effectuer l'installation et la configuration des différents équipements de la figure précédente.

**3.2.2.1. Modem SIEMENS STU :**



**Figure 8: Modem SIEMENS STU**

Ce type de modem est caractérisé par : sa ligne et ses interfaces.

**A/- La ligne :** c'est un câble concède (cuivre) d'après la demande de client reliant le client avec le site d'AT le plus proche.

**B/- L'interface :** on a deux types d'interface :

- L'interface G703 est utilisé pour transmettre des données à des débits de 64 à 2048 kbps, sur câble à paire torsadées (prise RJ45).
- L'interface X21 utilisé un pour transmettre les données.



**Figure 9.1 : interface G.703**



**Figure 9.2. : Câble X21**

Pour réaliser une ligne spécialisée avec câble concédé, on a besoin d'une paire de modem dont le choix d'interface est spécifié par le client. On distingue trois grandes catégories :

- G.703/G.703 : une paire de modem avec la même interface G.703.
- G.703/X.21 : il consiste à utiliser deux interfaces différentes, généralement le G.703 pour opérateur et le X.21 pour le client.

**C/- les alarmes :**

Les alarmes sont des LEDs utilisées pour surveiller la liaison, si ces dernières sont allumées on constat qu'il existe une faille quelque part. Les principales alarmes sont :

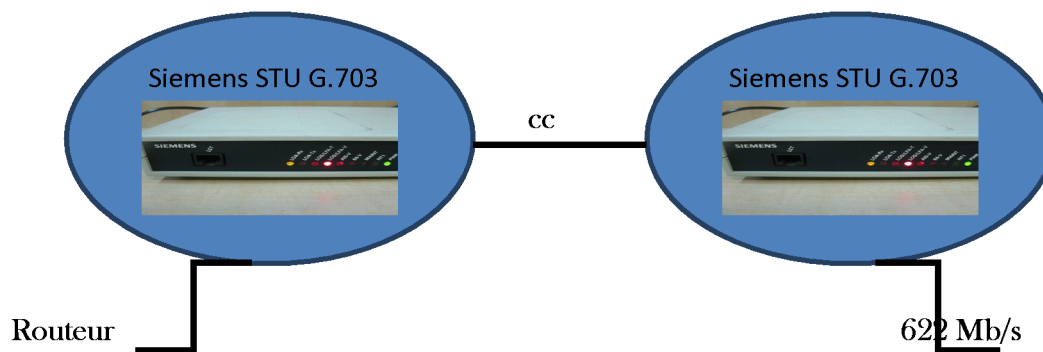
- **LOA-Rx** : désigne Réception data, cette alarme sera allumée pour indiquer que le modem ne réceptionne pas le signal.
- **LOA-Tx** : désigne transmission Emission data, cette alarme sera allumée pour indiquer que le modem ne transmet pas le signal.

Ces deux LEDs sont réservées pour interface X.21.

- **LOS/LFA-T/V** : désigne l'interface du modem, cette alarme est réservée interface G.703.
- **LOS/LFA-U** : désigne la ligne entre les deux modems.

Et pour éclaircir les différentes étapes qu'on doit suivre pour faire la réalisation au niveau de ce site.

On doit en premier raccorder les deux modems à l'aide d'un câble symétrique (conçédé) qu'on le connecte à l'accès ligne de chaque modem.



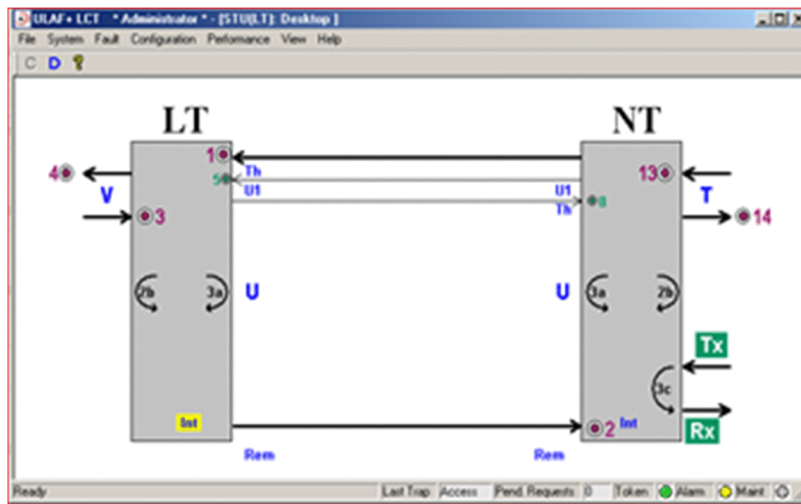
**Figure 10: raccordement de deux modem**

### a. Configuration de la paire des modems SIEMENS STU :

Nous avons commencé par la configuration de la paire du modem avec un débit de 2 Mbps, nous avons choisi pour notre maquette le modèle G.703/G.703, par défaut les modems sont fabriqués comme des slaves donc on doit tout d'abord vérifier et changer le premier switch du modem G.703 on position OFF pour avoir le fonctionnement des modems en temps réel.

### b. Connexion d'un modem à un terminal :

Pour configurer la paire du modem SIEMENS STU il faut d'abord connecter le maître par son port LCT à un terminal ou un ordinateur doté d'un logiciel de communication, en utilisant le port série, ce logiciel sert à voir le fonctionnement des modems en temps réel.



**c. Configuration du modem SEIMENS STU :**

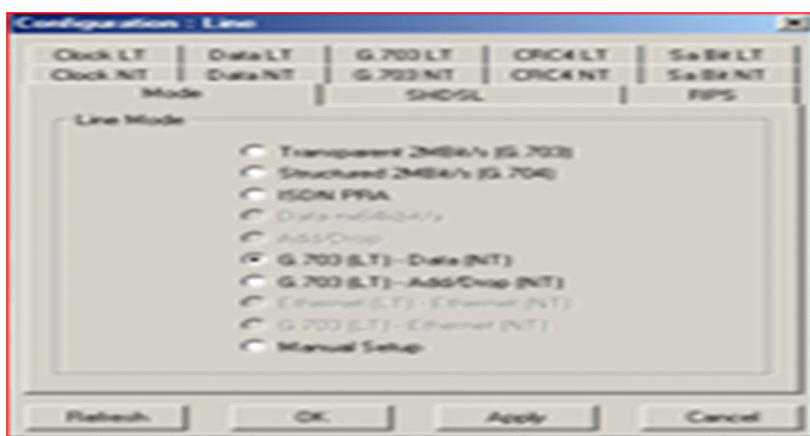
Après la connexion à un terminal on doit en premier se connecté avec l'ULAF+, dès que les deux modems se synchronisent on commence la configuration en choisissant dans le menu configuration l'onglet line (configuration).



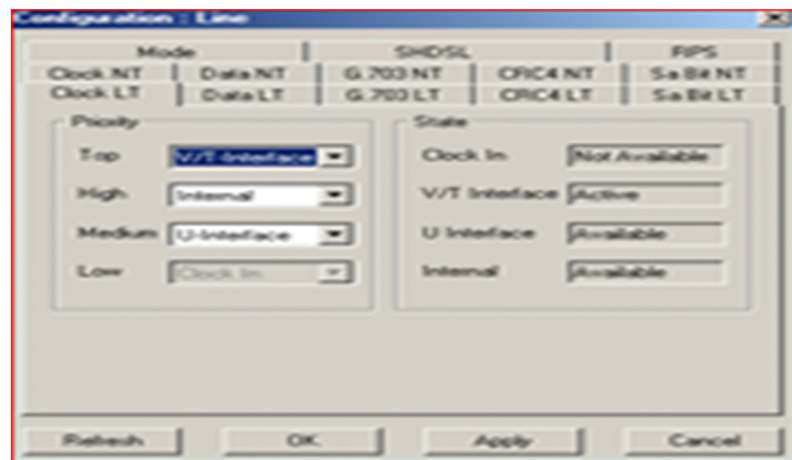
**❖ La réalisation du site A : (centre AT)**

La réalisation de ce site nécessite l'utilisation des équipements et des câbles suivants :

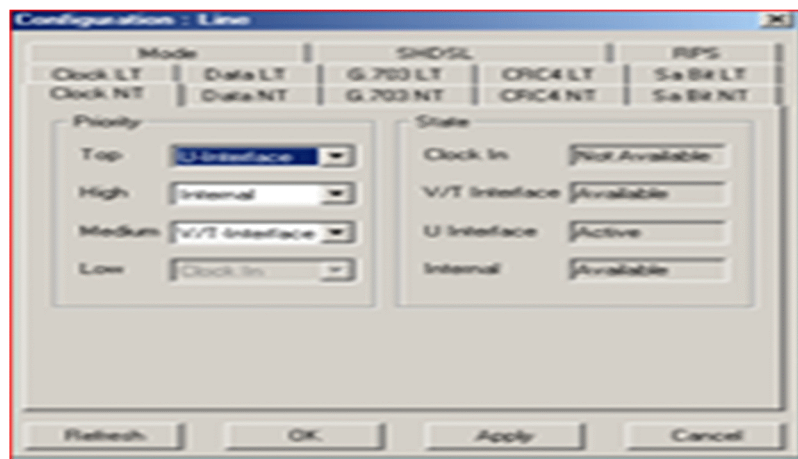
- Deux modems SIEMENS STU (G.703).
- Un câble symétrique pour relier la paire de modem.
- **Mode** : on choisit « G.703 DATA NT » pour choisir le type de modem G703.



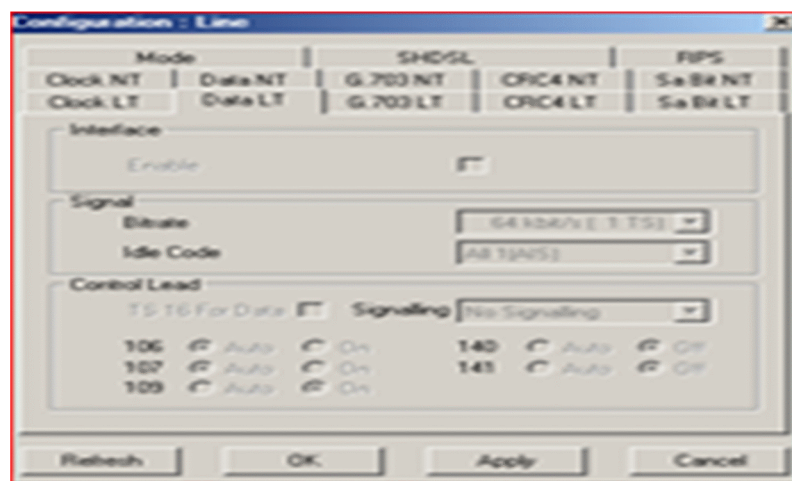
- **SHDSL** : on doit définir le débit de la ligne en ajoutant un intervalle de temps par rapport au débit demandé (8 IT + 1 IT).
- **Clock LT** : on définit l'horloge du maître selon leur priorité dans l'ordre (AT).



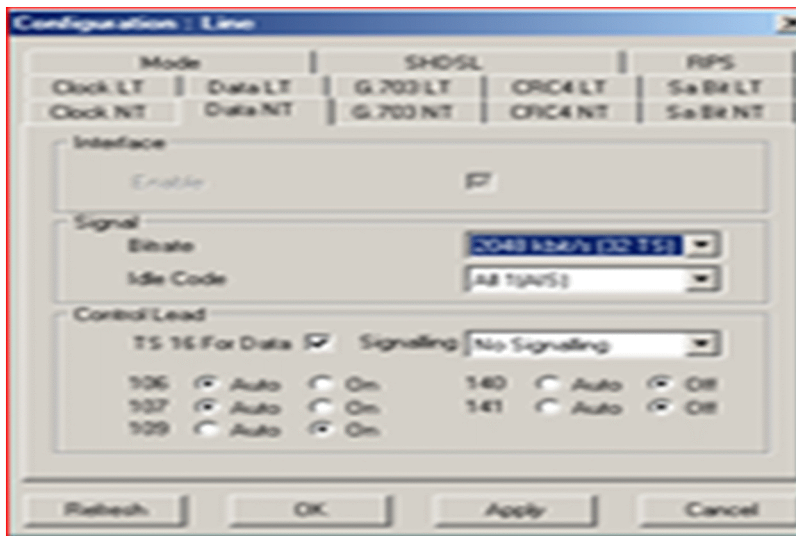
- **Clock NT** : on définit l'horloge slave selon leur priorité dans l'ordre (client).



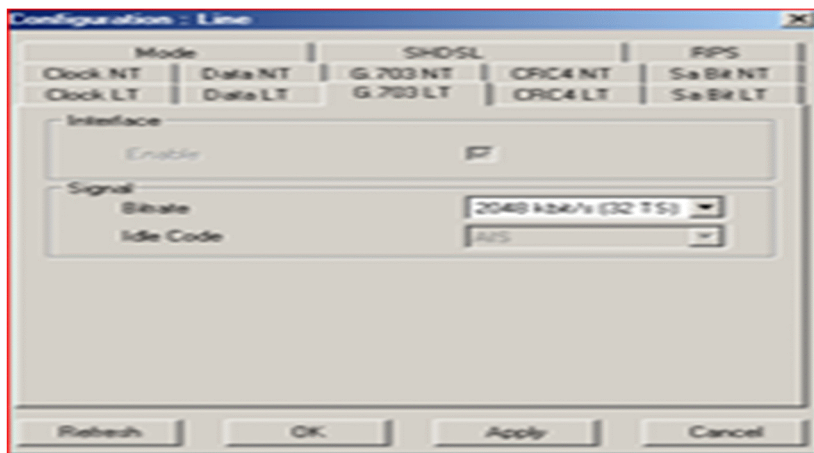
- **Data LT** : on coche la case « Enable » dans l'interface G.703 pour le modem maître et on définit le débit demandé « Bitrate » à 2Mbps.



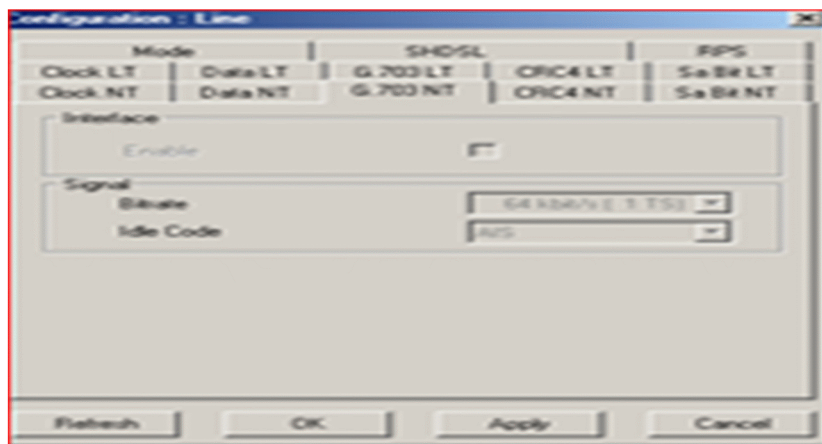
- **Data NT** : on coche la case « Enable » pour activer l'interface G.703 pour le modem slave, puis définit le débit demandé, « no signalling » pour ne pas utiliser IT16 de la signalisation.



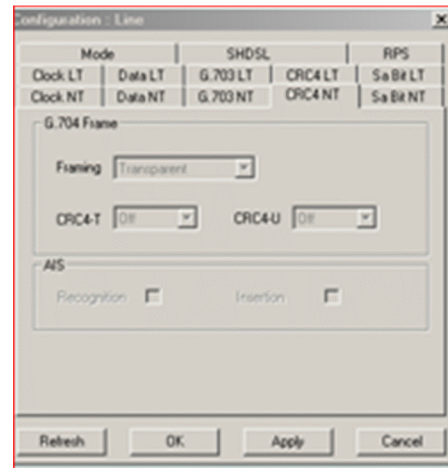
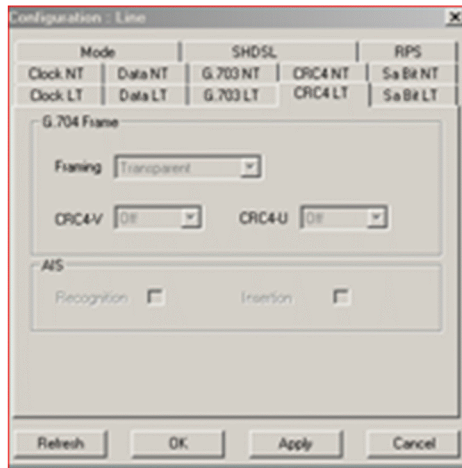
- **G.703 LT**: on coche la case « Enable » pour activer l'interface G.703 dans le modem maitre. Puis on définit le débit demandé « Bitrate » a 2 Mb/s.



- **G 703 NT** : on coche la case « Enable » pour activer l'interface G.703 dans le modem slave et on définit le débit « Bitrate » à 2 Mb/s.



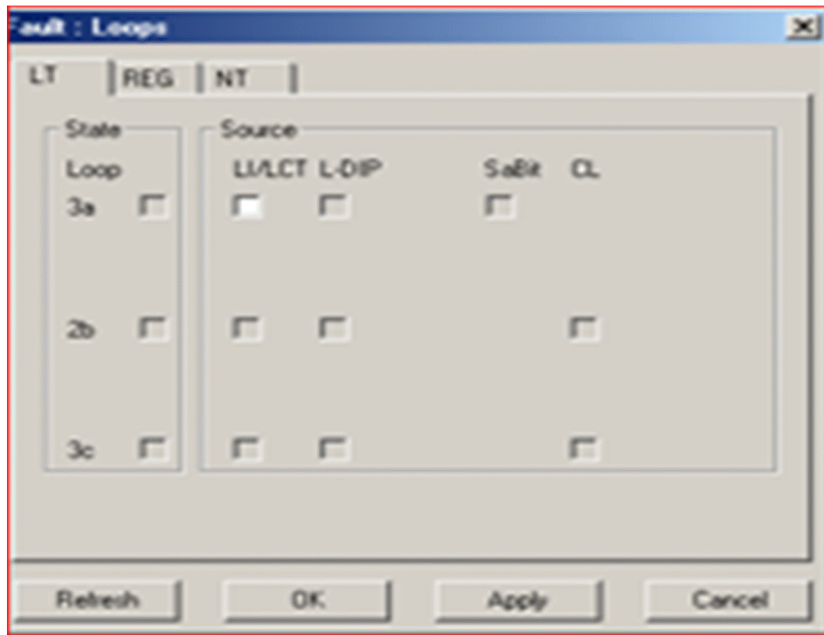
- **CRC 4 LT et CRC 4 NT** : c'est pour la signalisation, on choisit « termination » pour indiquer qu'il s'agit d'interface G.703 ou on choisit « channelized » pour indiquer qu'il s'agit d'interface X.21 et si le débit est à 2 Mbps on choisit « transparent ».



- **Sa Bit NT/SA Bit LT** : si le débit est inférieur à 2048 kbps on choisit « Constant one » sinon on choisit « transparent » c.-à-d. on choisit « transparent ».



- Et pour tester notre liaison on fait appel à loops (Fault) « LI/LCT » on réalisant une boucle « 2b » on isolant cote RMS. La boucle « 3a » teste la liaison on isolant modem cote client ...



d. Configuration de l'équipement de système 622 Mb/s

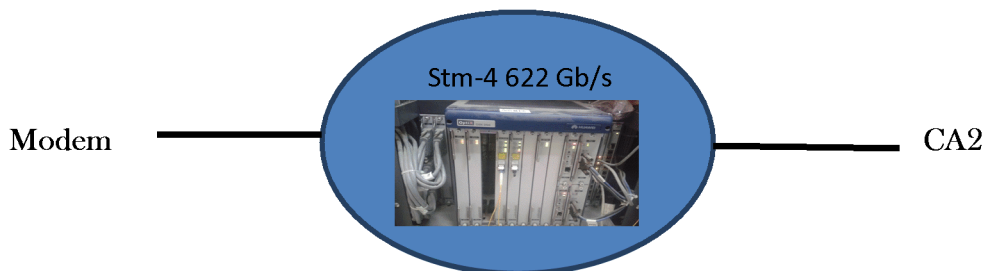
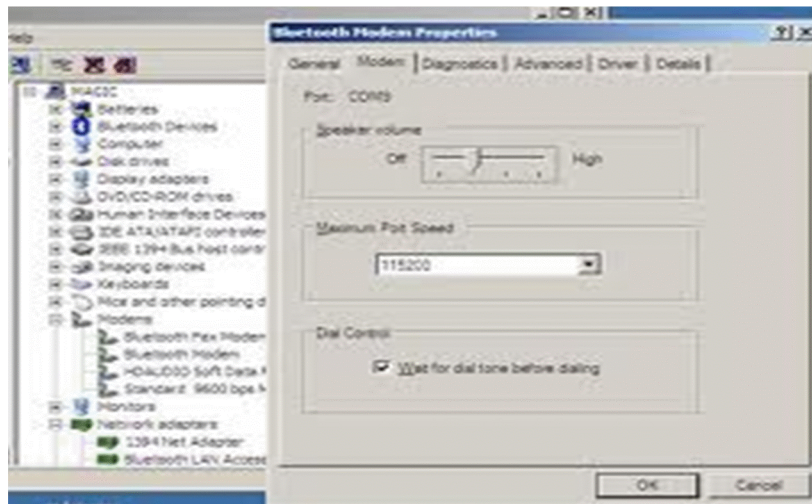


Figure 11: raccordement d'équipement 622 Mb/s

- Pour pouvoir communiquer avec l'équipement, on doit le connecter à un ordinateur via un port-série. pour cela on doit configurer le PC de tel sorte à entrer l'adresse IP de l'équipement, affectée par l'opérateur.
- Lancer le logiciel T2000 (serveur et client) en insérant un nom ADMIN et un mot de passe T2000.
- recherche de l'équipement en cliquant sure « File » en suite « Search for NE » puis « Start »
- pour commencer la configuration on clique sur « create » et indique le USER et PASSWORD.
- On choisit manuel configuration pour configurer manuellement l'équipement.
- La configuration des différentes cartes de l'équipement se fait en cliquant sur la liaison « CA1 –secteur MDN ».
- Pour gérer la trame STM-1 à savoir les affluents, le routage et le type de la carte en émission et ainsi qu'en réception en cliquant sur « create ».

### e. Les tests :

A ce niveau nous avons terminé la configuration des modems, il nous restera la ligne, le modem ou même l'interface grâce à des boucles qu'on peut les faire manuellement à l'aide des switch ou en cliquant sur la boucle désirée ou même tester le débit de la maison en utilisant une boucle (une prise RJ45) puis injecter un signal à partir du PF et le récupérer en affichant une fenêtre dont la valeur apparaît la même valeur de débit précisé dans la phase de configuration.



La liaison va passer d'abord par CA2 (centre d'amplification 2 de Tizi-ouzou) avec câble fibre optique avant de continuer le chemin vers leur site centrale (direction générale de la CPA d'Alger) passer par RMS (réseau multiservice d'AT d'Alger) on utilisant la technologie DWDM (10 Gb/s « STM-64 »).

### ❖ La réalisation du site B : (Direction générale de CPA) :

La réalisation de ce site nécessite les équipements et les câbles suivants :

- Un modem SIEMENS STU.
- Un PF pour tester le retour du signal.
- Un câble Data pour relier le modem STU au PF.

Les différentes étapes qu'on doit suivre pour faire la réalisation au niveau de site B sont les mêmes étapes que on a fait dans la réalisation au niveau du site A (même configuration de la paire de modem et l'équipement 622 Mb/s).

## **4. Tests de la liaison optique**

### **4.1. Appareil Emission/Réception :**

Il s'agit de l'un des appareils des tests des liaisons optiques utilisés au centre CA d'Algerie Telecom est « ACTERNA OLP-55 » (optecal power meter).

Cet appareil est conçu pour tester tous les systèmes optiques (affaiblissements) dans les conditions optimales.

#### **4.1.1. Principe de la mesure**

Le principe de la mesure de l'affaiblissement dans une fibre optique s'effectue à l'aide des appareils (Emission/Réception). Il consiste à envoyer un signal optique d'une longueur d'onde choisit 1550nm avec un affaiblissement de 0db/Km, à l'autre extrémité (récepteur) on récupère le signal émis avec une certaine atténuation qui sera affiché sur l'écran.



**Figure 12: principe de la mesure par Appareil Emission /Réception**

### **4.2. Le réflectomètre :**

Le réflectomètre est un appareil de mesure qui permet d'effectuer une analyse détaillée d'une liaison à fibre optique lors de la mise en service (mauvaise jonction, contrainte,...), il permet de localiser avec précision les événements et défauts présents sur le lien de calculer leur atténuation. De plus, l'appareil effectue toutes ses mesures depuis une seule extrémité ce qui permet de simplifier le test.

#### **4.2.1. Principe de la mesure :**

Le réflectomètre optique temporel consiste à injecter une impulsion lumineuse à une extrémité de la fibre optique, à analyser et à observer au même endroit l'intensité optique qui parcourt la fibre dans le sens inverse de propagation de l'impulsion. Le signal détecté est de la

forme exponentiel décroissant. Elle est due au phénomène de rétrodiffusion, avec superposition des pics due aux réflexions sur les extrémités de la fibre ou discontinuité d'indice.



**Figure 13: réflectomètre et sa réponse impulsionnelle**

### 4.3. Un PF (PowerFul tester)

Le PF (PowerFul tester) est un testeur puissant qui permet de tester les liaisons, il génère une trame de données et il affichera par la suite le résultat sur l'écran (soit un OK qui signifie qu'il a bien reçu la trame envoyée donc la liaison est établit sinon il indique une perte de signal quelque part).

Le PF se présente sous la forme suivante :



**Figure 14: face avant du PF**

- Le principe de la mesure électrique est basé sur la génération d'un signal électrique allant de 2 Mbit/s à 140 Mbit. ainsi on peut commencer le test en envoyant un signal électrique sans erreur ( $E=0$ ) va récupérer à la réception avec un taux d'erreur qui peut être :

- $E \geq 10^{-7}$  : la liaison est bonne ;
- $E = 10^{-6}$  : indication de problème ;
- $E = 10^{-3}$  : la liaison est mauvaise.

Après la mesure, on a trouvé que la liaison électrique a un taux d'erreur  $E \geq 10^{-7}$ , veut dire que la liaison est bonne.

### 5. Discussion :

L'usage de liaison spécialisée étant multiple, le choix entre les différents types de liaison dépend des besoins de communication de client et des équipements dont dispose AT. la liaison spécialisée offre un débit plus de 64 Kb/s . elle permet la transmission des données, de la voix, de l'image , l'accès internet, tout cela a une grande vitesse et avec une excellente qualité. le choix d'un type de liaison (équipements, type de câble, distance...) nécessite une études préalable.

Au niveau du CA de Tizi-Ouzou, plusieurs liaisons sont utilisées, on trouve des liaisons 155/622 Mbit/s. 2.5 Gbit/s et 10Gbit/s. les liaisons hauts débits (par exemple celle qui relie CA2 et Alger via Boumerdes) sont obtenus hauts en multiplexant 8 canaux de 10 Gbits/s. les capacités de ces liaisons peuvent être amélioré en augmentant le nombre de longueurs d'ondes injectées.

### Conclusion

La conception des liaisons optiques nécessite une étude préalable sur chacun des éléments intervenants dans la chaîne de transmission, ce qui permet de voir les caractéristiques du signal transmis.

La fibre permet le transport de débits nettement supérieurs à ceux que peuvent véhiculer les autres supports, et ceci avec une meilleure qualité de transmission.

Les composants optiques sont les moteurs de la révolution des réseaux optiques qui tendent vers le tout-optique avec ses optimums performances (énorme capacités, défauts optimisés,...).

Le développement des télécommunications à haut débit par fibre optique nécessite la mise au point de dispositifs de plus en plus rapides, à large bande et fonctionnant dans la plage spectrale des amplificateurs.

Mais, les performances des systèmes des communications optiques haut débit ( $\geq 10\text{Gb/s}$ ) se trouvent influencées par les effets linéaires (dispersion chromatique, dispersion modale de polarisation, atténuation) et non linéaires (effet Kerr) de la fibre optique.

Aujourd'hui utilisés dans de nombreux réseaux MAN ou WAN, SONET (SDH pour l'Europe) et WDM sont deux technologies qui ont révolutionné ce type des réseaux et que la fibre optique soit le support ultime.

Durant notre stage à Algérie Télécom, nous avons constaté que pour répondre aux besoins des débits toujours plus élevés, la capacité des systèmes de transmission optiques peut être multipliée par l'emploi simultané de plusieurs canaux centrés sur des longueurs d'ondes différentes, situées dans la plupart des cas dans la troisième fenêtre de transmission de la silice.

L'augmentation du débit d'une ligne de transmission optique peut se faire soit en augmentant le débit par canal, soit en mettant en jeu un plus grand nombre de canaux DWDM.

Enfin, cette étude effectuée au centre d'amplification d'Algérie Telecom de Tizi-Ouzou, nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine des transmissions optiques et d'acquérir une expérience pratique sur la planification d'un petit réseau SDH/WDM via fibre optique.

## 1. Caractéristique des différents types de fibre optiques

Matériaux	Pastique	Silice (cœur) Silice (gaine)	Toute silice			
			Type	Saut D'indice	Saut D'indice	Saut D'indice
<b>Diamètre Cœur (m)</b>	930 (Ou plus)	200 (Ou plus)	100	50	62.5	8.3
<b>Diamètre Gaine (m)</b>	1000 (Ou plus)	380 (Ou plus)	140	125	125	125
<b>Atténuation (dB/Km)</b>	200	5 à 10	2 à 5 850nm	3 à 850nm 1 à 1300nm	1.2 à 1300nm	0.5 à 1560nm
<b>Longueurs D'ondes D'utilisation</b>	450/700 Nm	700/1000 nm	800/1500 nm	800/1300 Nm	1300nm	1100/1560nm
<b>Ouverture Numérique</b>	0.5	0.4	0.28	0.20	0.27	0.1
<b>B.P (MHz. Km)</b>	10	20	50	500	300	10000
<b>Débit</b>	38.4Kbit/s	10Mbit /s	100Mbit /s	300Mbit/s	100Mbit/s	2 à 5Gbit/s
<b>Applications</b>	Eclairage transmission locale	Réseaux locaux	Transmission Courte Distance Réseau LAN	Télécoms Moyenne distance	Réseaux Locaux et privés	Télécoms Longues Distances Réseau MAN et WAN

Tableau 1 : caractéristiques des différents types de fibres optiques.

## Liste des figures

### Chapitre 1 :

- Figure 1 : Transmission en parallèle
- Figure 2 : Transmission en série
- Figure 3 : Transmission en simplex.
- Figure 4 : Transmission en semi duplex.
- Figure 5 : Transmission en duplex intégral.
- Figure 6 : Transmission en mode asynchrone.
- Figure 7 : Transmission en mode synchrone
- Figure 8: le code NRZ (No Return to Zero)
- Figure 9 : Le code HDB3
- Figure 10 : Le code biphasé ou Manchester:
- Figure 11 : schéma simplifié d'un système de transmission numérique
- Figure 12 : Modulation de fréquence FSK
- Figure 13: Modulation de Phase PSK
- Figure 14: Modulation d'amplitude ASK
- Figure 15: Modulation QAM
- Figure 16 : Echantillonnage
- Figure 17: le bruit de quantification
- Figure 18 : La trame MIC
- Figure 19 : multiplexage à répartition dans le temps: trame MIC
- Figure 20: multiplexage à répartition en fréquence
- Figure 21: Bande passante
- Figure 22. Les câbles à paires torsadées
- Figure 23 : Le câble coaxial
- Figure 24. Câble à fibre optique
- Figure 25: Le faisceau hertzien

### Chapitre 2 :

- Figure 1 : correspondance couleur longueurs d'ondes dans le champ de la lumière visible
- Figure 2: angle incidente et angle réflexion
- Figure 3 : Fibres optiques
- Figure 4: Principe d'une fibre optique
- Figure 5 : Principe d'une fibre optique à saut d'indice
- Figure 6.1 : Photodiode PIN.
- Figure 6.2: Structure d'une photodiode à avalanche
- Figure 7: coupleur à deux entrées et une sortie
- Figure 8 : types de Fibre optique
- Figure 9 : Les fibres multimodes
- Figure 10 : Les fibres monomodes
- Figure 11 : dispersion chromatique intramodal de la fibre monomode

Figure 12: principe fonctionnement d'un laser

Figure 13 : diode laser, caractéristiques spectrales

### **Chapitre 3 :**

Figure 1 : les réseaux optique selon la taille

Figure 2: Hiérarchie PDH

Figure 3 : La trame de base E1

Figure 4: principe de la hiérarchie PDH

Figure 5 : Trame SDH

Figure 6: Hiérarchie de multiplexage SDH

Figure 7.1 : principe général du WDM

Figure 7.2 : Chaque couleur est retransmis sur un canal différent

Figure 8 : Fonctionnement général du WDM/DWDM

Figure 9 : Technologie WDM, longueurs d'onde

Figure 10 : Principe des communications optiques

Figure 11: Principales composantes d'un réseau DWDM

Figure 12 : Réseau optique : modèle (source MARCONI).

Figure 13: Fixed Optical Add/Drop Multiplexer

### **Chapitre 4:**

Figure 1: Backbone national fibre optique

Figure 2: Backbone national des transmissions DWDM

Figure 2: Systeme ADR 155 Mbit/s

Figure 3: Systemes 622 Mbit/s

Figure 4: liaison via RMS

Figure 5: liaison VPN

Figure 6: liaison spécialisée point à point

Figure 7 : création d'une liaison spécialisée RMS

Figure 8: Modem SIEMENS STU

Figure 9.1 : interface G.703

Figure 9.2. : Câble X21

Figure 10: raccordement de deux modem

Figure 11: raccordement d'équipement 622 Mb/s

Figure 12: principe de la mesure par Appareil Emission /Réception

Figure 13: réflectomètre et sa réponse impulsionnelle

Figure 14: face avant du PF



## Liste des tableaux

Tableau 1: correspond au codage QAM

Tableau 2: Comparaison entre PIN et APD

Tableau 3: Comparaison entre fibre monomode et multimode

Tableau 4 : répertoire des débits de la hiérarchie SDH/SONET

Tableau 5 : Tableau comparatif des techniques SDH et PDH

Tableau 6 : les différentes technologies de WDM

Tableau 7 : Réseaux de la wilaya TIZI OUZOU

### A

---

---

<b>AE</b>	Application Entity .
<b>ADM</b>	Add Drop Multiplexer (Multiplexer à insertion extraction).
<b>AFDE</b>	Amplificateur à Fibre Dopée Erbium.
<b>AOSC</b>	Amplificateur Optiques à Semi-conducteur.
<b>ATM</b>	Asynchrone Transfert Mode (mode de transfert asynchrone).
<b>AM</b>	Modulation d'amplitude.
<b>AP</b>	Application Processus.
<b>ASE</b>	Application service élément.
<b>AU</b>	Unité Administrative.
<b>AUG</b>	Le Groupe d'Unité Administrative.

### B

---

---

<b>Backbone</b>	réseaux fédérateur sur lequel est connecté l'ensemble des réseaux ou sous-réseaux.
<b>BIT</b>	Binary digit.
<b>BITS</b>	Building Integrated timing Supply.

### C

---

---

<b>C</b>	Conteneur.
<b>CA</b>	Centre d'Amplification
<b>CDMA</b>	l'accès multiple par répartition de code.
<b>CEL</b>	Centre d'Entretien de lignes.
<b>CITT</b>	Comité Consultatif International du Téléphoné et Télégraphe.
<b>CIDR</b>	Classless Inter-Domain Routing.
<b>CL</b>	Centre local de rattachement.
<b>C-WDM</b>	Coarse-Dense wavelingth Division Multiplexing.

### D

---

---

<b>DEL</b>	Diode Electroluminescent.
------------	---------------------------

## GLOSSAIRE

---

---

<b>DGD</b>	Differential Group Delay.
<b>DL</b>	Diode Laser.
<b>DMT</b>	Discrete Multitone.
<b>DSF</b>	Dispersion Shifted Fibre.
<b>DWDM</b>	Dense Wavelength Division Multiplexing.

---

---

### **E**

<b>E1</b>	European Digital Signal.
<b>Ethernet</b>	norme définissant la transmission de donnée par câble.
<b>ETSI</b>	Europea Télécommunications standards Institutes.

---

---

### **F**

<b>FDM</b>	Frequency Division Multiplexing (multiplexage par répartition de fréquence).
<b>FDMA</b>	Accès Multiple par Répartition de Fréquence.
<b>FE</b>	Fast Ethernet
<b>FH</b>	Faisceaux Hertiens.
<b>FO</b>	Fibre Optique.
<b>FOSI</b>	Fibre Optique à Saut d'Indice.
<b>FSK</b>	Frequency Shift Keying (modulation de fréquence).
<b>FWM</b>	Four Wave Modulation.

---

---

### **G**

<b>GSM</b>	Global System for Mobile ( Groupe spécial mobile )
------------	--

---

---

### **H**

<b>HDB3</b>	Order Ligh Densily Code.
<b>HZ</b>	Hertz (cycle par second).

---

---

### **I**

<b>IETF</b>	Internet Engineering Task Force.
<b>IP</b>	Internet Protocole.

## GLOSSAIRE

---

<b>ISO</b>	International Standard Organization.
<b>ISDN</b>	International Service Digital Network.
<b>IT</b>	Interval du Temps.

---

### L

<b>LAN</b>	Local Area Network.
<b>LASER</b>	Light amplification by Stimulated Emission of Radiation.
<b>LED</b>	Light Emitting Diode.
<b>LEO</b>	Low Earth Orbit.
<b>LDP</b>	Label Distribution Protocol.
<b>LO</b>	Low Order.
<b>LSP</b>	Ladle Swish Path.
<b>LSR</b>	Label Switching Router.

---

### M

<b>MAN</b>	Metropolitan Area Network.
<b>MEMS</b>	Micro-Electro Mecanical Systemes.
<b>MMIC</b>	Modulation par Impulsion Codée.
<b>M-SOH</b>	Multiplex Section Over Head.
<b>MPLS</b>	Multi-Protocole Label Switging.
<b>MRF</b>	Multiplexage par répartition en fréquence .
<b>MRL</b>	Multiplexage par répartition en longueur d'onde .
<b>MRT</b>	Multiplexage a répartition dans le temps .

---

### N

<b>NE</b>	Network Eliment.
<b>NRZ</b>	Non Remise à Zéro.
<b>NZ-DSF</b>	Non-Zero Dispersion-Shifted-Fiber.

---

### O

## GLOSSAIRE

---

---

<b>OADM</b>	Optical Add/Drop multiplexer.
<b>OC</b>	Optical Carrier (SONET).
<b>OXC</b>	Optical Cross-Conect.
<b>ON</b>	Overture Numérique.
<b>OSI</b>	Open Systems Interconnections.
<b>OSPF</b>	Open Shorts Path First.

---

---

### **P**

<b>PDA</b>	Photodiode à Avalanche.
<b>PDH</b>	Plesiochrone Digital Hiererarchy.
<b>PIN</b>	Photodiode Polarisé en Inverse.
<b>PMD</b>	Dispersion modal de polarization.
<b>POH</b>	Path Over Head.
<b>PSK</b>	Pulse Shift Modulation.

---

---

### **Q**

<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude modulation.
------------	----------------------------------

---

---

### **R**

<b>RIP</b>	Routing Information Protocol.
<b>RNIS</b>	Réseau Numérique à Intégration de Services.
<b>R-OADM</b>	Reconfigurable optical Add/Drop Multiplexer.
<b>R-SOH</b>	Regeneration Section Over Head.
<b>RTC</b>	Le réseau téléphonique commuté

---

---

### **S**

<b>SAO</b>	Single Association Object.
<b>SDH</b>	Hierarchie Numérique plésiochrone.
<b>SMF</b>	Single Monomode Fiber.
<b>SOH</b>	Section Overhead.

## **GLOSSAIRE**

---

**SONET** Synchronous Optical Network.

**STMn** Synchronous transfert module d'ordre n.

**SPM** Shift Pulse Modulation.

---

### **T**

**TCP** Transmission Control Protocol.

**TDM** Time Division Multiplexing.

**TDMA** Accès Multiple par répartition Temporelle.

**TU** Tributary Unit (l'unité d'affluent).

**TUG** Tributary Unit group (le Group d'unité D'affluent).

---

### **U**

**UIT** Union International des télécommunications.

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

---

### **V**

**VC-n** Contenu Virtuel lève n.

**VPN** Virtual Private Networ.

---

### **W**

**WAN** Wide area network

**WDM** wavelength division multiplexing

**WDMA** acces multiple par repartition en longueur d'onde



## Bibliographie

M.GHETTAL Idir, M.IFRIHADDADEN Adel. Etude d'une liaison par fibre optique A haut débit « Technologie WDM » .Thèses d'ingénieur d'état en électronique UMMTO. 2010.

OULAL Malika, OUMAIOUF Sadia. Etude et application du système de transmission optique .Thèses d'ingénieur d'état en électronique UMMTO. 2012.

M.BOUBRIK Nacer .M.CHAMEK Said .M.FFERHANI Samia. Etude et application de transmission SDH via fibre optique .Thèses d'ingénieur d'état en électronique. UMMTO 2009.

ABDELLI Farida, DERRADJI Nassima. Etude et application de la transmission DWDM par fibre optique à haut débit .Thèses d'ingénieur d'état en électronique. ummto.2011.

HABBAR Hamza .DJELIDI Khaled. Liaison Par Fibre Optique à Haut Débit Etude Des Liaisons Point à Point Polychromatiques. Thèses d'Ingénieur d'Etat en Télécommunications. Institut Des Télécommunications d'ORAN ABDELHAFIDH BOUSSOUF.2004

Mr KOUADRI Djilali . Mr KADDOUR Djebbar M<sup>ed</sup> . Transmission par soliton dans une liaison optique a haut debit . Thèses d'ingenieur d'etat en telecommunications . Institut des telecommunications ABDELHAFID BOUSSOUF -ORAN-.2004

m.kaabache nour.i.m. gacem larbi.transmission de donnees par voie optique. Thèses d'ingénieur d'Etat en Télécommunications. Institut des telecommunications ABDELHAFID BOUSSOUF -ORAN-.2005

CHERFAOUI Fayçal .M.ZEMANI Cherh Eddine. Liaison par fibre optique à haut débit étude de la topologie en anneau optique. Thèses d'ingénieur d'Etat en Télécommunications. INSTITUT DES TELECOMMUNICATIONS ABDELHAFID BOUSSOUF -ORAN-.2004

S.Ungar, fibre optique « théorie et application », ed. , 2010.

MARC Boiseau, MICHEL Demange et JEAN-Marie. MUNIER (Eyrolles) Réseaux haut débit – Pierre Rolin – 2ème édition (Hermes).2000

Olivier ADAMUS .Johann COPIN. Eric PANETTA. "Nouvelles technologie réseau SONET/WDM. IR3 - 2003

P.Perrone .Techniques de transport haut débit INSA 4ème TC- 2007

VERNEUIL Jean Louis. « Simulation de système de télécommunication par fibre optique à 40 Gbit/s ».thèse de doctorat de université de limoges.2003

Frédéric LAUNAY COURS Module TR3 Transport des données : PDH, SDH, WDM UE3 – TR3 R&T – 2ème année 2012.

Sophia Antipolis Réseaux Transmission de Données Master Miage 1.Université de Nice- (Second semestre 2009-2010).

Danièle DROMARD, Architecturent des réseaux – Pearson France - Dominique Seret 2010.

F. Ouallouche, Cours réseaux pour 3ème Année Licence électronique, FGEl, UMMTO, 2012.

<http://users.skynet.be/libertad1789/Multiplexages.htm#WDM>  
[www.sndl.cerist.dz](http://www.sndl.cerist.dz)

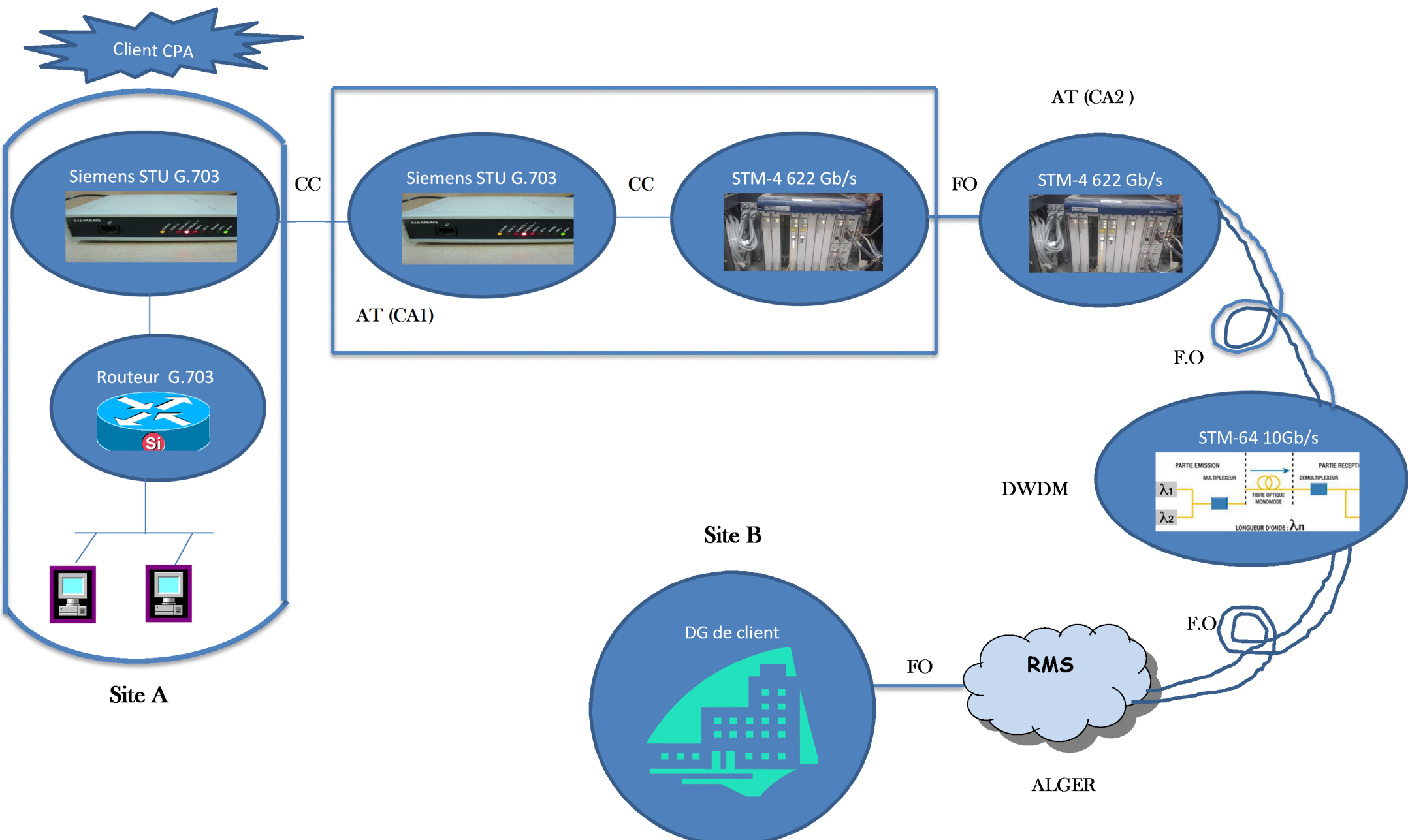


Figure 7 : création d'une liaison spécialisée RMS

# Résumé

La conception des liaisons optiques nécessite une étude préalable sur chacun des éléments intervenants dans la chaîne de transmission, ce qui permet de voir les caractéristiques du signal transmis.

La fibre permet le transport de débits nettement supérieurs à ceux que peuvent véhiculer les autres supports, et ceci avec une meilleure qualité de transmission.

Les composants optiques sont les moteurs de la révolution des réseaux optiques qui tendent vers le tout-optique avec ses optimums performances (énorme capacités, défauts optimisés,...).

Aujourd'hui utilisés dans de nombreux réseaux MAN ou WAN, SONET (SDH pour l'Europe) et WDM sont deux technologies qui ont révolutionné ce type des réseaux et que la fibre optique soit le support ultime.

Durant notre stage à Algérie Télécom, nous avons constaté que pour répondre aux besoins des débits toujours plus élevés, la capacité des systèmes de transmission optiques peut être multipliée par l'emploi simultané de plusieurs canaux centrés sur des longueurs d'ondes différentes, situées dans la plupart des cas dans la troisième fenêtre de transmission de la silice.

L'augmentation du débit d'une ligne de transmission optique peut se faire soit en augmentant le débit par canal, soit en mettant en jeu un plus grand nombre de canaux DWDM.

Enfin, cette étude effectuée au centre d'amplification d'Algérie Telecom de Tizi-Ouzou, nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine des transmissions optiques et d'acquérir une expérience pratique sur la planification d'un petit réseau SDH/WDM via fibre optique.

## **Mot clé**

**F.O** : fibre optique.

**SDH** : Synchronous Digital Hierarchy

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