

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU**

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



## **Mémoire de fin d'études**

**Présenté en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en  
Electronique**

**Option : Communication**

**Thème :**

**Multiplexage SDH et dimensionnement des  
réseaux DWDM**

**Proposé et dirigé par :**

**M<sup>r</sup> AIT BACHIR**

**Présenté par :**

**M<sup>r</sup> HAMITOUCHE Arezki**

**M<sup>elle</sup> LAHLOUH Hassina**

Année universitaire 2009/2010

# REMERCIEMENTS

A travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement notre promoteur M<sup>f</sup> AIT BACHIR pour ses précieux conseils, les encadreurs d'Algérie Telecom : M<sup>f</sup> K.MOKRI, M<sup>f</sup> A.KHEMIS et M<sup>f</sup> R.LASSAL pour le temps qu'ils nous ont consacré aux dépens de leur travail, Ainsi que tous les professeurs qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'études jusqu'à la fin de notre cycle universitaire.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi au président et membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

En enfin, que nos chers parents et familles, et bien avant tout, trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus chaleureux et les plus profonds en reconnaissance de leurs sacrifices, aides, soutien et encouragement afin de nous assurer cette formation d'ingénieurs en électronique dans les meilleurs conditions.

## Sommaire

<b><u>Introduction générale</u></b> .....	1
<b><u>Chapitre 1 : Introduction aux réseaux et supports de transmission</u></b>	
I.1.Introduction.....	3
I.2. Les réseaux de télécommunication.....	3
I.2.1. Définition.....	3
I.2.2. Le partage des infrastructures de télécommunication.....	3
I.2.3. Les types des réseaux de données.....	4
I.2.3.1. Le réseau local d'entreprise (LAN).....	4
I.2.3.2. Le réseau d'accès (moins de 10 Km).....	4
I.2.3.3. Le réseau de transport.....	4
I.2.3.3.1. Les réseaux MAN (de 10 Km à 500 Km).....	4
I.2.3.3.2. Les réseaux WAN (plus de 500 Km).....	4
I.3.Les supports de transmission.....	4
I.3.1. Les caractéristiques communes des supports de transmission.....	4
I.3.1.1. Modélisation d'une ligne de transmission.....	4
I.3.1.2. L'atténuation.....	5
I.3.1.3. La capacité de transport de données.....	5
I.3.1.3.1. La bande passante.....	5
I.3.1.3.2. Le débit.....	6
I.3.2. Les types des supports de transmission.....	6
I.3.2.1. Les supports filaires.....	6
I.3.2.1.1. La ligne bifilaire parallèle.....	6
I.3.2.1.2. Le câble à paire torsadée.....	6
I.3.2.1.3. Le câble coaxial.....	7
I.3.2.2. Le support aérien.....	7

I.3.2.2.1. Les faisceaux hertziens.....	7
I.3.2.2.2. La transmission par satellite.....	8
I.3.2.3. Les supports optiques.....	9
I.3.2.3.1. La liaison optique à l'air libre.....	9
I.3.2.3.2. La fibre optique.....	9
I.4. La propagation dans les fibres optiques.....	9
I.4.1. L'indice de Réfraction.....	9
I.4.2. L'Ouverture Numérique.....	10
I.4.3. L'équation de propagation et types des fibres optiques.....	10
I.4.3.1. Fibre Optique Multimode à Saut d'Indice.....	11
I.4.3.2. Fibre Optique Multimode à Gradient d'Indice.....	11
I.4.3.3. Fibre Optique Monomode.....	12
I.5. Limitations des transmissions à fibres optiques .....	12
I.5.1. L'atténuation.....	12
I.5.2. La dispersion.....	13
I.5.2.1. Les types de dispersion.....	13
I.5.2.1.1. La dispersion chromatique.....	13
I.5.2.1.2. La dispersion modale.....	13
I.5.2.1.3. La dispersion de polarisation.....	14
I.5.3. La bande passante.....	14
I.5.3.1. La bande modale.....	15
I.5.3.2. La bande chromatique.....	15
I.5.4. Les effets non-linéaires dans la fibre optique.....	15
I.5.4.1. Modulation autophase (SPM).....	16
I.5.4.1.1. Description des effets.....	16
I.5.4.1.2. Minimisations des limitations induites.....	16

I.5.4.2. Modulation transphase (XPM).....	17
I.5.4.2.1. Description des effets.....	17
I.5.4.2.2. Minimisation des limitations induites.....	17
I.5.4.3. Mélange de quatre ondes.....	17
I.5.4.3.1. Description des effets.....	17
I.5.4.3.2. Minimisation des limitations induites.....	18
I.5.4.4. Diffusion Brillouin stimulée.....	18
I.5.4.4.1. Description des effets.....	18
I.5.4.4.2. Minimisation des limitations induites.....	19
I.6. Le multiplexage.....	19
I.6.1. Définition.....	19
I.6.2. Le multiplexage temporel (TDM).....	19
I.6.3. Le multiplexage fréquentiel (FDM).....	19
I.7. La trame MIC et les étapes de la numérisation.....	20
I.7.1. Les étapes générales de la numérisation .....	20
I.7.1.1. Le filtrage.....	20
I.7.1.2. L'échantillonnage.....	20
I.7.1.3. La quantification.....	20
I.7.1.4. Le codage.....	21
I.7.2. La norme européenne : Multiplexage vers la trame MIC primaire (E1) à 2048 Kb/s.....	21
I.7.2.1. Constitution de la trame.....	21
I.7.2.2. Signalisation (IT16) et multi-trame.....	21
I.7.3. La norme Américaine : Multiplexage vers la trame MIC primaire (T1) à 1544 Kb/s.....	22
I.7.4. Comparaison des deux normes Européenne et Américaine.....	23
I.8. Le multiplexage synchrone SDH et SONET.....	23
I.8.1. La hiérarchie SDH.....	23
I.8.2. La hiérarchie SONET.....	23
I.9. La technique de multiplexage WDM.....	24

I.10. Conclusion.....	24
-----------------------	----

## **Chapitre 2 : LA hiérarchie numérique synchrone SDH**

II.1. Introduction.....	25
II-2 Evolution du PDH vers SDH .....	25
II-3 Limitations de la PDH .....	26
II-4 Définition de la SDH .....	26
II-4-1 Les débits normalisés de la hiérarchie numérique synchrone.....	27
II-4-2 La trame SDH .....	27
II-4-2-1 Les réseaux de section de régénération (RSOH).....	28
II-4-2-2 Les réseaux de section de multiplexage (MSOH) .....	28
II-4-2-3 Pointeur (PTR) .....	28
II-5 Les entités traitées par le réseau SDH .....	29
II-5-1 La notion de conteneur « C-n » .....	29
II-5-2 Le conteneur virtuel VC-n.....	31
II-5-5 L'unité administrative « AU-n ».....	31
II-5-6 Le groupe d'unités administratives.....	32
II-7- synchronisation du réseau SDH .....	33
II-8- Infrastructure du réseau S.D.H.....	34
II-8-1 Multiplexeur Insertion - Extraction MIE .....	34
II-8-2 Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS).....	35

II-8-3 Les brasseurs numériques (DXC, Digital Cross Connect).....	35
II-9 - La Topologie et la protection.....	36
II-9-1 Les topologies.....	36
II-9-1-1-Les anneaux unidirectionnels (2 fibres).....	37
II-9-1-2 Les anneaux bidirectionnels (2 fibres).....	37
II-9-1-3 Les anneaux bidirectionnels (4 fibres) .....	37
II-9-2 La protection dans les réseaux SDH .....	37
II-9-2-1 La protection du sous-réseau SNCP (Sub-Network Connexion Protection) (1+1).....	37
II-9-2-2 La protection de la section de multiplexage MSP (Multiplex Section Protection) .....	38
II-10-2-2-1 La protection MSP linéaire (point-à-point) : .....	38
II-9-3 La protection MSP des anneaux .....	39
II-10 Conclusion .....	40

### **Chapitre 3 : Technologie et dimensionnement des liaisons DWDM**

III.1. INTRODUCTION .....	41
III.2. Les avantages du WDM.....	41
III.3. Le principe des liaisons optiques de transmission.....	42
III.4.L'architecture de base d'un réseau DWDM.....	42
III.5. Le module émission d'une liaison DWDM.....	43
III.5.1. Les exigences imposées sur les sources optiques.....	43
III.5.2.La génération des longueurs d'ondes dans les sources optiques.....	43
III.5.3. Les types de sources optiques.....	44
III.5.3.1. Les diodes électroluminescentes (LED, Light Emission Diode) .....	44
III.5.3.2. Le LASER .....	44
III.5.3.2.1. La diode LASER.....	44
III.5.3.2.2. Principe de fonctionnement du LASER.....	44
III.5.3.2.2.1. L'inversion de population.....	44
III.5.3.2.2.2. L'amplificateur optique.....	45
III.5.3.2.2.3. La cavité résonante.....	45
III.5.3.2.3. Caractéristiques principales des lasers .....	45
III.5.3.2.3.1. Caractéristique en puissance.....	45
III.5.3.2.4. L'exploitation du LASER dans les réseaux DWDM.....	46
III.5.3.2.5. L'injection de la lumière LASER dans la fibre optique.....	47
III.5.4. La modulation des données.....	47
III.5.4.1. La modulation directe.....	48
III.5.4.2. La modulation externe.....	48
III.6. L'exploitation des fibres optiques dans les liaisons DWDM.....	49
III.7. Le module réception d'une liaison DWDM.....	50
III.7.1. Le principe des récepteurs optiques .....	50
III.7.2. Exigences imposées aux récepteurs optiques.....	50

III.7.3. Les caractéristiques principales des photodétecteurs.....	50
III.7.3.1. Condition d'absorption .....	50
III.7.3.2. Coefficient d'absorption et longueur d'absorption.....	51
III.7.3.3. Longueur d'onde de coupure.....	51
III.7.3.4. Le rendement quantique.....	51
III.7.3.5. La sensibilité du photodétecteur.....	51
III.7.3.6. Le courant d'obscurité .....	51
III.7.4. Les types des photodétecteurs.....	52
III.7.4.1. Les photodiodes PIN.....	52
III.7.4.2. Les photodiodes à avalanche (APD) .....	52
III.7.4.3. La comparaison PIN-APD.....	53
III.7.5. L'exploitation des photodétecteurs dans les réseaux DWDM ( 10 Gb/s) .....	54
III.8. L'exploitation des amplificateurs optiques dans le réseau DWDM.....	54
III.8.1. Les amplificateurs à semi-conducteur (AOSC) .....	55
III.8.2. L'amplificateur à Erbium dopée (EDFA) .....	56
III.9. Le multiplexage en longueur d'onde WDM.....	56
III.9.1. Multiplexage à Filtre Optique.....	57
III.9.1.1. Les types des filtres optiques.....	57
III.9.1.1.1. Les filtres dichroïques.....	57
III.9.1.1.2. Les filtres Fabry-Perot.....	57
III.9.1.2. L'exploitation des filtres optiques dans les réseaux DWDM.....	58
III.9.2. Multiplexage à coupleurs sélectifs .....	58
III.9.3. Multiplexage à Réseau de Diffraction.....	58
III.10. Les équipements d'un réseau DWDM .....	59
III.10.1. Les multiplexeurs à insertion/extraction optiques .....	59
III.10.1.1. Les types des OADM .....	59
III.10.1.2. Les fonctionnalités de l'OADM .....	59
III.10.2. Les brasseurs optiques (OXC, Optical Cross Connect) .....	60
III.10.2.1. Les brasseurs passifs .....	60
III.10.2.2. Les brasseurs Actifs (brasseur avec échange $\lambda$ ) .....	60
III.11. Topologies et systèmes de protection dans les réseaux DWDM .....	61
III.12. Considérations pratiques dans le dimensionnement des réseaux DWDM .....	61

III.12.1.Choix de la fibre et détermination de la portée maximale de la liaison .....	61
III.12.1.1. Choix de la fibre .....	61
III.12.1.2. Longueur maximum d'un canal non dispersif .....	61
III.12.1.3. Longueur maximum d'un canal dispersif .....	62
III.12.2. Considérations particulières pour les liaisons numériques .....	62
III.12.2.1. Interférence inter-symboles .....	62
III.12.2.2. Choix du code de transmission .....	63
III.12.2.2.1. Paramètres recommandés .....	63
III.12.2.2.2. Représentation des signaux codés .....	63
III.12.2.2.3. Particularités des différents codes .....	64
III.12.3. Le bilan de la liaison optique (le budget de puissance) .....	65
III.12.4. Vérification de la qualité de la liaison .....	65
III.12.4.1. Détermination du rapport OSNR requis à base du TEB .....	66
III.12.4.2. Calcul de la qualité de la liaison pour les différents bonds .....	66
III.12.5. La stratégie d'approvisionnement .....	66
III.12.6. La stratégie de protection et de restauration .....	67
III.13. Conclusion .....	67

#### **Chapitre 4 : L'exploitation des deux technologies SDH et DWDM par Algérie Telecom**

IV.1. Introduction.....	68
IV.2. Le réseau de télécommunication d'ALGERIE TELECOM.....	68
IV.2.1. Description du réseau.....	68
IV.2.2. Architecture du réseau.....	68
IV.2.2.1. Le réseau Backbone d'ALGERIE TELECOM.....	68
IV.2.2.2. Le dimensionnement du réseau Backbone DWDM d'ALGERIE TELECOM.....	71
IV.2.2.3. La desserte des abonnés d'AT au niveau métropolitain (cas de Tizi-Ouzou).....	73
IV.2.2.3.1. La partie branchement.....	73
IV.2.2.3.2. La partie distribution.....	73
IV.2.2.3.3. La partie transport.....	73
IV.2.3. Synchronisation du réseau d'ALGERIE TELECOM.....	74
IV.2.4. Le système de gestion et de supervision.....	76
IV.2.5. La sécurisation du réseau.....	77
IV.3. Les équipements utilisés dans le réseau Backbone d'Algérie Telecom.....	77
IV.3.1. La gamme des équipements HUAWEI Optix utilisés par Algérie Telecom.....	78
IV.3.1.1. L'équipement multiservices Optix 155/622.....	78

IV.3.1.1.1. Vue générale de l'équipement Optix 155/622.....	79
IV.3.1.1.2. La structure de l'équipement Optix 155/622.....	79
IV.3.1.1.3. Les interfaces de l'Optix 155/622.....	80
IV.3.1.1.4. Les services SDH et WDM de l'Optix 155/622.....	81
IV.3.1.1.4.1. La carte optique STM-4 OI4.....	81
IV.3.1.1.4.2. Les cartes optiques SB2D/SB2L/SB2R.....	82
IV.3.1.1.5. La carte du contrôle du système SCB.....	82
IV.3.1.2. L'équipement Optix OSN 3500.....	83
IV.3.2. La gamme des équipements SAGEM utilisés par Algérie Telecom .....	84
IV.3.2.1. Le multiplexeur synchrone ADR 155C.....	84
IV.3.2.1.1. Vue générale de l'équipement ADR 155C.....	84
IV.3.2.1.2. Utilisation de l'ADR 155C.....	84
IV.3.2.1.3. Gestion de l'ADR 155C.....	85
IV.3.2.1.4. Description du châssis de l'ADR 155C.....	85
IV.3.2.2. Le multiplexeur synchrone ADR 2500C.....	85
IV.3.2.2.1. Vue générale de l'équipement ADR 2500C.....	85
IV.3.2.2.2. Utilisation de l'ADR 2500C.....	86
IV.3.2.2.3. Gestion de l'ADR 2500C.....	86
IV.3.2.2.4. Description du châssis de l'ADR 2500C.....	86
IV.3.2.2.5. La synchronisation de l'ADR 2500C.....	87
IV.3.2.2.6. Le budget optique d'une liaison utilisant les ADR 2500C.....	88
IV.3.2.3. L'équipement de multiplexage FMX.....	88
IV.4. Conclusion.....	89

## **Chapitre 5 : Dimensionnement et mise en service des liaisons optiques haut-débit d'Algérie Telecom**

V.1.Introduction.....	91
V.2. Dimensionnement de la liaison optique 10Gb/s Alger-Sétif.....	91
V.2.1.Présentation de la liaison.....	91
V.2.2. Cahier de charges de la liaison.....	91
V.2.3. Le Calcul de la liaison.....	93
V.2.3.1. Le calcul de la liaison sans amplification et sans compensation de dispersion.....	93
V.2.3.1.1. Le budget optique de la liaison.....	93
V.2.3.1.2. L'atténuation totale de la liaison .....	93
V.2.3.1.3. La dispersion totale de la liaison .....	94

V.2.3.1.4. L'analyse des résultats.....	94
V.2.3.2. Le calcul de la liaison avec amplification et compensation de dispersion.....	95
V.2.3.2.1. La compensation de la dispersion.....	95
V.2.3.2.1.1. Détermination du nombre et type des DCM à utiliser.....	95
V.2.3.2.1.2. Le calcul de la liaison après compensation de dispersion.....	95
V.2.3.2.2. La compensation des pertes de la liaison.....	95
V.2.3.3. Localisation des sites de compensation de la dispersion.....	96
V.2.3.4. Localisation des sites d'amplification.....	96
V.2.3.5. La mise en œuvre de la liaison monocanal 10 Gb/s Alger-Sétif.....	98
V.2.3.5.1. Les atténuations des bonds de la liaison monocanal 10 Gb/s Alger-Sétif.....	98
V.2.3.5.2. Le diagramme des niveaux de puissance de la liaison monocanal 10 Gb/s Alger-Sétif.....	99
V.2.3.5.3. Vérification de la qualité de la liaison.....	99
V.2.3.6. Conclusion générale sur le dimensionnement des liaisons haut-débit d'AT.....	100
V.3. La pose de la fibre optique.....	100
V.4. Installation et configuration des équipements SDH.....	101
V.4.2. La connexion de la fibre optique.....	104
V.4.3. L'allocation des intervalles du temps élémentaires IT entre les quatre NE .....	105
V.4.4. La synchronisation du réseau SDH.....	105
V.4.5. L'assignation des adresses IP aux différents équipements Optix 155/622 et la gestion du réseau.....	106
V.4.6. Le processus de configuration des services SDH avec le logiciel T2000.....	106
V.4.6.1. Lancer T2000.....	107
V.4.6.2. Rechercher et créer les éléments du réseau NE .....	108
V.4.6.4. Créer la protection SNCP de sous-réseau.....	109
V.4.6.3. Créer les cartes optiques et électriques installées sur les éléments NE.....	109
V.4.6.5. Configurer la synchronisation de sous-réseau.....	110
V.4.6.6. Configurer les services SDH VC-4 et E1.....	112
V.5. Test des liaisons.....	112
V.5.1. Les liaisons optiques.....	112

V.5.1.1. Le radiomètre.....	112
V.5.1.2. Le réflectomètre.....	113
V.5.2. liaison électrique.....	114
<b><u>Conclusion générale</u></b> .....	115

**Annexes**

**Bibliographie**

# Introduction générale

Les télécommunications sont définies comme la transmission de données à distance avec l'association des deux technologies électronique et informatique. La croissance continue de la demande des services des réseaux de télécommunication fait que l'histoire de ce domaine était et sera toujours une perpétuelle course au débit.

Pendant de nombreuses décennies, le cuivre et la transmission par ondes hertziennes associés à une grande gamme de circuits électroniques appropriés ont constitué les technologies de base qui ont permis de déployer la plus part des réseaux de transmission sur le niveau mondial.

Cependant, les avancées marquées par la technologie optique ont révolutionné le monde des télécommunications. L'amélioration des caractéristiques de transmission de la fibre optique associée à l'amplification optique et les technologies de compensation de dispersion est parmi les plus importants développements qui ont permis la conception des systèmes de transmission SDH à très grande capacité allant de 2.5 Gb/s à 10 Gb/s au maximum.

A l'époque de l'informatisation et de l'internet, le débit de 10 Gb/s fixé comme limite par la technologie à multiplexage temporel ne suffit plus. C'est pourquoi l'introduction d'une autre technologie distinguée par le nom de multiplexage en longueurs d'ondes (WDM) et utilisant le principe de multiplexage fréquentiel est plus que nécessaire. Bien que le principe de cette nouvelle technologie soit relativement simple et ancien, sa réalisation n'a été rendue possible que grâce au développement des émetteurs lasers DFB à spectre étroit et des amplificateurs EDFA fonctionnant dans la même fenêtre de longueurs d'ondes que ces lasers. L'association de toutes ces technologies avec la nouvelle fibre à dispersion décalée G.655 ont permis la réalisation des réseaux de transmission les plus performants à un débit allant de 40 Gb/s jusqu'à quelques Tb/s .

La technologie DWDM permet d'optimiser l'utilisation des fibres optiques et permet l'installation des réseaux backbone haut-débit très performants. Cette nouvelle technique permet, en plus, par sa simplicité de mise en œuvre d'exploiter les systèmes utilisant la fibre G.652 la plus déployée sur les réseaux mondiaux actuels. Pour toutes ces considérations, la majorité des opérateurs publics mondiaux, à l'exemple d'Algérie Telecom, ont adopté cette technologie attractive pour moderniser leurs réseaux nationaux de transport (backbone).

Pour satisfaire le besoin de ses clients, Algérie Telecom se doit en même temps d'installer de nouvelles liaisons SDH, DWDM et d'évoluer les liaisons SDH présentes vers la technologie DWDM aux limites de la fibre G.652.

La première étape avant l'installation de toute nouvelle liaison optique, qu'elle soit SDH ou DWDM, est la détermination des conditions de sa faisabilité, autrement dit son dimensionnement. Le dimensionnement des liaisons optiques (DWDM, SDH) est le calcul de la liaison qui permet de déterminer sa faisabilité sur une longueur considérée et avec une bande passante déterminée, la distance maximum entre les amplificateurs EDFA ainsi qu'entre les modules de compensation de la dispersion (DCM). Cette distance est limitée par :

- Ü L'affaiblissement du signal durant la propagation.
- Ü La diminution de la bande passante le long de la fibre, diminution due à la dispersion totale.

Le travail qui nous est demandé est de dimensionner une nouvelle liaison SDH à un débit de 10 Gb/s reliant Alger-Sétif ayant la particularité de relier par une liaison directe Bejaia à Sétif sans transiter par Annaba contrairement à la liaison déjà présente dans le backbone national 10 GB/s. On veillera aussi à montrer les particularités techniques à prendre en considération lors du

dimensionnement d'une liaison DWDM, les procédures générales étant les mêmes pour les deux technologies.

Algérie Telecom nous a proposé un cahier de charges qui contient toutes les spécifications techniques nécessaires au dimensionnement de la liaison et dont les données les plus importantes sont :

- Ü La liaison Alger-Sétif d'une distance de 366 Km est constituée de sections élémentaires de 3 Km et passe par les trois stations intermédiaires principales suivantes : Boumerdes, Bejaia et Tizi-Ouzou.
- Ü La marge d'exploitation du système est de 5 dB et le taux d'erreur requis est :  $10^{-12}$ .
- Ü La liaison utilisera la fibre monomode SMF28/G.652 et fonctionnera dans la fenêtre 1550 nm.
- Ü L'émetteur optique exploite un Laser DFB et se caractérise par une puissance d'émission de 2 dBm.
- Ü Le récepteur optique exploite une diode PIN et se caractérise par :
  - Ø La puissance minimale de réception : -18 dBm.
  - Ø La puissance maximale (de saturation) : 5 dBm.
- Ü La compensation des pertes se fera par deux types d'amplificateurs EDFA de gains nominaux de : 20 dB, 23 dB et d'une puissance maximale de sortie de : 15 dBm, 21 dBm respectivement.
- Ü La compensation de la dispersion se fera par trois types de modules DCM dont les références et les dispersions négatives introduites sont:
  - Ø DCM-100-SMF-C : -1671 ps/nm.
  - Ø DCM-60-SMF-C : -1340 ps/nm.
  - Ø DCM-20-SMF-C : -337 ps/nm.

Pour ce faire, on abordera notre travail par une introduction aux réseaux et supports de transmission, et on étudiera particulièrement la fibre optique, dans le premier chapitre. Les deux technologies SDH et DWDM ainsi que la démarche de dimensionnement des liaisons DWDM seront exposées dans le deuxième et troisième chapitre.

Le quatrième chapitre sera une description du réseau SDH d'Algérie Telecom et son évolution vers la technologie toute optique DWDM.

Dans le cinquième chapitre, nous allons établir notre dimensionnement et présenter le schéma d'amplification et de compensation de la dispersion qu'on propose pour la liaison Alger-Sétif (10 Gb/s) tout en veillant à présenter le logiciel T2000 qui assure aux ingénieurs d'Algérie Telecom de configurer les services SDH sur les équipements HUAWEI. Finalement, on présentera les différents équipements de maintenance et de mesure exploités par l'entreprise.

# *Chapitre I*

Introduction aux réseaux et supports de  
transmission

## I.1.INTRODUCTION :

Dans notre civilisation de l'information et de la communication, nous devons faire face à une demande de débits de plus en plus importante et à une nécessité de faire chuter les coûts de la communication. La conception des nouveaux réseaux de télécommunication optiques est au cœur de cette problématique. En fait, la demande croissante en services de télécommunication, le transport de données multimédias volumineuses et l'augmentation de l'activité communicante nécessitent des réseaux performants capables de transporter en un temps raisonnable des informations.

## I.2. Les réseaux de télécommunication :

### I.2.1. Définition :

Le réseau de télécommunication est l'ensemble des moyens techniques mis en œuvre pour permettre à deux usagers un échange de données disponible et fiable quelque soit la distance qui les séparent en un délai aussi court que possible et avec un cout raisonnable.

### I.2.2. Le partage des infrastructures de télécommunication :

L'ensemble des liaisons constituées porte le nom de *Réseau Téléphonique public Commuté (RTPC)*. Ce réseau est censé techniquement répondre aux besoins de tous les citoyens de territoire (mission du service public). Il utilise le principe classique de la commutation de circuits. Par le jeu du commutateur local, l'abonné sélectionne son exploitant du réseau. Par ses abonnements, il accède aux différents services vocaux ou de données :

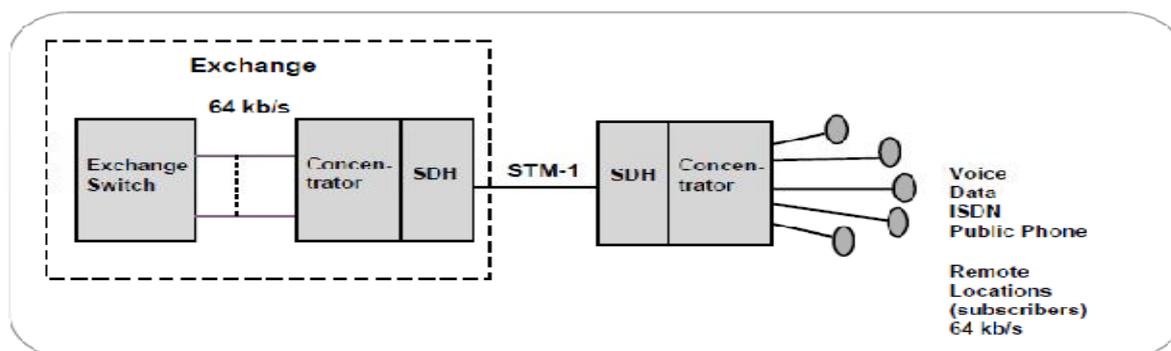


Figure I.1. Les différents services d'un réseau de télécommunication (exploitant la transmission SDH).

### I.2.3. Les types des réseaux de données:

#### I.2.3.1. Le réseau local d'entreprise (LAN) :

Cette expression désigne le réseau informatique de l'entreprise sur lequel sont raccordés sur un bus les terminaux et les serveurs du système d'information de l'entreprise. La norme de LAN la plus fréquente est celle d'Ethernet dont le débit peut être fixé à 10 ou 100 Mb/s, ou 1Gb/s (Gigabit

Ethernet). Il existe aussi des installations en anneau (Token Ring), en protocoles FDDI (Fiber Distributed Data Interface), ou Apple Talk, etc. L'autocommutateur téléphonique de l'entreprise, ou PBX (Private Branch Exchange), est directement raccordé au central téléphonique le plus proche.

### **I.2.3.2. Le réseau d'accès (moins de 10 Km) :**

Le réseau d'accès ou *réseau de distribution* sert à la collecte des flux de trafic des abonnés. La ligne métallique d'abonné est désigné par l'expression *boucle locale*. La paire de cuivre, gérée et entretenue par l'exploitant historique peut servir de support au trafic vocal et au trafic de données d'un quelconque des exploitants titulaires d'une licence d'exploitation appropriée. En cas de raccordement par support radioélectrique, on parle de « boucle locale radio » (WLL, Wireless local loop).

**I.2.3.3. Le réseau de transport :** Selon son étendue et sa zone de couverture, il se divise en :

#### **I.2.3.4.1. Les réseaux MAN (de 10 Km à 500 Km) :**

Déployés entre le dernier autocommutateur à autonomie d'acheminement du réseau longue distance et une zone plus précise (arrondissement, campus, petite ville). La complexité de ce réseau ne se traduit pas uniquement par le haut degré de connectivité. A la différence des réseaux longue distance, les réseaux métropolitains doivent prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers, mêlant les trafics des deux hiérarchies numériques synchrone (SDH) et asynchrone (PDH) et bien d'autres formats de données.

#### **I.2.3.4.2. Les réseaux WAN (plus de 500 Km):**

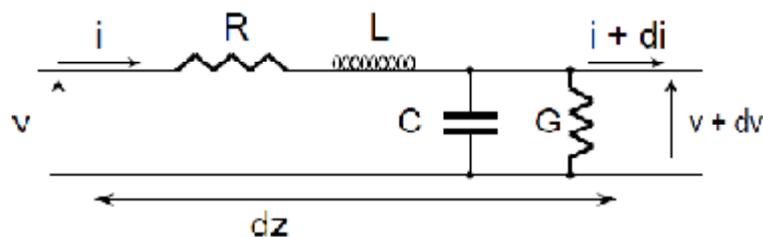
Cette partie du réseau représente la couche supérieure du réseau de télécommunications. Elle est comprise entre deux autocommutateurs à autonomie d'acheminement, qui ont pour rôle d'aiguiller les informations d'une région à une autre, de la zone de l'expéditeur vers celle du destinataire. La transmission de ces informations se fait désormais sur fibre optique à une longueur d'onde de  $1,55\mu\text{m}$  et à un débit élevé qui ne cesse de s'accroître (2,5 Gb/s, 10Gb/s). La fibre optique a permis de gagner en débit et en espacement entre répéteurs par rapport aux systèmes existants, à savoir le câble coaxial (la distance passe typiquement de 2 à 100 km).

## **I.2. Les supports de transmission :**

### **I.2.1. Les caractéristiques communes des supports de transmission :**

#### **I.2.1.1. Modélisation d'une ligne de transmission :**

Un tronçon de longueur « dx » peut être représenté par le circuit électrique suivant :



**Figure I.3. Modélisation d'une ligne de transmission.**

Les éléments R, C, L et G sont appelés paramètres primaires de la ligne :

- En série, une résistance R et une inductance L pour représenter successivement les pertes d'énergie active et réactive dans les conducteurs de la ligne.
- En parallèle, une conductance G et une capacité C pour représenter les pertes d'énergie active et réactive dans le diélectrique de la ligne.

*\*L'impédance caractéristique :*

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + jL\omega}{R + jC\omega}} \quad (\text{B.4})$$

Lorsqu'on est dans la condition de non distorsion ( $L\omega \gg R$ ), l'impédance caractéristique est réelle et constante :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\text{B.4})$$

### I.2.1.2. L'atténuation :

L'atténuation d'un signal est calculée en décibel par :

$$N_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left( \frac{\text{Power}_{\text{out}}}{\text{Power}_{\text{in}}} \right) \quad (\text{B.1})$$

### I.2.1.3. La capacité de transport de données :

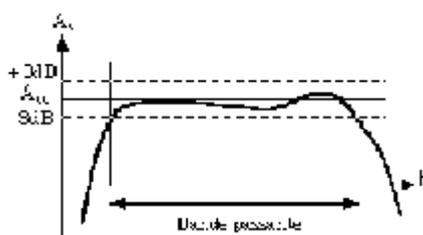
Différents supports physiques prennent en charge le transfert de bits à différentes vitesses. Le transfert de données peut être mesuré de trois manières :

#### I.2.1.3.1. La bande passante :

Physiquement, Elle représente la « zone » du spectre de fréquence de ce signal dans laquelle l'intensité est supérieure à une certaine valeur. Elle s'exprime en Hz par la différence entre la fréquence supérieure et la fréquence inférieure (ou 0).

On peut donc définir la bande passante par la zone de fréquence dans laquelle l'atténuation ne dépasse pas une valeur donnée (ex +/-3dB).

La bande passante numérique mesure la quantité d'informations pouvant circuler d'un emplacement à un autre pendant une période donnée. La bande passante est généralement mesurée en kilobits par seconde (Kbits/s) ou mégabits par seconde (Mbits/s).



**Figure I.4. Illustration de la bande passante par la fonction atténuation-fréquence.**

### I.2.1.3.2. Le débit :

Le débit est la mesure du transfert de bits sur le support pendant une période donnée. Suite à un certain nombre de facteurs, le débit ne correspond généralement pas à la bande passante. En effet, la relation entre le débit ( $D$ ) et la bande passante ( $B_{\text{sys}}$ ) du système est donnée par :

$$B_{\text{sys}}(\text{MHz}) = \eta \times D (\text{Mb/s}) \quad (\text{B.1})$$

Où  $\eta$  est le facteur d'efficacité du code utilisé sur le support de transmission, par exemple :

•  $\eta = 0,7$  pour le code NRZ.

•  $\eta = 1,4$  pour le code CMI.

## I.2.2. Les types des supports de transmission :

On classe généralement les supports en trois catégories, selon leur constitution.

### I.2.2.1. Les supports filaires :

#### I.2.2.1.1. La ligne bifilaire parallèle :

Une ligne bifilaire est composée de deux fils parallèles (conducteurs) qui sont maintenus à une distance constante par un isolant ou une bande en polyéthylène. Du fait que la masse de diélectrique entre les deux conducteurs est faible, la ligne bifilaire a des pertes nettement moins élevées que le câble coaxial, en outre le fil utilisé est généralement de diamètre plus élevé que celui d'un coaxial. La ligne bifilaire peut donc supporter des surtensions locales très élevées (intensité importante) ; c'est pour cela qu'elle est utilisée pour l'alimentation d'antennes à impédance élevée.

#### I.2.2.1.2. Le câble à paire torsadée :

Le câble à paire torsadée est largement diffusé parce qu'il est à l'origine utilisé pour les lignes téléphoniques. Ce support est constitué de deux fils de cuivre isolés et enroulés l'un sur l'autre d'où son nom, ces fils sont torsadés dans le but de maintenir la distance entre les fils et de diminuer les pertes du signal (diaphonie) et les perturbations électromagnétiques, plus le nombre de torsades est important, plus la diaphonie est réduite.

Ce câble se présente sous forme de paires torsadées non blindées dites UTP (Unshielded twisted pair) ou blindées STP (Shielded twisted pair), le câble STP étant plus résistant aux perturbations électromagnétiques et autorise des débits pouvant aller jusqu'à 16 Mbits/s. Les câbles les plus répandus sont constitués de 2 ou 4 paires torsadées. Ce câble est utilisé pour les courtes distances qui ne dépassent pas un kilomètre à des fréquences qui dépassent rarement 150 MHz.

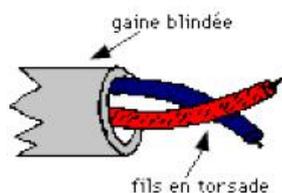


Figure I.5. La paire torsadée blindée.

### I.2.2.1.3. Le câble coaxial :

Le câble coaxial est constitué de deux conducteurs concentriques. Le conducteur intérieur (cœur) en cuivre sert à véhiculer de l'information (onde électromagnétique) sous forme d'un courant ou d'une tension, il est centré à l'aide d'un diélectrique polyvinyle ou téflon assurant son isolation par rapport au conducteur externe. Ce dernier qui est relié à la masse, peut être en Cuivre ou en Aluminium. Il est présenté soit sous forme de ruban enroulé autour de diélectrique, il joue le rôle d'un blindage métallique contre les signaux parasites, le tout est recouvert d'une gaine isolante.

Le câble coaxial est utilisé pour les applications haut-débit et longues distances (100 Mb/s ou STM-1) ou pour les applications analogiques HF sur de longues distances. Selon l'application, on utilise généralement des câbles coaxiaux d'impédance caractéristique de  $50\Omega$  pour connecter les antennes HF (2 GHz) et ceux d'impédance caractéristique de  $75\Omega$  pour les applications TV.

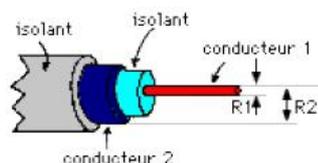


Figure I.6. Le câble coaxial.

### I.2.2.2. Le support aérien :

#### I.2.2.2.1. Les faisceaux hertziens :

Une liaison hertzienne est composée d'un émetteur (modulateur + antenne) qui génère des ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'espace. Une partie de la puissance des ondes émises est captée par le récepteur. Dans les transmissions à haute fréquence, l'émetteur et le récepteur doivent être en visibilité directe et distant de quelques mètres à quelques kilomètres.

Dans le cas d'une transmission à longue distance, le signal émis est amplifié chaque certaine distance par des relais composés d'un récepteur/émetteur pour la réémission du signal. Les liaisons hertziennes sont généralement utilisées dans les zones d'habitats dispersés, ou quand les conditions géographiques l'exigent (montagne, reliefs, etc.).

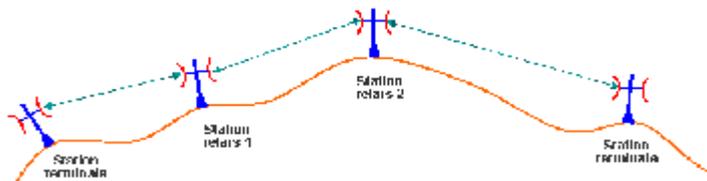


Figure I.7. La liaison hertzienne.

**\*Les caractéristiques :**

- Ü Fréquence porteuse comprise entre 1 et 40 GHz.
- Ü Utilisation d'antennes directives. (Yagi, parabole).
- Ü Portée variant de 10 à 60 km.
- Ü La bande de fréquence 7 à 11 GHz.

Enfin, on note qu'il y a deux types de faisceaux hertziens : analogique et numérique. Les liaisons hertziennes analogiques rendent difficile (voire impossible) la satisfaction des nouveaux besoins en services de télécommunication. Cependant les faisceaux hertziens numériques (FHN) sont utilisés dans de nombreuses applications, depuis le transport des signaux de téléphonie et de télévision jusqu'au transport d'une grande variété des signaux de données modernes. La capacité d'un faisceau hertzien numérique peut aller du débit d'un seul signal DS1 (1,54 Mbit/s) jusqu'à 1 000 Mbit/s.

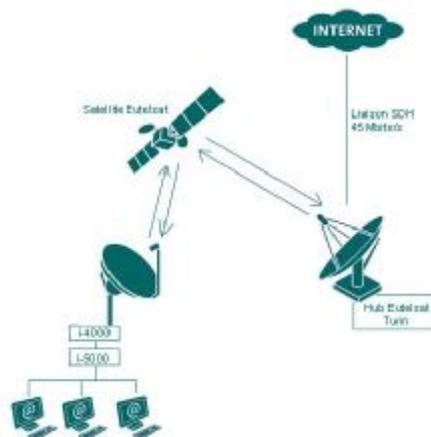
**I.2.2.2. La transmission par satellite :**

Les liaisons satellites utilisent les mêmes bandes de fréquences que les liaisons hertziennes. Les satellites permettent de réduire le nombre de points hertziens grâce à leur grande couverture, ils sont utilisés en télécommunication pour les liaisons intercontinentales et nationales pour les applications nécessitant la couverture de grandes zones géographiques telles que le GPS, La télévision par satellite, la téléphonie mobile etc.

Le temps que met une onde pour atteindre le satellite est de 0.12 secondes ; durée qui n'est pas négligeable et qui peut perturber une communication téléphonique.

Suivant l'orbite dans laquelle se situe le satellite, il est possible de définir trois grandes catégories de satellite :

- Ü Les satellites LEO (Low Earth Orbit) : Ils sont situés sur une orbite se situant entre 500 à 2000 Km.
- Ü Les satellites MEO (Medium Earth Orbit) : Ils sont situés sur une orbite se situant entre 5000 et 20000 Km.
- Ü Les satellites GEO (Geosynchronous Earth Orbit) : Ils sont situés sur une orbite à 36600 Km.



**Figure I.8. Une liaison satellitaire.**

### I.2.2.3. Les supports optiques :

#### I.2.2.3.1. La liaison optique à l'air libre :

Elle est composée d'un émetteur, généralement un Laser, qui émet un faisceau lumineux et d'un photodétecteur qui forme le récepteur. Cette liaison est utilisée pour les courtes distances, par exemple pour une liaison entre deux ordinateurs.

#### I.2.2.3.2. La fibre optique :

Une fibre optique est un guide d'onde diélectrique cylindrique qui possède généralement une symétrie de révolution. Une fibre est constituée par deux couches de matériaux transparents à base de silice appelées le cœur, d'indice de réfraction  $n_1$ , et la gaine optique qui entoure le cœur, d'indice  $n_2$ . L'indice  $n_1$  est supérieur à  $n_2$ . 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.

Une fibre a des dimensions de l'ordre de la centaine de micromètre. Le diamètre de la gaine est en général de 125  $\mu\text{m}$  mais peut aussi être de 140  $\mu\text{m}$  (cas de certaines fibres multimodes). Le rayon  $a$  de cœur, quant à lui, varie de 1 à 100  $\mu\text{m}$ .

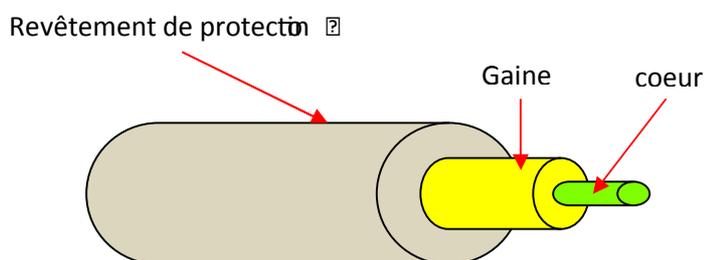


Figure I.9. Constitution générale d'une fibre optique

### I.3. La propagation dans les fibres optiques :

La propagation des ondes dans les fibres optiques peut s'étudier à l'aide de deux théories différentes :

- La théorie de Maxwell.
- La théorie de l'optique géométrique.

Les notions et résultats les plus importants de ces deux théories sont cités ci-dessous :

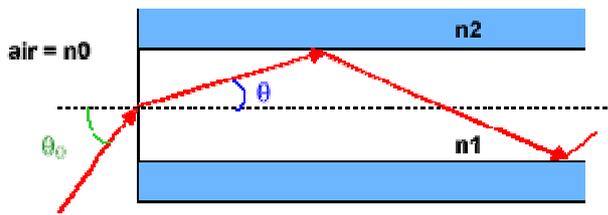
#### I.3.1. L'indice de Réfraction :

On définit les milieux constituant la fibre optique (cœur, gaine) par l'indice de réfraction  $n$ .

$$n = \sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r} \quad (\text{B.1})$$

- $\epsilon_r$  : La permittivité.
- $\mu_r$  : La perméabilité.

### I.3.2. L'Ouverture Numérique :



L'ouverture numérique (ON) caractérise l'angle maximum  $\theta_0$  (Angle d'acceptance) que peut faire un rayon lumineux avec l'axe de la fibre pour assurer une propagation par réflexions totales sur l'interface cœur-gaine.

Figure I.10. Propagation d'un rayon injecté avec un angle égal à l'angle d'acceptance.

$$ON = \sin q_0 = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} \quad (\text{B.1})$$

Dans le cas où le milieu extérieur est constitué d'air ( $n_0 = 1$ ) l'ouverture numérique s'écrit :

$$ON = \sin q_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (\text{B.1})$$

### I.3.3. L'équation de propagation et types des fibres optiques :

L'onde optique est une onde électromagnétique caractérisée par les deux champs électrique et magnétique et une direction de propagation. Une fonction sinusoïdale décrit la forme la plus simple de l'équation de propagation dans le temps et dans l'espace. Pour une onde plane qui se propage en direction  $z$  la déviation a vaut:

$$a = A \sin(\omega t - kz) = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda} \right) \quad (\text{B.1})$$

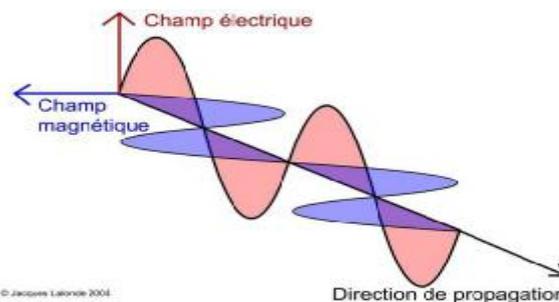


Figure I.11. Propagation de l'onde électromagnétique (optique).

Le milieu constituant la fibre (Silice) est un milieu linéaire, isotrope dans lequel aucune densité de courant et densité de charge n'existe. La solution générale des équations de Maxwell pour une onde électrique  $E$  (même solution pour le champ magnétique  $H$ ) qui se propage dans un tel milieu est donnée par :

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu \epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (\text{B.1})$$

La solution exacte des équations de Maxwell pour une fibre à saut d'indice permet la détermination d'une fréquence normalisée :

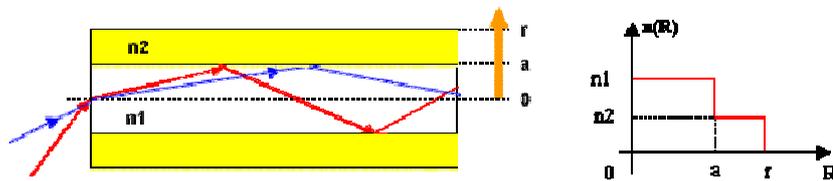
$$f = \frac{2p}{l} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \tag{B.1}$$

- Pour  $f < 2.405$  : La fibre ne comporte qu'un mode de propagation, elle est appelée fibre monomode.
- Pour  $f \gg 2.405$  : La fibre est appelée multimode et se divise en deux sous catégories :
  - Ø Fibre multimode à saut d'indice.
  - Ø Fibre multimode à gradient d'indice.

**I.3.3.1. Fibre Optique Multimode à Saut d'Indice :**

Dans ce type de fibres, le cœur est homogène, son diamètre est grand devant la longueur d'onde, et son indice de réfraction est donné par :

$$n(r) = \begin{cases} n_1 & \text{Si } r < a \text{ (cœur)} \\ n_2 & \text{Si } r \geq a \text{ (gaine)} \end{cases} \tag{B.1}$$

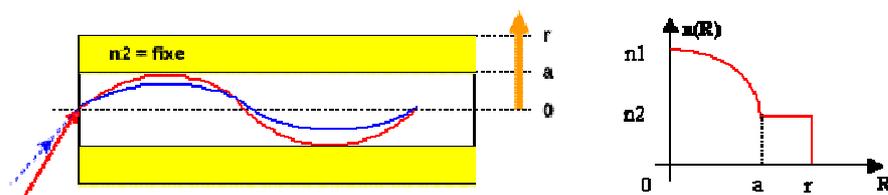


**Figure I.12. Propagation des ondes dans une fibre optique multimode à saut d'indice.**

Le guidage de la lumière se fait suivant des lignes brisées. Cette fibre génère une grande dispersion des signaux et donc une déformation du signal reçu.

**I.3.3.2. Fibre Optique Multimode à Gradient d'Indice :**

La gaine possède un indice de réfraction progressif, celui de l'âme est plus grand que celui de la périphérie, le faisceau lumineux suit une trajectoire d'allure curviligne. Le faisceau lumineux change de direction moins brusquement lors du rebond ce qui diminue les pertes.



**Figure I.13. Propagation des ondes dans une fibre optique multimode à gradient d'indice.**

Expression de  $n$  en fonction de  $r$  :

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \sqrt{1 - 2\Delta (r/a)^\alpha} & \text{Si } r < a \text{ (cœur)} \\ n_1 \sqrt{1 - 2\Delta} = n_2 & \end{cases} \quad (\text{B.1})$$

- $a$  = rayon du cœur de la fibre optique.
- $\alpha$  = paramètre de profil d'indice.

### I.3.3.3. Fibre Optique Monomode :

Le diamètre du cœur est inférieur à  $10\mu\text{m}$  de telle sorte que le parcours de la lumière devient presque longitudinal. Le diamètre de la gaine est compris entre  $50\text{ mm}$  et  $125\text{ mm}$ . Ce type de fibre nécessite une source de lumière quasiment monochromatique (Diode Laser).

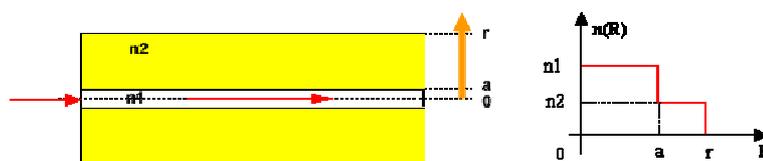


Figure I.14. Propagation du mode fondamental dans une fibre monomode à saut d'indice.

## I.4. Limitations des transmissions à fibres optiques :

### I.4.1. L'atténuation :

L'atténuation dans les fibres optiques résulte de plusieurs mécanismes :

ü Pertes intrinsèques : dépendent de la nature physico chimique de la fibre optique.

- Ø Pertes par absorption moléculaire : elles sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et les impuretés contenus dans celle-ci.
- Ø La disposition inhomogène des molécules de  $\text{SiO}_2$  résulte dans une fluctuation de l'indice de réfraction. L'atténuation produite par ce phénomène (diffusion Rayleigh) est donnée par :

$$a_{\text{Ray}}(\text{dB}) = 10 \log [\exp(g_R)] \quad (\text{B.1})$$

; Avec :  $g_R$  : coefficient de diffusion de Rayleigh, dépend des matériaux ( $\text{m}^{-1}$ ). Dans le Cas de la silice  $\text{SiO}_2$  :  $g_R (\text{m}^{-1}) = 1,895 \cdot 10^{-28} / l^4$

ü Pertes extrinsèques : dépendent du couplage fibre-fibre ou fibre-composants.

- Ø Les pertes dues aux conditions d'utilisation des fibres. Toute courbure trop serrée crée des pertes par rayonnement.

- Ø Les microcourbures sont des courbures très faibles, mais répétées et pratiquement incontrôlables, dues au conditionnement des fibres dans les câbles.
- Ø Les fibres sont toujours utilisées par tronçons de longueur finie, raccordés entre eux. Chaque jonction peut provoquer une perte de raccordement.

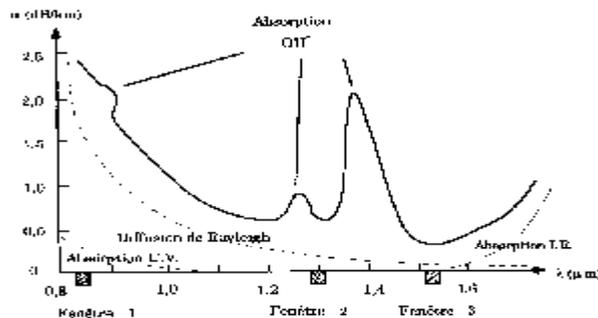


Figure I.15. Caractéristique d'atténuation typique d'une fibre optique.

## I.4.2. La dispersion :

### I.4.2.1. Les types de dispersion :

La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal et cause un élargissement des impulsions au cours de leur propagation dans la fibre optique. Il existe trois types de dispersion :

#### I.4.2.1.1. La dispersion chromatique :

Ce type de dispersion provient de la largeur spectrale non nulle des sources optiques et apparaît dans les fibres à base de Silice. La dispersion chromatique résulte de la différence de vitesse de groupe des différentes composantes spectrales du signal à transmettre. Le caractère dispersif est lié au fait que la silice ( $\text{SiO}_2$ ) possède un indice de réfraction qui est fonction de la longueur d'onde.

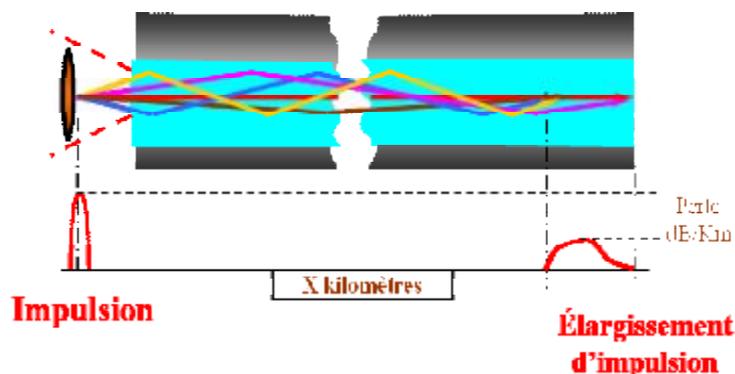


Figure I.16. Dispersion chromatique

### I.4.2.1.2. La dispersion modale:

L'énergie lumineuse transmise dans une fibre optique multimode se répartit entre les différents modes (trajectoires différentes) qui se propagent dans le cœur. L'ensemble des retards entre les différents rayons composant le signal lumineux détermine en réception une distorsion du signal électrique obtenu par le convertisseur optique - électrique ; cette distorsion est la Dispersion Modale.

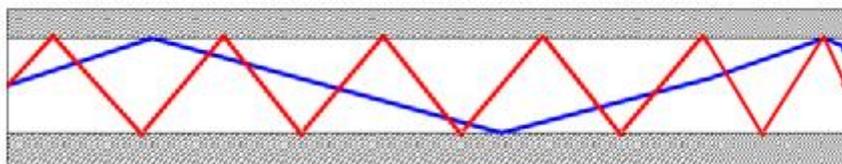


Figure I.17. Dispersion modale

### I.4.2.1.3. La dispersion de polarisation :

Une fibre monomodale au sens où on l'entend habituellement autorise la propagation d'un seul mode, mais ce mode est dégénéré, c'est-à-dire qu'il peut se décomposer en deux modes de base indépendants ayant des polarisations orthogonales.

L'ellipticité (une fibre réelle n'est jamais parfaitement circulaire), ainsi que les contraintes extérieures entraînent une biréfringence dont les axes changent de manière aléatoire le long de la fibre. Il en résulte un couplage entre les deux modes de base, si bien que lorsqu'une impulsion est envoyée dans la fibre, deux impulsions séparées par un retard aléatoire sont reçues à l'extrémité, donnant lieu à un phénomène d'écho, générateur d'interférence entre symboles.

Des évaluations de la sensibilité des systèmes à la dispersion modale de polarisation ont été effectuées : une valeur maximale de un dixième du temps symbole en codage NRZ a été avancée comme la limite à ne pas dépasser. Les progrès récents dans les procédés de fabrication des fibres conduisent des valeurs de dispersion modale de polarisation inférieures à  $0,2 \text{ ps} / \sqrt{Km}$ .

La PMD affecte les transmissions par fibre et devient gênante pour des communications à 10 Gb/s se propageant sur plus de 200 km. Elle peut néanmoins être compensée au premier ordre par un traitement électrique du signal.

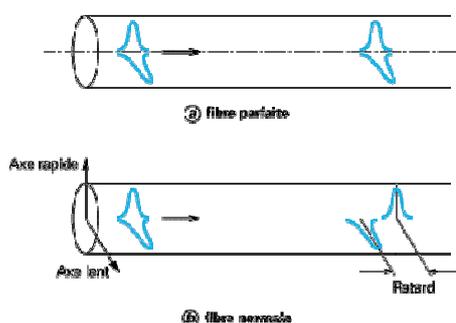


Figure I.18. Illustration des effets de la dispersion modale de polarisation (PMD)

### I.4.3. La bande passante :

La bande passante est un des paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique. La définition de la bande passante totale ( $B_T$ ) qui dépend de l'effet conjonctif des deux phénomènes de dispersion modale et chromatique, permettra de stabiliser la fréquence maximale transmissible en ligne. La bande totale est définie par l'expression :

$$B_T = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{B_m^2} + \frac{1}{B_c^2}}} \quad (B.1)$$

\*  $B_M$  : bande résultante de la dispersion modale.

\*  $B_C$  : bande dérivante de la dispersion chromatique.

- Dans la fibre multimode la bande passante totale dépend uniquement de la bande modale :

$$B_T = B_M$$

- Dans la fibre monomode la bande totale est déterminée uniquement par la bande chromatique :

$$B_T = B_C$$

#### I.4.3.1. La bande modale :

La valeur de la bande modale normalement référencée à 1000 m de longueur notée  $B_{m_0}$  est donnée par le constructeur. Pour calculer la bande modale ( $B_m$ ) d'une liaison en fibre optique on doit appliquer la relation :  $B_m = \frac{B_{m_0}}{L^g}$  (B.1)

\*  $B_{m_0}$  : Bande modale par unité de longueur.

\*  $L$  : Longueur de la liaison fibre optique.

\* : Facteur de concaténation des modes renseigne sur le degré de couplage.

#### I.4.3.2. La bande chromatique :

La dispersion chromatique est d'autant plus importante que la largeur du spectre lumineux de la source est plus large. Pour cela on doit tenir compte dans le calcul de la bande chromatique  $B_c$ .

$$B_c = \frac{1}{2 \times M \times L \times \Delta\lambda} \quad (B.1)$$

\*  $\Delta\lambda$  : Largeur spectrale de la source à -3 dB.

\*  $L$  : longueur de la liaison FO

\*  $M$  : Coefficient de dispersion chromatique.

#### I.4.4. Les effets non-linéaires dans la fibre optique :

Les interactions non linéaires entre le signal et le support de transmission de la fibre de silice commencent à apparaître à mesure que les puissances du signal optique sont augmentées pour atteindre des distances élevées entre les régénérateurs à des débits élevés.

Ces non-linéarités peuvent être en général classifiées en :

- **effets de diffusion** : effet de diffusion Brillouin stimulée et effet de diffusion Raman stimulée.
- **effets liés à la variation de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité optique du signal** : modulation autophase, modulation transphase, et mélange de quatre ondes.

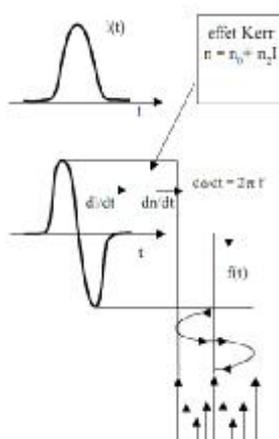
##### I.4.4.1. Modulation autophase (SPM) :

###### I.4.4.1.1. Description des effets :

Etant donné que l'indice de réfraction d'une fibre dépend de l'intensité optique du signal, la variation temporelle de l'intensité optique du signal induit une modulation de sa propre phase. Cet effet est appelé modulation autophase (SPM). On peut exprimer l'indice de réfraction de la fibre comme suit:

$$n = n_0 + \frac{n_2}{A_{eff}} P \quad \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{n_2}{A_{eff}} \frac{\partial P}{\partial t} \quad (\text{B.2})$$

Où  $n_2$  est l'indice de réfraction non linéaire de la fibre en  $\text{m}^3/\text{W}$ ,  $A_{eff}$  est la surface effective de la fibre et  $P$  est la puissance injectée.



**Figure I.19. Mécanisme d'élargissement spectral dû à la modulation autophase.**

Le résultat est un glissement vers les longueurs d'onde plus courtes, au front arrière du signal, aussi bien qu'un glissement vers les longueurs d'onde plus grandes, au front avant, du signal. Les glissements de longueur d'onde provoqués par la SPM sont exactement l'opposé de la dispersion chromatique. Dans la conception des réseaux DWDM modernes, la SPM peut être utilisée pour compenser en partie les effets de la dispersion chromatique.

**I.4.4.1.2. Minimisations des limitations induites :**

- Û Pour les systèmes de moins de 1000 km environ, la modulation autophase peut être contrôlée par l'implémentation d'une compensation de dispersion à des intervalles adaptés le long d'un système à fibres G.652.
- Û Les effets de la modulation autophase peuvent être atténués par un fonctionnement à des longueurs d'onde supérieures à la longueur d'onde de dispersion nulle de la fibre G.655.
- Û Pour tous les types de fibre, on peut réduire les effets de la modulation autophase en diminuant les puissances injectées dans les canaux.

**I.4.4.2. Modulation transphase (XPM) :****I.4.4.2.1. Description des effets :**

Il s'agit de l'effet qu'a un signal dans un canal sur la phase d'un autre signal. La XPM se produit également comme un résultat de l'effet Kerr (comme la SPM) mais ne survenant uniquement que lors de la transmission de canaux multiples sur la même fibre. Une fois que l'élargissement spectral est produit par la modulation transphase, le signal subit un élargissement temporel plus grand à mesure qu'il se propage le long de la fibre en raison des effets de la dispersion chromatique.

**I.4.4.2.2. Minimisation des limitations induites :**

- Û La modulation transphase peut être contrôlée par une sélection appropriée de l'espacement entre les canaux. Il a été démontré que des espacements de canaux de 100 GHz étaient suffisants pour réduire l'effet de modulation transphase dans un système avec une puissance de 5 mW par canal.
- Û Les pénalités de la dispersion dues à la modulation transphase peuvent également être contrôlées par l'implémentation d'une compensation de la dispersion à des intervalles appropriés le long du système.

**I.4.4.3. Mélange de quatre ondes :****I.4.4.3.1. Description des effets :**

Il s'agit d'un phénomène d'interférence produisant des signaux non désirés à partir de trois fréquences ( $f_{xyz} = f_x + f_y - f_z$ ) de signal connus comme des canaux fantômes. Il y a un nombre de voies dans lesquelles les canaux peuvent se combiner pour former un nouveau canal en fonction du graphique ci-dessus.

Avec des niveaux de puissance élevés, l'effet FWM produit un nombre de canaux fantômes (certains d'entre eux chevauchent les canaux réels) dépendant du nombre de signaux réels. Par exemple, un système à quatre canaux produira 24 canaux fantômes et un système à 16 canaux produira 1920 canaux non désirés. Le FWM est un des effets non linéaires les plus défavorables dans les systèmes DWDM.

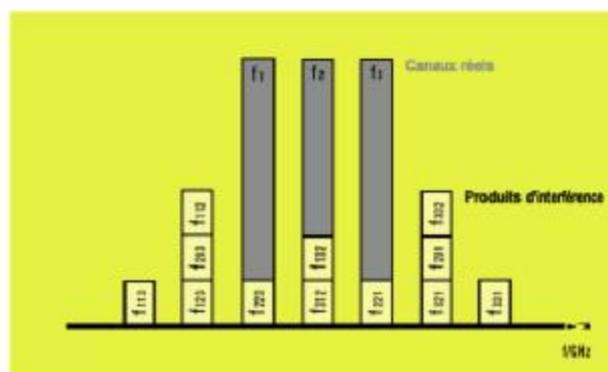


Figure I.20. Produits de FWM résultant du mélange de quatre ondes pour trois signaux

#### I.4.4.3.2. Minimisation des limitations induites :

- ü Une dispersion chromatique telle que celle des fibres G.652 et G.655, peut être utilisée pour supprimer la génération des bandes latérales du mélange de quatre ondes.
- ü La transmission dans la bande de longueurs d'onde élevées (bande L) est généralement utile pour tous les types de fibre étant donné qu'elle permet d'augmenter le nombre total de longueurs d'onde. La transmission dans la bande L sur une fibre G.652 peut nécessiter une compensation de la dispersion en raison des grandes valeurs de dispersion.

#### I.4.4.4. Diffusion Brillouin stimulée :

##### I.4.4.4.1. Description des effets :

Dans un système à modulation d'intensité utilisant une source à faible largeur de raie, une puissance optique importante est transférée du signal se propageant vers l'avant au signal se propageant vers l'arrière quand le seuil de diffusion Brillouin stimulée (SBS) est dépassé.

Les études ont démontré que le seuil de diffusion SBS pouvait varier entre les types de fibre et même parmi les fibres elles-mêmes, ce seuil est généralement d'environ 5 à 10 mW pour les sources modulées de façon externe, avec une faible largeur de raie, mais peut être de 20 à 30 mW pour les lasers à modulation directe. Le seuil de diffusion SBS pour un système à fibres G.653 est légèrement plus faible que pour un système à fibres G.652, car la surface effective des fibres G.653 est plus petite. Ceci est généralement vrai pour tous les effets non linéaires. Le seuil de diffusion SBS est sensible à la largeur de raie de la source et au niveau de puissance. Il est indépendant du nombre de canaux.

Si la largeur de raie de la lumière est petite par rapport à la largeur de bande Brillouin, le seuil de diffusion SBS peut être estimé en utilisant la relation suivante:

$$P_{th} = 21 \frac{KA_{eff}}{gL_{eff}} \quad (B.2)$$

Avec,  $A_{eff}$  la surface effective de la fibre et  $L_{eff}$  désigne la longueur effective définie par:

$$L_{eff} = \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha} \quad (B.2)$$

où  $\alpha$  est le coefficient d'atténuation de la fibre et  $L$  la longueur de la fibre.

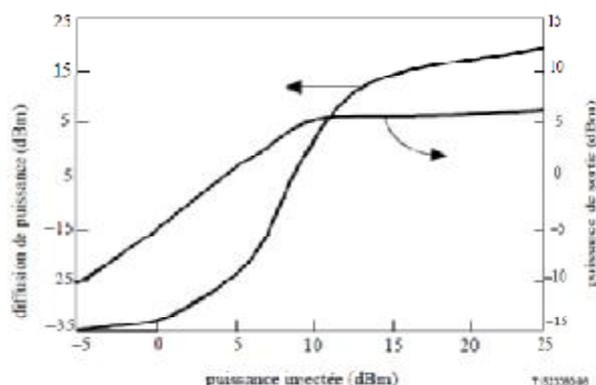


Figure I.21. Effet de diffusion Brillouin stimulée pour une source à bande étroite

#### I.4.4.2. Minimisation des limitations induites :

Les dégradations dues à la diffusion Brillouin stimulée (SBS) ne se produisent pas dans les systèmes pour lesquels la largeur de raie de la source dépasse nettement la largeur de bande Brillouin ou pour lesquels la puissance du signal est inférieure à la puissance seuil.

## I.5. Le multiplexage :

### I.5.1. Définition :

Le multiplexage est l'opération qui permet d'envoyer sur un seul support de transmission  $N$  signaux d'origines diverses de débit  $D$  équivalent en terme de capacité à un signal d'un débit  $N \cdot D$ . Pour conserver l'intégrité de chaque signal sur le canal, le multiplexage introduit, entre les signaux, une séparation temporelle, spatiale ou fréquentielle.

### I.5.2. Le multiplexage temporel (TDM) :

Les utilisateurs se partagent le canal en temps. Le temps est découpé en intervalles de longueur fixe appelé IT (Intervalles de temps). Périodiquement, chaque utilisateur peut émettre une partie de son message. Pour émettre la suite de son message chaque utilisateur doit attendre une période afin que l'intervalle de temps qui lui a été attribué soit à nouveau disponible. Les éléments de message de chaque voie sont mémorisés dans des trames tampon puis transmis séquentiellement sur la voie composite. Ces éléments sont ensuite assemblés pour former la trame multiplexée. L'émetteur n'émet donc pas en continu, mais les messages sont compressés et insérés dans l'IT alloué.

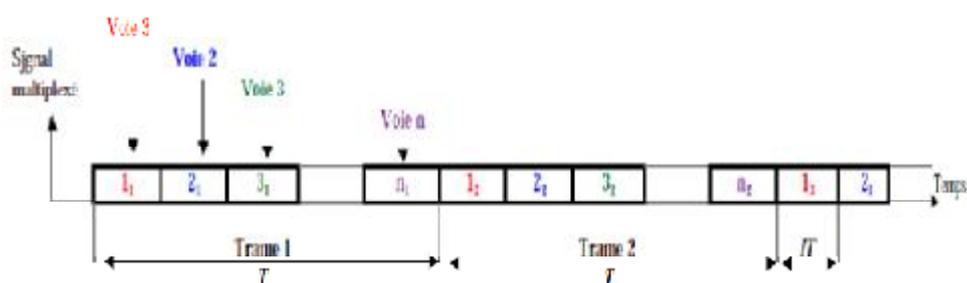
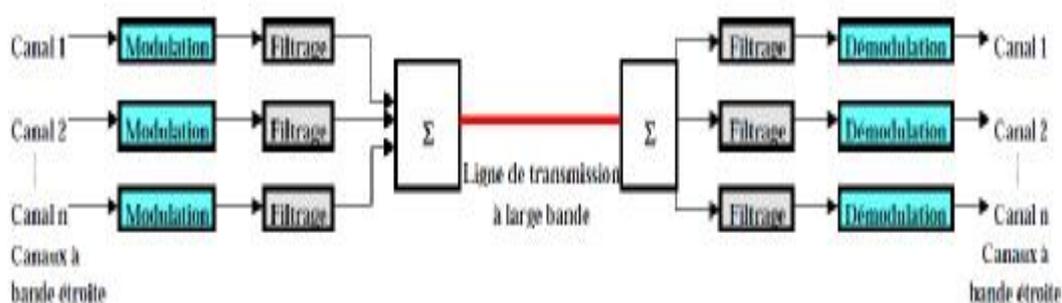


Figure I.22. Le principe du multiplexage temporel.

### I.5.3. Le multiplexage fréquentiel FDM :

La technique de multiplexage en fréquence consiste à partager la bande de fréquence du support de transmission en différents canaux caractérisés par des fréquences différentes. La modulation associée permet de positionner chaque canal dans la bande passante de la ligne, en pratique pour limiter les interférences, une bande de garde est nécessaire entre chaque deux bandes de fréquences adjacentes de la ligne.

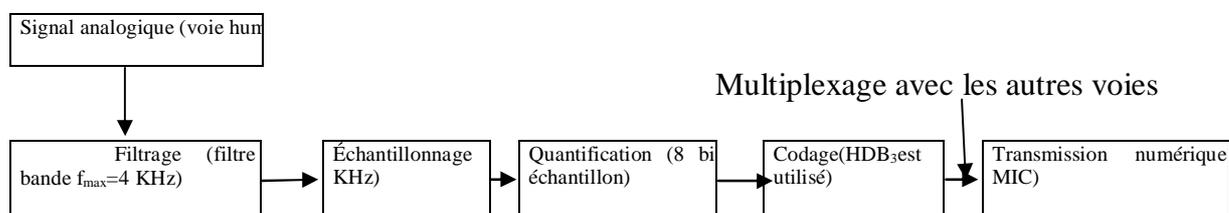


*Principe du multiplexage en fréquence*

**Figure I.23. Le principe de multiplexage fréquentiel.**

### I.6. La trame MIC et les étapes de la numérisation :

La trame MIC (Modulation par Impulsions Codées) a été développée pour la commutation temporelle de voies téléphoniques numérisées. Elle permet de multiplexer, sur une même paire, 30 voies téléphoniques numérisées un débit 64Kbit/s chacune. On décrira ci-dessous les différentes étapes de la numérisation MIC (faite par un Convertisseur Analogique-Numérique ou CAN) du signal analogique (voix humaine) tout en rappelant qu'une voix MIC peut être utilisée pour le transport de tout type de données :



*Figure I.24. Les étapes de la numérisation MIC.*

#### I.6.1. Les étapes générales de la numérisation :

##### I.6.1.1. Le filtrage :

La bande passante nécessaire pour transmettre la voix humaine pour qu'elle puisse être correctement comprise est : 300 - 3400 Hz. Avant l'échantillonnage et la numérisation, le signal BF traverse un filtre passe-bas qui limite la fréquence du signal à 4000 Hz.

**I.6.1.2. L'échantillonnage :**

L'échantillonnage consiste à ne transmettre que les valeurs instantanées du signal prises à des instants (intervalles) réguliers appelés périodes d'échantillonnage. Le théorème de Shannon montre en se basant sur les caractéristiques de la convolution qu'on ne peut pas reconstituer correctement le signal origine si la fréquence d'échantillonnage n'est pas supérieure à 2 fois la fréquence supérieure du signal à transmettre :  $F_e \geq 2f_{\max}$  (pour la trame MIC  $F_e$  est de 8000 Hz).

**I.6.1.3. La quantification :**

La transmission des impulsions modulées sont très sensible aux bruits, ce qui rend la reconstitution du signal à la réception incomplète. Pour cette raison, nous quantifions le signal en faisant correspondre à chaque échantillon l'amplitude la plus voisine d'une suite discrète et finie d'amplitudes « étalons » appelées « niveaux ». C'est la valeur de ces niveaux qui, à l'émission, après codage seront transmises en ligne. Après codage, on disposera de 256 plages, soit 256 mots de 8 bits. Il y a 128 plages de niveaux positifs et 128 plages de niveaux négatifs.

Dans une quantification dite linéaire, la largeur des plages est identique pour tous les niveaux. Dans une quantification non linéaire, la largeur des plages est variable selon le niveau du signal.

**I.6.1.4. Le codage :**

A chaque échantillon étalon est affecté un numéro binaire. Le codage d'un échantillon se fait sur un octet (8 bits) dont le premier est affecté au signe de l'échantillon et les sept bits suivants servent à coder son amplitude.

Pour une fréquence d'échantillonnage  $F_e = 8\text{KHz}$ , on obtient 8000 échantillons par seconde. Sachant que chaque échantillon est codé sur 8 bits, le signal numérique résultant est transmis à un débit :  $D = 8000(\text{Hz}) * 8(\text{bits}) = 64\text{Kbit/s}$ .

**I.6.2. La norme européenne : Multiplexage vers la trame MIC primaire (E1) à 2048 Kb/s**

Une fois que l'échantillon est codé, il peut être envoyé. Un nouvel échantillon peut, alors, être échantillonné, compressé et quantifié. L'ensemble de ces opérations doit, cependant, être limité dans le temps. En effet puisqu'on échantillonne les 32 voies (norme européenne) de 8 bits sur une fréquence de 8000 Hz, la durée des mots de 8 bits codant l'échantillon est de 125  $\mu\text{s}$ , donc la durée d'échantillon d'une voie est de 3,9  $\mu\text{s}$ , cette durée est appelée intervalle de temps (IT) ou bien Time Slot (TS).

**I.6.2.1. Constitution de la trame :**

Dans une trame nous avons 30 IT d'information ou 30 mots de 8 bits à transmettre en 125 microsecondes. A la réception, pour diriger sur chaque voie les mots qui lui appartiennent, il est indispensable de posséder une référence ; à cet effet, un intervalle de temps supplémentaire placé en début de chaque trame (IT 0) permet de transmettre un mot de Verrouillage de Trame (VT). Comme une communication téléphonique ne se conçoit pas sans signalisation. Un IT supplémentaire de signalisation est placé au milieu de la trame (IT 16). Les autres IT sont utilisés pour le transport de données utilisateurs. Finalement la trame contient 32 IT de 8 bits chacun pour une durée de 125 microsecondes. Le débit numérique est donc de 32 voies à 64 kb/s soit 2 048 kb/s.

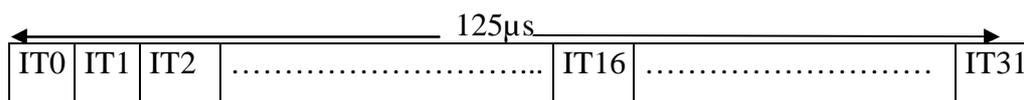
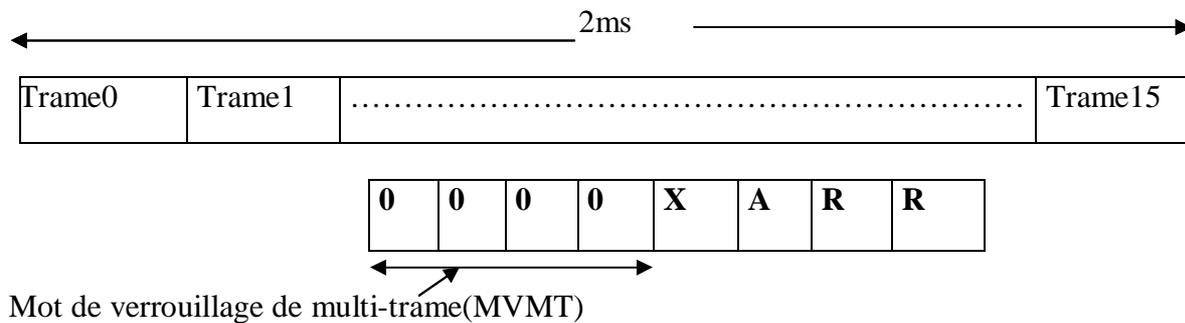


Figure I.25. Structure d'une trame MIC à 32 voies.

**I.6.2.2. Signalisation (IT16) et multi-trame :**

L'IT16 contient des informations de signalisation supplémentaires. En effet, il est nécessaire de transmettre les informations sur l'activité des 30 voies. Si une voie n'est pas utilisée parce que le téléphone est raccroché à la fin d'une conversation par exemple, il est utile de signaler cet état.

L'IT16 ne contient que 8 bits, ce qui est insuffisant pour signaler l'état des 30 voies. Il est donc nécessaire d'utiliser plusieurs IT16 successifs dans plusieurs trames successives. Il a été choisi arbitrairement 4 bits pour transmettre l'état de chacune des voies. Par conséquent l'IT16 (8 bits) ne peut transmettre que l'état de deux voies à la fois. Il faudra donc attendre que 15 trames soient transmises pour que l'ensemble des états des 30 voies soient complètement signalés. En pratique 16 trames sont utilisées, et forment une « multi-trame ». La durée d'une multi-trame est donc :  $125 \times 16 = 2$  ms.



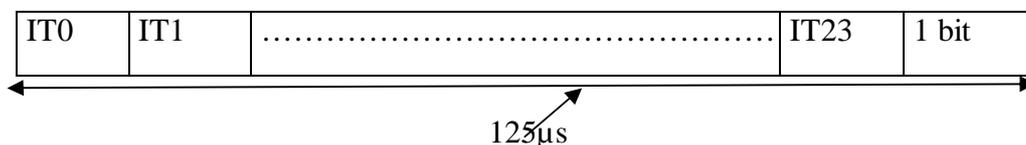
**Figure I.26. Structure et mot de verrouillage d'une multi-trame.**

**ü IT16 de la trame « 0 » :**

- ✓ Les bits n° 1 à 4 forment le mot de verrouillage de trame.
- ✓ Le bit « X » est dit bit de Réserve internationale n°3.
- ✓ Le bit « A » est utilisé pour l'alarme en cas de perte de MVMT : mis à zéro en cas d'absence d'alarme.
- ✓ Les bits « R » sont en réserve.

**I.6.3. La norme Américaine : Multiplexage vers la trame MIC primaire (T1) à 1544 Kb/s :**

Dans ce cas la trame de période de  $125\mu s$  est constituée de 193 bits. Le premier bit de la trame sert au verrouillage de la trame et aux données d'exploitation. Les 192 bits suivants portent 24 (IT) affectés à la transmission de 24 canaux à 64 Kb/s. Sachant que chaque intervalle du temps (IT) représente un échantillon d'une voie de communication codé sur 8 bits, en plus le premier bit de verrouillage, alors on aboutit à l'émission de 193 bits durant  $125 \mu s$ .



**Figure I.27. Structure de la trame MIC primaire de débit de 1544 Kb/s.**

#### I.6.4. Comparaison des deux normes Européenne et Américaine :

	Système Européen	Système Américain
Fréquence d'échantillonnage	$F_e=8$ KHz	$F_e = 8$ KHz
Nombre de niveaux de quantifica	$q = 256$	$q = 256$
Nombre de bits par échantillon	8 bits	8 bits
Débit binaire par voie	64 Kb/s	64 Kb/s
Nombre d'intervalles de temps	32	24
Nombre de voies	30	24
Nombre de bits/ trame	$32 \times 8 = 256$	$24 \times 8 + 1 = 193$
Durée de l'intervalle du temps	$3,9 \mu s$	$5,2 \mu s$
Débit binaire total	$256 \times 8 = 2,048$ Mb/s	$193 \times 8 \text{KHz} = 1,544$ Mb/s.

**Tableau I.1. Comparaison des deux normes européenne et américaine.**

### I.7. Le multiplexage synchrone SDH et SONET :

#### I.7.1. La hiérarchie SDH :

La hiérarchie numérique synchrone (SDH : Synchronous Digital Hierarchy) a été développée dans le but essentiel de construire un réseau unique afin de faciliter l'interconnexion des différents réseaux de transmission à travers le monde entier, et pour répondre aux besoins croissants des services et applications en terme de bande passante. Le tableau suivant présente les différents débits définis par la hiérarchie SDH :

STM : Synchronous Transport Module

Niveau SDH	Débit correspondant en Kbit/s
STM - 1	155.520
STM - 4	622.080
STM - 16	2.488.320
STM - 64	9.953.280

**Tableau I.2. Les débits normalisés de la hiérarchie SDH.**

#### I.7.2. La hiérarchie SONET :

La hiérarchie SONET (Synchronous Optical Network) a été conçue en 1986 par BELL Lab, elle est utilisée en Amérique du nord. La trame de base définie par cette hiérarchie est le OC-1 (Optical Container) au débit de 51.84 Mbit/s. un réseau SONET supporte les débits plésiochrones américains. Le tableau suivant présente les différents débits définis par la hiérarchie SONET.

STS : Synchronous Transport Signal

Niveau SONET	Débit correspondant en Kbit/s
STS - 1	51.840
STS - 3	155.520
STS - 12	622.080
STS - 48	2.488.320

**Tableau I.3. Les débits normalisés de la hiérarchie SONET.**

### **I.8. La technique de multiplexage WDM :**

La technologie WDM (Wavelength division multiplexing) est née de l'idée d'injecter simultanément dans la même fibre optique plusieurs trains de signaux numériques à la même vitesse de modulation, mais chacun à une longueur d'onde distincte.

A l'émission, on multiplexe "n" canaux au débit nominal D, à la réception, on démultiplexe le signal global "n \* D" en "n" canaux nominaux.

La norme IUT G692 a défini un peigne de longueurs d'onde autorisées dans la fenêtre de transmission 1530-1565 nm. Elle normalise l'espacement en nanomètre ou en Gigahertz entre deux longueurs d'onde permises de la fenêtre : 200 GHz (1,6 nm) ou 100 GHz (0,8 nm). La technologie WDM est dite dense (DWDM) lorsque la séparation des canaux entre longueurs d'onde voisines est inférieure à 0,8 nm (inférieur à 100GHZ).

La technologie WDM multiplie la capacité de transfert d'informations d'une fibre par le nombre de longueurs d'onde qu'elle transporte. Les systèmes WDM commercialisés actuellement comportent 4, 8, 16, 32, 80, 160 canaux optiques, ce qui permet d'atteindre des capacités de 10, 20, 40, 80, 200, 400 Gb/s en prenant un débit nominal de 2,5 Gb/s et de quatre fois plus avec un débit nominal de 10 Gb/s.

Une des composants clés du WDM/DWDM est l'amplificateur à fibre dopée à l'erbium (EDFA) qui permet de compenser les pertes d'insertion dues aux multiplexage/démultiplexage des longueurs d'onde sans passer par un circuit électronique. L'amplificateur optique EFDA fonctionne autour d'une fenêtre de 30nm dans la bande C (1535-1565nm) ou dans la bande L (1570-1600nm). Un canal de surveillance à 1625nm permet de détecter les éventuels défauts. Le WDM introduit des phénomènes non linéaires qui ont notamment pour conséquence de limiter en pratique la distance entre amplificateurs autour de 100 km.

### **I.9. Conclusion :**

L'objectif de tous les réseaux de transmission étant de transporter la plus grande quantité de données d'une source vers une destination, en minimisant au maximum les pertes, La transmission numérique synchrone est la plus adaptée. Cependant le choix porté sur la transmission numérique est très exigeant en termes de bande passante des supports de transmission. La hiérarchie numérique synchrone (SDH) en est le meilleur exemple et qui au-delà d'un certain débit (STM-4) exige la fibre optique pour une meilleure qualité de transmission. Les réseaux SDH utilisent moins les autres supports à l'exemple des faisceaux hertziens numériques pour transporter des débits inférieurs (STM-1) comparativement à ceux autorisés par la fibre optique.

# *Chapitre II*

Technologie et multiplexage SDH

## II-1 Introduction :

Le premier réseau de transmission numérique était basé sur la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH). Cependant cette hiérarchie était peu flexible et s'est retrouvée incapable de satisfaire les exigences croissantes des réseaux de transmission modernes. D'où la nécessité de normaliser une nouvelle hiérarchie numérique synchrone (SDH).

La SDH élargit les principes de la hiérarchie PDH en définissant de nouveaux niveaux administratifs qui découlent de l'entrelacement direct des octets pour un traitement plus souple des voies de transmission et pour une gestion plus élaborée.

Dans ce chapitre, nous allons décrire les avantages apportés par cette nouvelle hiérarchie ; ses principales techniques et équipements.

## II-2 Evolution du PDH vers SDH:

PDH (Plésiochronous Digital Hiérarchie) est la technique qui a précédé SDH. Elle est née avec la numérisation des réseaux téléphoniques dans les années 1970 comme première technique de multiplexage numérique (1960/1970).

La hiérarchie PDH est apparue avec la numérisation de la voix et la nécessité de transporter plusieurs canaux téléphoniques sur un même support. Le multiplex de base est constitué avec le regroupement de plusieurs canaux téléphoniques à 64 Kb/s. Comme on l'a déjà introduit les regroupements sont différents en Europe, au Japon et aux Etats-Unis, ce qui a conduit à la définition de différentes hiérarchies plésiochrones.

Le principe de multiplexage plésiochrone est de construire le débit supérieur à partir du débit immédiatement inférieur, c'est une technique de multiplexage numérique avec des niveaux de multiplexage mis en cascade. Pour extraire un train à 2Mbits/s dans un multiplex à 140 Mbits/s, 3 démultiplexages sont nécessaires comme le montre la figure suivante :

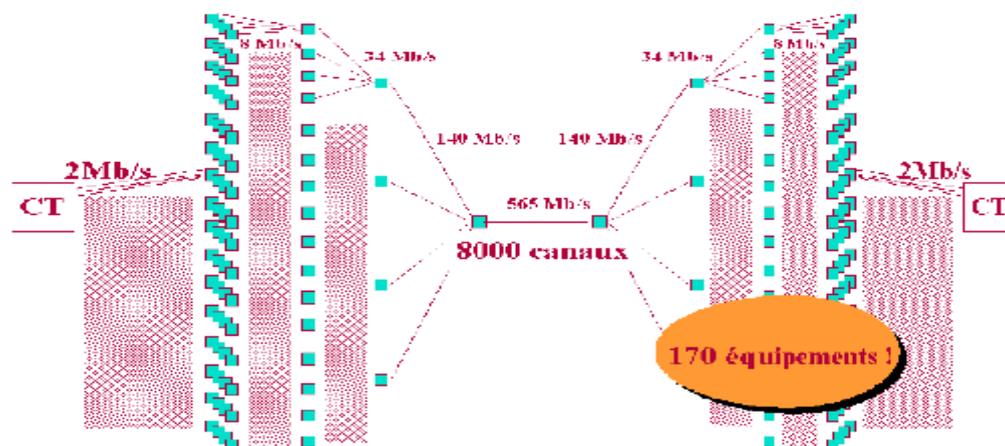


Figure II-1 : liaison 600Mbit/s utilisant la hiérarchie numérique plésiochrone

Chaque opération comporte une récupération de rythme et une recherche de trame. La trame ainsi constituée, où les trames entrantes sont multiplexées bit par bit, contient un mot de verrouillage de trame (MVT) et deux bits de service.

Le multiplexage plésiochrone est basé sur l'adjonction d'un surdébit variable accoté à chacun des signaux à multiplexer. Ceci permet d'adopter le débit affluent au débit qui lui est réservé dans le signal résultant.

Le tableau suivant donne les différents débits de la hiérarchie PDH.

Niveau	Norme de Japon	Norme Amérique	Norme Europe
1	24× 64K bit 1544K bit	24×64 K bit 1544 K bit	30 ×64 K bit 2048 K bit
2	4× (niveau 1) 6312 K bit	4× (niveau 1) 6312 K bit	4× (niveau1) 8448 K bit
3	5× (niveau 2) 32064 K bit	7× (niveau 2) 44736 K bit	4× (niveau 2) 34368 K bit
4	3× (niveau 3) 97,728 Mbit		4× (niveau 3) 139,264 M bit

**Tableau II.1. Les différentes Hiérarchies numériques PDH**

### II-3 Limitations de la PDH :

- Ø L'inconvénient de ce mode de transmission est le multiplexage bit par bit de la trame numérique plésiochrone, ce qui ne permet pas l'accès au niveau inférieur sans démultiplexage.
- Ø L'absence de la normalisation au niveau de L'UIT-T(C.C.I.T.T), ce qui veut dire qu'on ne peut pas interconnecter deux hiérarchies différentes (U.S.A, EUROPE).
- Ø La technique de multiplexage est complexe en raison du plésiochronisme des sources.
- Ø La trame PDH ne contient pas d'octets réservés à l'exploitation.
- Ø Pas d'interopérabilité à hauts débits entre les continents puisque les débits sont différents.
- Ø la technique PDH est une technique de point à point et non une technique de réseau organiser en anneau permettant d'obtenir une disponibilité importante de services.
- Ø La technique PDH ne prévoit pas l'existence de canaux de gestion et ne permet pas une centralisation de l'exploitation d'un réseau national.
- Ø L'inexistence de standardisation en termes de gestion et d'interfaces optiques.

### II-4 Définition de la SDH :

La SDH (Synchronous Digital Hierarchy) est une technologie de transmission synchrone qui utilise principalement la fibre optique vu ses nombreux avantages en termes du débit, de fiabilité, de sécurisation et de supervision à distance du réseau.

La SDH est issu des concepts SONET proposé par BELLCORE (BELL Communication Research). Les premières normes SDH ont été approuvées par le CCITT (Comité Consultatif International de Téléphone et Télégraphe) à MELBOURNE en Novembre 1988 (G.707, G.708, G.709). Elles définissent les débits, la trame et les procédés de multiplexage.

La SDH se situe sur les deux premières couches du modèle OSI. Cette technologie offre la possibilité de transmettre dans une même trame des services de types et de débits différents.

### II-4-1 Les débits normalisés de la hiérarchie numérique synchrone :

Les trains de signaux incorporés dans la trame synchrone sont 1,5 ou 2 Mb/s. La trame SDH du premier ordre STM-1 comporte 270 colonnes de 9 octets, expédiés toutes les 125  $\mu$ s soit un débit de 155,520 Mb/s. Le réseau optique synchrone (SONET: *Synchronous Optical Network*) fonctionne au débit de 51,84 Mb/s (norme des Etats-Unis), qui peut être multiplexé pour donner STM-1. Le tableau suivant indique les niveaux des deux hiérarchies SDH et SONET, les débits binaires correspondants et le nombre de voies à 64 kbit/s :

SDH	SONET	Désignation optiq	Débit (Mb/s)	Nombre de voies Kb/s
	STS-1	OC-1	51,84	
STM-1	STS-3	OC-3	155,52	1920
STM-4	STS-12	OC-12	622,08	7680
STM-16	STS-48	OC-48	2488,32	30 720
STM-64	STS-192	OC-192	9953,28	122 880

**Tableau II-2 : Les débits normalisés de la hiérarchie numérique synchrone**

### II-4-2 La trame SDH :

Il existe différentes trames en SDH. La trame de base est appelée STM-1 (Synchronous Transport Module, niveau 1).

La trame STM-1 à une longueur de 2430 octets. Sa fréquence de transmission est de 125  $\mu$ s ; ce qui nous donne un débit de :

$$2430 \times 8 / 125 = 155,52 \text{ Mbit/s.}$$

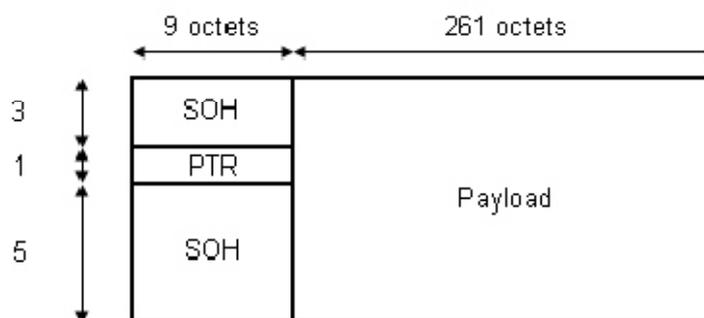
Dans cette trame, 9 octets sont réservés à la gestion et à l'adressage, il reste donc une charge utile de 150,336 Mbit/s.

Elle contient 3 blocs:

ü **SOH** : (section overhead) information de transport

ü **PTR** : pointeur

ü **Payload** : Information à transmettre



**Figure II-2 : structure de la trame STM-1**

ü La capacité en octets est donc :  $9 \times 270 = 2430$  octets

ü La capacité en bits est  $2430 \times 8 = 19440$  bits

Ø D'où un débit de  $19440 / 125 \mu\text{s} = 155,520 \text{ Mbits/s}$

A partir du multiplex STM-1, on peut construire des multiplex supérieurs STM-n par entrelacement d'octets.

#### II-4-2-1 L'en-tête de section régénération (RSOH):

Il est constitué dans les 3 premières rangées et les 9 premières colonnes de la trame STM-1 comme le montre le tableau suivant. Cet en-tête est utilisé pour gérer le transfert d'informations entre les générateurs et entre les générateurs et les locations qui terminent ou routent le trafic (multiplexeurs ou DXC).

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	X	X
B1	●	●	E1	●		F1	X	X
D1	●	●	D2	●		D3		

Tableau II-3 : Les réseaux de section de régénération (RSOH)

La signification des octets du RSOH est la suivante :

- Ü **A1, A2** : Ces octets sont utilisés pour le verrouillage de trame. Pour une trame STM-1 la structure est A1A1A1A2A2A2,  
Où : A1 est 11110110  
A2 est 00101000.
- Ü **J0** : Cet octet est utilisé pour la trace de section de régénération.
- Ü **B1** : utilisé pour la surveillance d'erreurs pouvant survenir sur le trafic.
- Ü **E1** : permet une voie de service de 64Kb/s entre deux équipements terminaux de la section de régénération (valide pour STM-1 seulement).
- Ü **F1** : permet une voie utilisateur à 64 kbit/s.
- Ü **D1 à D3** : permettent un canal de communication de données (Data Communication Channel ou DCC), à 192 bit/s, affectés à la communication de données d'administration et de contrôle du réseau de la section de régénération.
- Ü **X** : sont des bits réservés pour une utilisation nationale.
- Ü **●** : sont des octets dont la valeur dépend du media de transmission (transmission radio, satellite).

#### II-4-2-2 L'en-tête de section de multiplexage (MSOH) :

Le surdébit de section de multiplexage est structuré dans les lignes 5 à 9, et des 9 premières colonnes de la trame STM-1 comme le montre le tableau suivant. Il est utilisé pour gérer le transfert de bout en bout de l'information entre deux locations qui terminent ou routent le trafic (multiplexeurs ou DXC). Ces réseaux assurent leur fonction en associant à chaque entité de données de niveau supérieur un en-tête de section de multiplexage (MSOH) :

B2	B2	B2	K1			K2		
D4			D5			D6		
D7			D8			D9		
D10			D11			D12		
S1					M1	E2		

**Tableau II-4 : Les réseaux de section de multiplexage (MSOH)**

La signification des octets du MSOH est la suivante :

- Ü **B2** : trois octets réservés pour la détection des erreurs
- Ü **K1, K2** : deux octets affectés à la commande de signalisation de protection automatique entre deux équipements terminaux de la section de multiplexage.
- Ü **D4 à D12** : ils représentent un canal de communication de données (DCCM) pour transporter les flux de gestion au niveau de la section de multiplexage. Le DCCM est constitué de 9 canaux à 64Kbit/s, soit un débit de 576Kbit/s.
- Ü **S1 (Status byte)** : marqueur de qualité de la synchronisation.
- Ü **M1** : indication d'erreur distante sur la section de multiplexage.

#### II-4-2-3. Le pointeur (PTR) :

C'est dans le pointeur que réside le secret de la hiérarchie numérique synchrone. En effet, c'est le pointeur qui assure à lui seul la synchronisation.

Le principe est simple : SDH utilise des pointeurs et une technique de justification «négative-nulle-positive » pour pouvoir faire « flotter » les informations utiles dans la trame et ainsi les décalages de phase entre les horloges des équipements sources sont absorbés.

#### Ø Justification du pointeur :

Bien que le réseau soit synchronisé, il existe toujours un problème d'asynchronisme, comme en PDH, dû au fait que les horloges locales ne sont jamais exactement synchrones et que la gigue et le dérapage affectent le transport d'une trame synchrone d'un nœud vers un autre à travers le réseau. Pour le résoudre, on utilise le mécanisme des pointeurs mais aussi des **octets de justification** :

#### Ü Justification positive :

Si le débit de l'affluent est inférieur au débit nominal, l'affluent ne pourra être inscrit sur la durée d'une trame. La capacité de la charge utile ne sera plus utilisée en totalité et des octets de bourrage seront insérés.

#### Ü Justification négative :

Si le débit de l'affluent est supérieur au débit nominal, l'affluent doit pouvoir déborder hors de la capacité utile, des octets sont réservés à cet effet dans le surdébit.

#### Ü Justification nulle :

Si le débit d'affluent est égal au débit nominal, aucun décalage n'est fait.

## II-5 Les entités traitées par le réseau SDH :

### II-5-1 La notion de conteneur « C-n » :

Le conteneur **C<sub>n</sub>** est une entité dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un des débits définis par le CCITT.

Le conteneur joue le rôle de régénération du signal plésiochrone du départ, il récupère l'horloge et transforme le code de transfert selon les débits entrants. Le " n " de **C<sub>n</sub>** dépend du débit entrant, par exemple **C<sub>4</sub>** correspond à **139264** Kb/s, le **C<sub>3</sub>** pour **44736** ou **34368** Kb/s, le **C<sub>12</sub>** pour **2048** Kb/s, le **C<sub>11</sub>** pour **1544** Kb/s.

Un conteneur est dimensionné pour assurer un des débits définis par le CCITT, et qui sont regroupés dans le tableau suivant :

Affluent (Mb/s)	Conteneur
1,5	C-11
2	C-12
6	C-2
34	C-3
45	C-3
140	C-4

**Tableau II-5 : La correspondance affluent -conteneur**

### II-5-2 Le conteneur virtuel VC-n :

Le conteneur virtuel **VC<sub>n</sub>** est obtenu à partir du conteneur en lui ajoutant un surdébit de Conduit **POH** (*Path Over-Head*) utilisé pour la gestion du conduit. C'est le conteneur virtuel VC qui est l'entité gérée par le réseau SDH. L'ensemble constitue ce qu'on appelle un **conteneur virtuel VC** (Virtual Container).

$$VC = C + POH$$



Les conteneurs virtuels VC sont les éléments de base transportés par le réseau SDH, ils seront multiplexés pour obtenir des blocs plus grands et ainsi de proche en proche jusqu'à l'obtention d'une trame de base STM-1 constituée de 2430 octets.

### II-5-3 L'unité tributaire :

L'unité d'affluent **TU<sub>n</sub>** (*Tributary Unit*) est composée du VC<sub>n</sub> et d'un pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VC<sub>n</sub> dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame du transport.

Pour pouvoir localiser un VC dans une trame SDH sans que celui-ci ne soit placé toujours à la même position, on utilise un pointeur qui indique l'adresse relative du VC par rapport au début de la trame. Le pointeur associé au VC constitue ce qu'on appelle une unité tributaire (Tributary Unit (TU)).



#### II-5-4 Le Groupe d'Unité d'Affluent « TUG-n » :

Le Groupe d'Unités tributaires **TUG** (*Tributary Unit Group*) représente une structure virtuelle de la trame résultant dans le multiplexage des unités tributaires et non pas une nouvelle entité physique. Il constitue un regroupement des TU dans un espace réservé d'une entité supérieure (TUG supérieur ou VC4). On peut considérer que le TUG définit des règles de rangement des TU dans cette entité supérieure, et à travers elle, dans la trame de transport, on peut ainsi avoir :

- ü Le TUG 2 regroupant 3 TU12 ou 1 TU2.
- ü Le TUG 3 regroupant 7 TUG 2 ou 1 TU3.

#### II-5-5 L'unité administrative « AU-n » :

L'unité administrative (*Administrative Unit*), AU4, est composée du VC4 et du pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du début du VC4 dans la trame du transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC4 dans la trame.

Le Groupe d'Unité Administrative, AUG, représente une structure virtuelle de la trame et pas une nouvelle entité physique. AUG correspond à la place que doit occuper l'AU4 dans la trame de transport utilisée.

#### II-5-6 Le groupe d'unités administratives :

Un groupe d'unités administratives n'est pas une nouvelle entité physique, mais seulement une structure virtuelle de la trame STM-n. L'AUG correspond à la place que doit occuper l'AU-4 dans la trame de transport ou à la place de 3 unités d'ordre 3 multiplexées.

Les trames de transport **STMn** (*Synchronous Transport Module*) sont obtenues en multiplexant n AUG (et non n STM1) et en rajoutant un surdébit dit en-tête de Section **SOH** (*Section OverHead*) :

- ü La trame de Base STM1 (155,520Mbit/s) contient 1 AUG et son SOH,
- ü la trame STM4 (622,080Mbit/s) contient 4 AUG et son SOH,
- ü la trame STM16 (2488,320Mbit/s) contient 16 AUG et son SOH.

Finalement, la figure suivante (arbre de multiplexage SDH) résume toutes les étapes de multiplexage SDH :

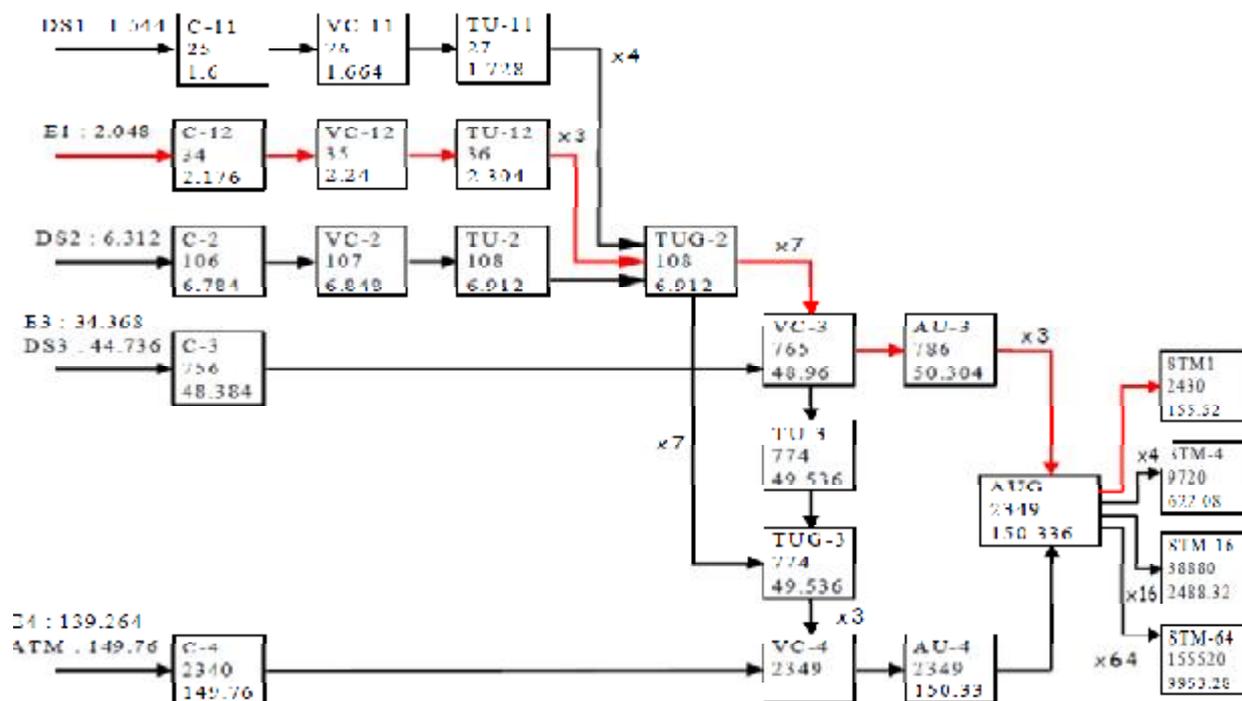


Figure II-3 : Structure du multiplexage synchrone

Cette hiérarchie élimine aussi le problème du débit qui varie de plus ou moins  $Dx$  b/s par rapport au débit nominal  $X$  b/s du signal entrant. Or une trame de transport a un débit fixe, c'est pour cela que l'on utilise une opération qui permet de transporter un signal de débit variable dans une trame de débit fixe, cette opération s'appelle la Justification. On parle de Justification positive, nulle, négative. Il suffit pour cela de prévoir dans la trame de transport une place allouée à chacun des affluents suffisante pour permettre de transporter leur plus grand débit possible. Puis grâce à des bits de remplissage (bourrage) on obtient le débit désiré.

Grâce à ses caractéristiques, le réseau SDH permet le transport de plusieurs formats de données :

## II-6 Insertion d'affluent 140Mbit/s dans un STM1 :

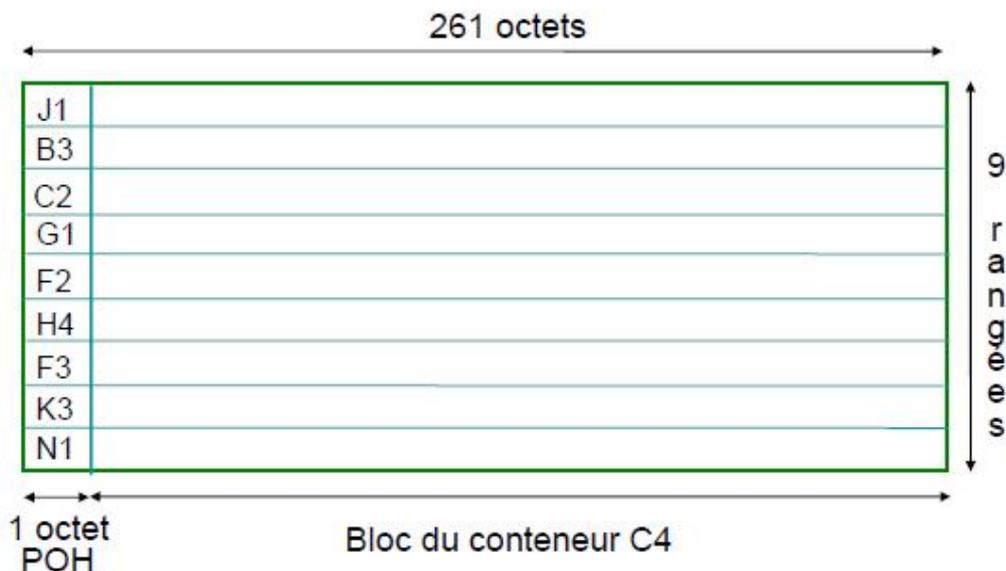
Tout d'abord, il faut élaborer le conteneur C4 comme le montre la structure du multiplexage synchrone après récupération d'horloge et la régénération de l'affluent. Le Conteneur C4 comprend 180 blocs de 13 octets chacun, soit au total 2340 octets ou 18720 bits, répartis en 9 lignes de 20 blocs.

Sachant que la périodicité est de  $125 \mu s$ , on a un débit de  $149,760$  Mb/s. Comme le débit du conteneur est supérieur au débit affluent de  $139,264$  Mb/s, tous les bits ne seront donc pas utilisés pour transporter des bits d'information. Dans un bloc, il y a 13 octets répartis comme suit : 1 octet pour les bits d'indication tel que le bit de remplissage, de justification ou de surdébit, et 12 octets pour les bits d'informations de l'affluent. Ceci permet de voir qu'il y a en fait 17406 bits

d'information dans le conteneur, soit un débit de 139,248 Mb/s .Comme le débit de l'affluent est supérieur au débit d'information du C4, c'est une justification de type négative de 16 Kb/s.

Pour obtenir un Conteneur Virtuel VC4, on rajoute un surdébit de conduit appelé POH, on obtient ainsi 1 octet de plus pour chaque ligne, soit 9 octets de plus par rapport à C4.

### Conteneur Virtuel 4 (VC4)



**Figure II-4 : Conteneur Virtuel (VC4)**

Les octets du POH sont utilisés pour déterminer différentes informations sur le conteneur tel que la trace du conduit ( J1) qui permet une identification du point d'accès pour vérifier la continuité de la chaîne de connexion depuis l'émetteur, la surveillance des erreurs par contrôle de bit du VC4 (B3), étiquette du signal de conduit (C2) qui permet de connaître la composition du conteneur , l'état du conduit (G1) qui sert à renvoyer les informations de défauts de l'extrémité distante, le contrôle de qualité (F3), la voie de service (F2) pour les besoins de communication de l'utilisateur sur le VC4.

### II-7- synchronisation du réseau SDH :

Dans un réseau SDH, les pertes de données causées par les problèmes de synchronisation sont réduites par l'utilisation dans tous les nœuds du réseau d'horloges synchronisées avec une horloge de référence. Ceci est réalisé grâce à la distribution d'une horloge très stable sur tous les éléments du réseau. Les points les plus importants sont les points de mappage et de restitution des affluents transportés.

Le dispositif général de synchronisation est du type maître esclave. Chaque équipement du réseau possède une horloge propre qui se synchronise sur l'horloge du niveau supérieur. L'horloge unique du plus fort niveau est appelée horloge primaire de référence PRC (Primary Reference Clock). C'est une horloge au césium de très haute précision ( $10^{-11}$  sur le long terme), elle est doublée par une horloge secondaire SRC(Secondary Reference Clock) qui est souvent une horloge GPS fournie par satellite.

L'architecture du réseau est telle que chaque élément du réseau reçoit au moins deux circuits d'horloge. Dans un réseau en anneau, la référence primaire est injectée sur un nœud (Fig. II-4 : N1) qui se charge de la diffuser sur les trames STM vers les autres nœuds. L'horloge secondaire est injectée sur un autre nœud (Fig. II-4 : N3) qui la diffuse vers les autres soit sur la 2ème fibre dans le

cas d'un anneau bidirectionnel soit sur la fibre de secours. L'horloge secondaire est utilisée en cas de rupture du circuit normal ou en cas de détection d'une perte du rythme de référence.

Les trames STM comportent un octet STS (Status message Byte) dans le surdébit SOH qui permet d'identifier la nature de l'horloge transportée,

- ü PRC : 0010
- ü SEC : 10111
- ü DNU : 1111 (Do Not Use)

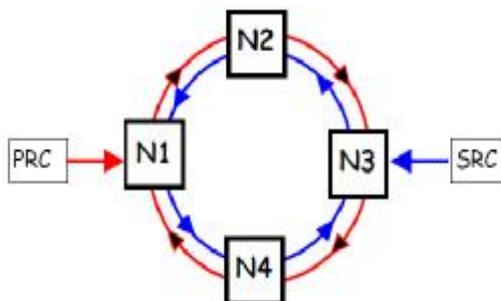


Figure II-4: Distribution de l'horloge

## II-8- Infrastructure du réseau S.D.H.

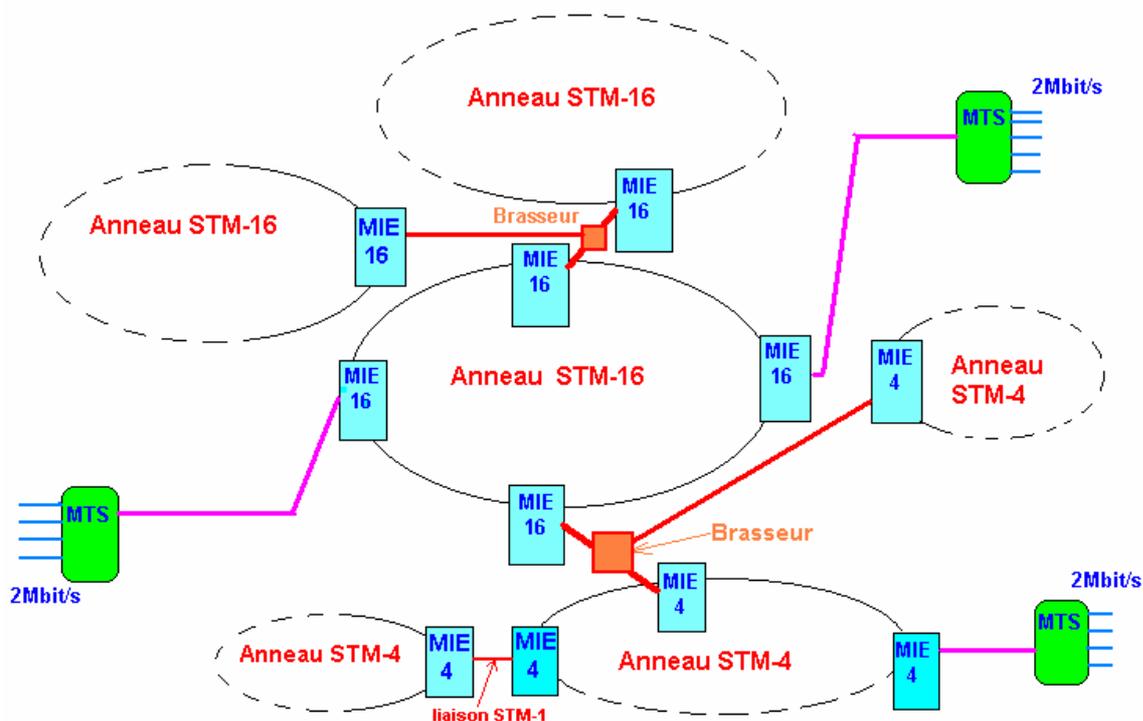


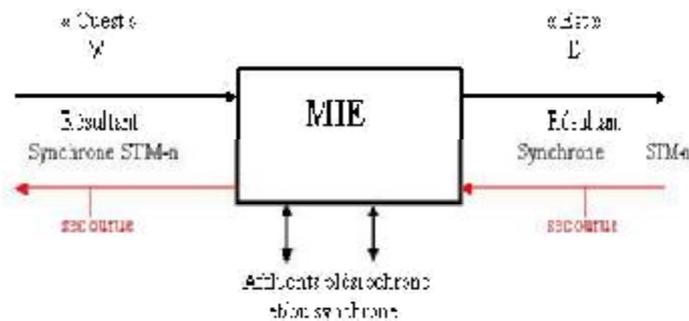
Figure II-5 : Infrastructure du réseau S.D.H.

### II-8-1 Multiplexeur Insertion - Extraction MIE :

Les multiplexeurs d'insertion - extraction (add-drop) sont utilisés pour réaliser les fonctions de transmission suivantes :

- ü transfert du signal numérique synchrone de ligne entre ses accès " Ouest " et " Est ".

- ü Dérivation : insertion/extraction des signaux numériques plésiochrones et/ou synchrones dans le signal numérique synchrone présent à ses accès " Ouest " et/ou " Est ".
- ü Les fonctions de brassage de VC12 ont été introduites dans le MIE.



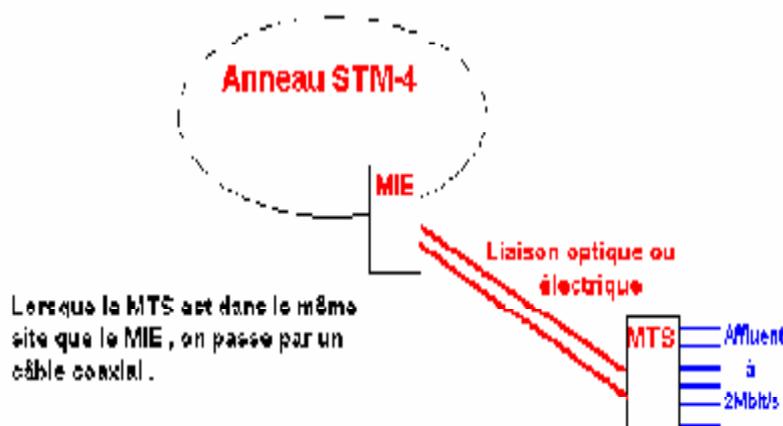
**Figure II-6 : Multiplexeur Insertion - Extraction MIE**

Le MIE contient la fonction de régénération qui permet la remise en forme uniquement par régénération du signal électrique et une surveillance de la section de la régénération. Pour une longue distance, on installe un MIE sans cartes d'affluents pour régénérer le signal.

L'un des inconvénients majeurs du MIE est le nombre insuffisant d'accès à 2Mbit/s au niveau du châssis MIE alors que ce débit est le plus demandé, c'est pour cela que l'on utilise des MTS.

### II-8-2 Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS):

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage des signaux affluents plésiochrones ou synchrones dans un signal de ligne STM-1 résultant.



**Figure II-7 : Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS)**

### II-8-3 Les brasseurs numériques (DXC, Digital Cross Connect):

Les brasseurs sont destinés à assurer la connectivité et la flexibilité de la bande passante entre différentes portions de réseau. Ces brasseurs sont des équipements de forte capacité et ils sont donc situés aux nœuds importants du réseau.

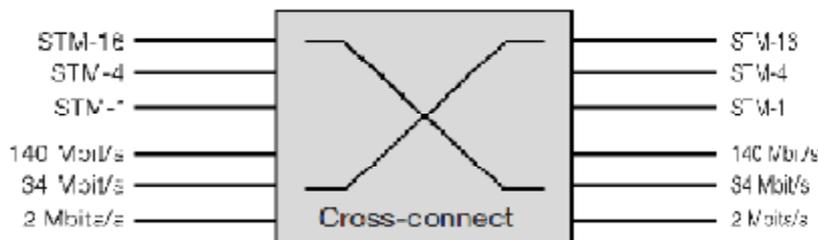
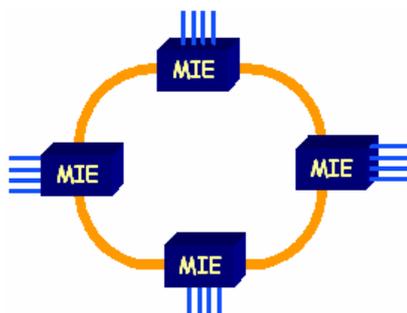


Figure II-8 : Les brasseurs numériques (DXC, Digital Cross Connect)

## II-9 - La Topologie et la protection

### II-9-1 Les topologies

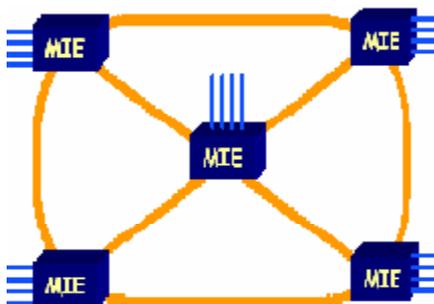
Les architectures peuvent être réalisées en bus, en anneau, en étoile et peuvent être combinées entre elles permettant aux opérateurs de résoudre un grand nombre de cas pratiques.



Topologie en anneau



Topologie en bus



Topologie en étoile

Figure II-9 : Les topologies

Un réseau en anneau est une chaîne, repliée sur elle-même et refermée, constituée uniquement de nœuds MIE (ou ADM pour Add-Drop Multiplexer) et ne possédant pas de nœud terminal.

Ce type de réseau joue un rôle clé en SDH/SONET grâce aux mécanismes performants d'auto cicatrisation (délai de rétablissement < 50 ms) du réseau en cas de défaillance (par exemple: câble coupé, panne d'électricité ou incendie dans un nœud du réseau).

Les applications des réseaux en anneau sont nombreuses : réseaux d'accès aux réseaux nationaux, en passant par les réseaux locaux et régionaux.

Les réseaux auto cicatrisants sont divisés en deux catégories :

- Les anneaux unidirectionnels.
- Les anneaux bidirectionnels

#### **II-9-1-1-Les anneaux unidirectionnels (2 fibres) :**

Les trafics émission et réception circulent dans le même sens sur l'anneau, sur la fibre dite active. L'autre fibre de protection peut être utilisée, soit pour la duplication du trafic, soit pour transporter un STM-n vide ou un trafic non prioritaire.

#### **II-9-1-2 Les anneaux bidirectionnels (2 fibres) :**

Les trafics émission et réception circulent en sens opposés sur l'anneau et utilisent donc les deux fibres de la fibre. Par conséquent, la moitié de la bande passante doit être réservée pour la protection, afin de permettre une réorientation de trafic en cas de défaillance.

#### **II-9-1-3 Les anneaux bidirectionnels (4 fibres) :**

Dans ce cas, une paire de fibres est réservée pour la protection. Cette paire de fibres peut être éventuellement utilisée pour un trafic non prioritaire et pour de la protection entre nœuds voisins.

### **II-9-2 La protection dans les réseaux SDH :**

Pour faire face aux défaillances techniques, la SDH réserve des circuits physiques ou logiques qui seront utilisés en cas de difficultés de transmission comme la rupture d'une fibre ou la défaillance d'un équipement de réseau.

Il existe deux mécanismes de protection d'anneau :

- Ü la protection de conduit,
- Ü la protection de section de multiplexage

#### **II-9-2-1 La protection du sous-réseau SNCP (Sub-Network Connexion Protection) (1+1) :**

Ce type de protection consiste à protéger le trafic conduit par conduit d'un anneau à deux fibres, chacun étant terminé par un basculeur. Lorsqu'une fibre est coupée, autant de basculements de conduits se produiront qu'il y aura de conduits empruntant cette fibre. Le trafic est diffusé en permanence sur deux chemins dans le réseau. Puis, à l'autre extrémité de la portion protégée du conduit, on choisit la branche sur laquelle le trafic est de meilleure qualité au niveau de chaque affluent TU-2, TU-3 et AU-4. L'objectif recherché dans ce type de protection étant de limiter l'activation des mécanismes de protection à des segments de conduits.

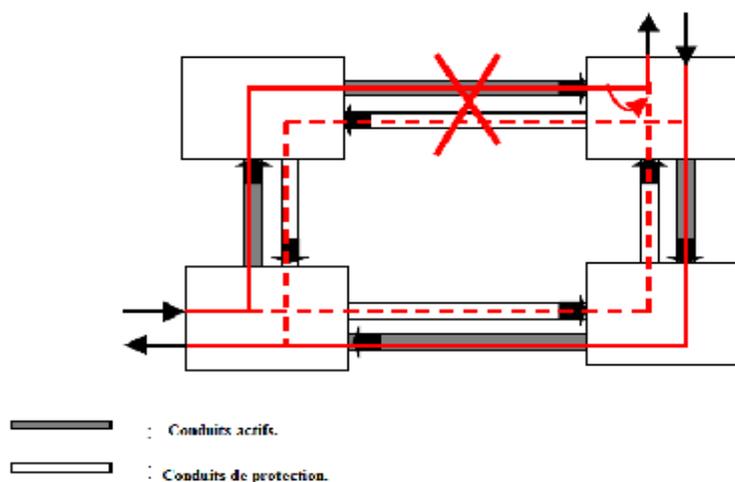


Figure II-10 Le principe de la protection SNCP: 1+1.

II-9-2-2 La protection de la section de multiplexage MSP (Multiplex Section Protection) :

II-10-2-2-1 La protection MSP linéaire (point-à-point) :

On protège de cette façon un lien direct entre deux ADM adjacents par un autre lien direct entre ces deux ADM. Il existe plusieurs possibilités de mise en œuvre :

- Ø **La protection 1 + 1** : Cette protection prévoit un deuxième support de secours qui prend le relais en cas de défaillance du circuit normal. Le circuit de secours dépend de l'architecture, il peut être constitué d'une fibre en cas d'un réseau unidirectionnel, ou d'une paire de fibre en cas d'un réseau bidirectionnel

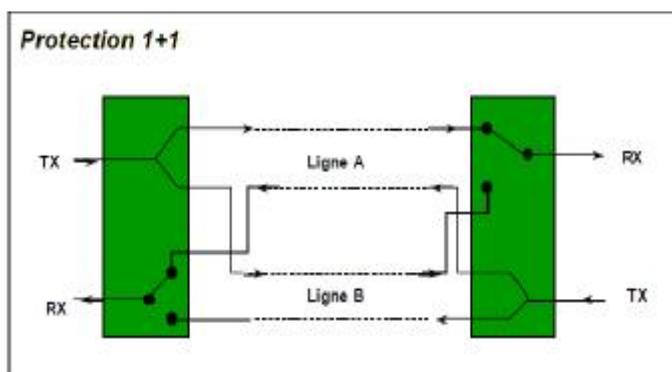


Figure II-11 : Le principe de la protection MSP : 1+1.

- Ø **La protection 1 : N** : Consiste à protéger une ou plusieurs liaisons entre les multiplexeurs adjacents par une seule liaison de secours, qui prendra en charge l'une des liaisons en panne seulement (si plusieurs tombent en panne en même temps). Le signal est sélectionné à l'émission comme à la réception. La ligne de protection peut être utilisée pour un trafic supplémentaire non prioritaire. Le trajet de la ligne normale et celui de celle de secours devraient pour bien faire être différents.

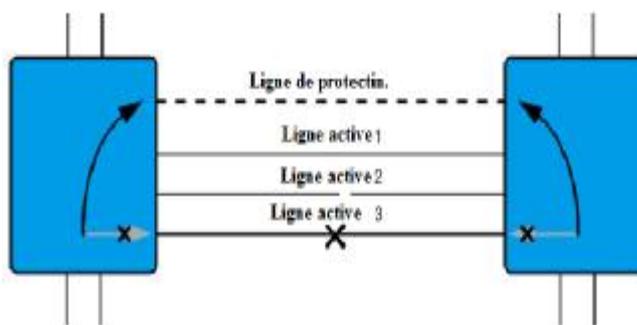


Figure II-12 Le principe de la protection MSP : 1 : N.

Ø **La protection M : N** : La protection M : N est dérivée de la protection 1:N, elle consiste à réserver M dispositifs de protection pour protéger N dispositifs actifs, ainsi dans une liaison SDH, N conduits actifs seront protégés par M conduits de secours. Ce système de protection est utilisé pour les lignes longues distances.

### II-9-3 La protection MSP des anneaux :

Ø **La protection dédiée de la section de multiplexage MS-DPR (MS- Dedicated Protection Ring)** :

Pour chaque trafic traversant l'anneau, une capacité équivalente est réservée sur tout l'anneau, grâce à une deuxième fibre. Par conséquent, le nombre maximum de conduits traversant l'anneau correspond au nombre maximum de conduits sur une liaison entre deux ADM adjacents.

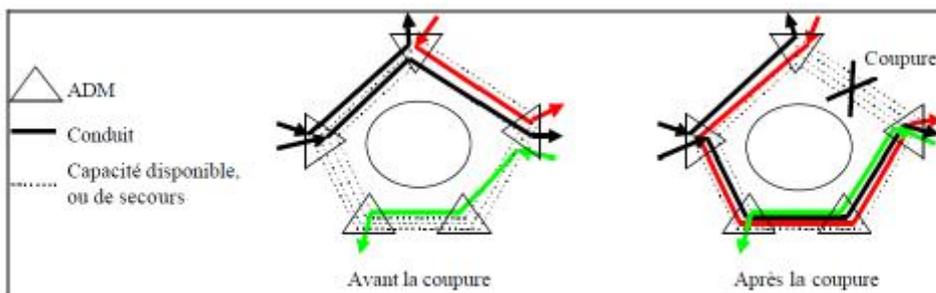


Figure II-13 Le principe de la protection MS-DPR.

Les anneaux unidirectionnels sont des anneaux à deux fibres et peuvent être à protection de section ou protection de conduit.

Les anneaux bidirectionnels sont uniquement à protection de section et peuvent être à 2 ou 4 fibres.

Le choix du type d'anneau et de son mécanisme de protection associé dépend de plusieurs paramètres, tels que la taille du réseau et le type de trafic sur le réseau.

Néanmoins, les anneaux bidirectionnels conviennent mieux pour des trafics équilibrés entre chaque nœud (réseau national par exemple) et que les anneaux unidirectionnels à protection de conduits sont plus adaptés à des trafics dirigés vers un nœud particulier (hub par exemple).

La sécurité de la technologie SDH prévoit qu'en cas de coupure de ligne, le signal est automatiquement réacheminé sur un réseau "secours". Plusieurs configurations de ce réseau sont possibles.

### **II-10 Conclusion :**

La SDH constitue une réponse technique à une demande du réseau de transmission, plus souple (accès direct aux affluents, surdébit d'exploitation, interconnexion des systèmes haut débit,...). La structure de la trame qui contient implicitement la notion de couche, a permis d'élaborer un modèle d'architecture de réseau et une description d'équipements par blocs fonctionnels.

Cette approche globale et cohérente va permettre de faciliter le développement et l'utilisation d'applications de gestion de réseau dans un monde multi-industriels et multi-opérateurs.

Ainsi, la SDH présente une caractéristique très importante pour le réseau de télécommunication, celle de sécuriser le trafic en temps réel du transport.

En fin, l'évolution de SDH permet aujourd'hui d'atteindre des records en termes de débit. Mais elle fait face à une réalité économique qui est l'apparition d'une nouvelle technologie permettant la mise en place de réseaux tout optique de type WDM à  $N \times 10 \text{ Gbit/s}$  de débit.

# CHAPITRE III

*Technologie et dimensionnement des liaisons DDM*

### III.1. INTRODUCTION :

Les usagers demandent sans cesse des largeurs de bande accrues, à un prix raisonnable. Cette demande, compte tenu également de l'évolution des fibres optiques et des composants à fibres optiques, a conduit à un regain d'intérêt pour les systèmes à répartition en fréquences (FDM). Avec la technologie moderne, les systèmes de multiplexage par répartition en longueur d'onde à haute densité (DWDM: *Dense Wavelength Division Multiplexing*) sur fibres optiques pourront transmettre quelque 30 millions de voies téléphoniques numériques ou un nombre correspondant de voies à large bande. La technologie WDM prévoit d'améliorer les systèmes SDH largement déployés, mais qui s'avèrent limités à un débit de 10 Gb/s et de ce fait incapables de satisfaire les réseaux nationaux. Le WDM augmente la capacité de la fibre en assignant aux signaux entrants des fréquences déterminées de la lumière (longueurs d'ondes :  $\lambda = C/f$ ).

### III.2. Les avantages du WDM :

- ü L'aptitude de préserver les systèmes actuels (SDH-SONET) tout en optimisant leur capacité.
- ü La technologie WDM peut transporter et avec transparence le trafic TDM (SDH-SONET) et tous les autres formats de données à l'exemple de ATM et Gigabit Ethernet.
- ü Le réseau WDM permet un approvisionnement simple des clients. Parmi les facilités du réseau WDM, on cite l'élimination des régénérateurs.
- ü Dans les réseaux WDM, la performance du réseau de transport n'est pas limitée par la vitesse de traitement de données des circuits électroniques disponibles.
- ü Quand le trafic SDH est transporté à travers le réseau WDM, le canal DCC continue d'accomplir ses fonctions entre les NE du réseau SDH. En outre, le système WDM peut utiliser une longueur d'onde additionnelle pour une supervision optique du réseau.

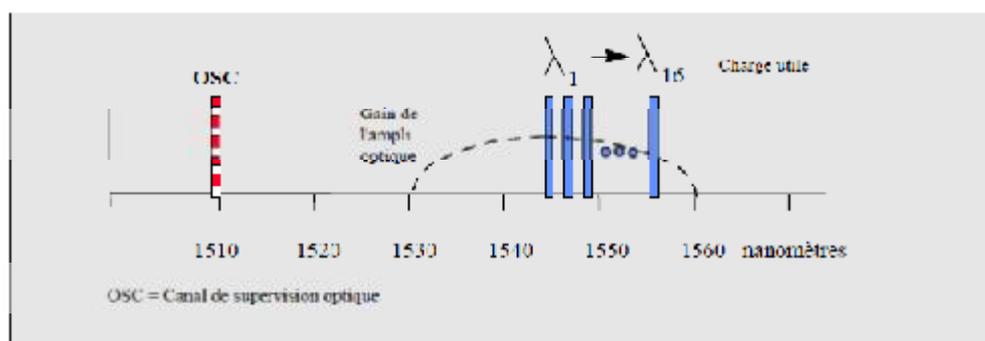


Figure III.1. Canaux optiques de charge utile et supervision dans le DWDM.

### III.3. Le principe des liaisons optiques de transmission :

Dans le cas d'une transmission par fibre optique, le signal est tout d'abord codé ou modulé suivant une séquence connue qui peut être contrôlée à la réception. Ce signal est injecté dans la fibre optique par l'intermédiaire de l'émetteur. Tout au long de la fibre sont placés des amplificateurs optiques (répéteurs) qui remplacent les régénérateurs électriques. À la sortie de la fibre, le signal est reçu sur une photodiode puis amplifié avant d'être décodé pour être remis sous sa forme initiale.

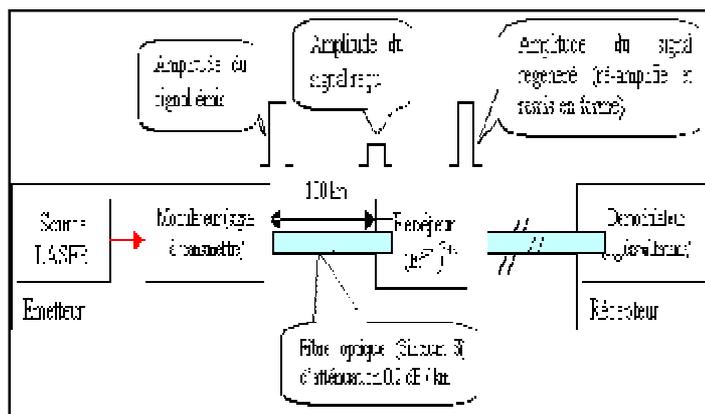


Figure III.2. Le principe d'une liaison optique.

### III.4.L'architecture de base d'un réseau DWDM :

Le réseau DWDM 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 qu'en multiplexeurs et démultiplexeurs servant respectivement au groupement et à la séparation des ondes lumineuses de fréquences différentes. Les modulateurs convertissent les données numériques en ondes par modulation d'intensité ou d'amplitude, tandis 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 à des fins de transmission alors que les démultiplexeurs séparent ces mêmes signaux à des fins de commutation. Le commutateur des longueurs d'ondes interconnecte les voies d'entrée aux voies de sortie voulues. Les convertisseurs de longueur d'onde ont pour fonction de convertir, au sein d'une même fibre optique, les longueurs d'onde surexploitées en longueurs d'onde disponibles de manière à maximiser l'utilisation des voies.

Le DWDM fonctionne généralement avec au moins 8 canaux de transmission. Il en existe également à 16, 40 voire beaucoup plus rarement 96 canaux. Avec les fibres préalablement existantes, il est possible de multiplier le débit par 17, voire par 42, sans avoir à investir lourdement dans de nouvelles infrastructures.

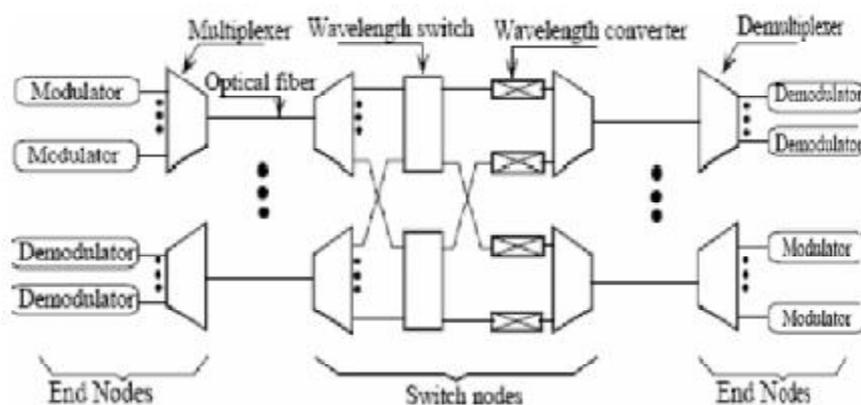


Figure III.3. Principales composantes d'un réseau DWDM.

### III.5. Le module émission d'une liaison DWDM :

Les émetteurs optiques doivent agir comme des convertisseurs électro-optiques. Cette conversion est assurée par des composants à semi-conducteurs se regroupant en deux catégories : les diodes électroluminescentes et les diodes laser qui sont les plus utilisées actuellement.

#### III.5.1. Les exigences imposées sur les sources optiques :

- Û **La longueur d'onde :** Pour optimiser l'utilisation des fibres, il est nécessaire que la source émette des ondes optiques à la longueur d'onde où la fibre présente un minimum d'atténuation ainsi qu'un minimum de dispersion.
- Û **La puissance de sortie :** Pour augmenter la portée de la liaison, on doit émettre la plus grande puissance possible sans dépasser un certain seuil, au-delà duquel la fibre se comporte comme un élément non-linéaire.
- Û **Les dimensions :** Elles doivent être comparables à celles de la fibre.
- Û **Effet de concentration énergétique :** Le diagramme de rayonnement de l'onde émise doit être le plus directif possible afin d'assurer le meilleur couplage entre la source et la fibre.
- Û **La largeur spectrale :** Pour augmenter la bande passante, il est nécessaire de minimiser la dispersion chromatique ce qui revient à utiliser des sources à faibles largeurs spectrales.

#### III.5.2. La génération des longueurs d'ondes dans les sources optiques :

Les matériaux semi-conducteurs utilisés dans les dispositifs optoélectroniques peuvent être classés en :

- Û Composés primaires : Ge et Si.
- Û Composés binaires : GaAs et InAs.
- Û Composés ternaires :  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  et  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ .
- Û Composés quaternaires :  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_{1-y}\text{As}_y$ .

Tous ses composés se différencient par la largeur de la bande interdite qui fixe la longueur d'onde du signal créé. Cette longueur d'onde est donnée par la relation suivante :

$$\lambda (\mu\text{m}) = \frac{1,24}{\Delta E (\text{eV})} \quad (\text{B.1})$$

En pratique, il est très rare de disposer d'un matériau correspondant à une utilisation souhaitée. Par contre, il est possible d'ajuster la GAP en agissant sur la concentration des dopants (x et y).

### III.5.3. Les types de sources optiques :

#### III.5.3.1. Les diodes électroluminescentes (LED, Light Emission Diode) :

Une LED est une jonction PN polarisée en direct. Les électrons ou les trous qui constituent les porteurs majoritaires sont injectés dans le voisinage de la jonction. Leur recombinaison donne lieu à une émission de la lumière. Une LED est une source incohérente spatialement et temporellement et présente contrairement au Laser un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif. Ces diodes sont généralement utilisées pour les applications bas débit.

#### III.5.3.2. Le LASER :

##### III.5.3.2.1. La diode LASER :

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.

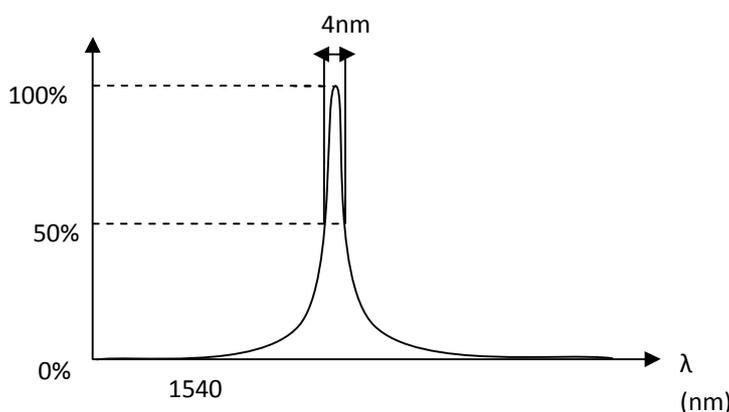


Figure III.4. Le spectre en fréquences de la lumière Laser.

##### III.5.3.2.2. Principe de fonctionnement du LASER :

Le principe du LASER (Light Amplifier Stimulated Emission Radiated) repose sur deux éléments essentiels :

- Un amplificateur d'onde lumineuse.
- Une boucle de contre réaction formant un résonateur.

L'injection des porteurs majoritaires dans la jonction PN produit une inversion de population et provoque :

- Une émission spontanée.
- Une émission stimulée.

### III.5.3.2.2.1. L'inversion de population :

Dans les conditions d'équilibre thermique, le niveau d'énergie le plus bas  $E_v$ , contient plus d'électrons que le niveau supérieur  $E_c$ . L'inversion de population est obtenue lorsqu'on crée un déséquilibre de la distribution des électrons de façon à ce que la population du niveau d'énergie le plus bas devient plus faible que celle du niveau le plus élevé.

### III.5.3.2.2.2. L'amplificateur optique :

L'amplification optique, dans le laser, se produit lorsqu'un photon heurte un atome dans un état excité, créant l'émission d'un deuxième photon. Ces deux photons créent à leur tour deux autres photons. La continuation de cet effet crée une multiplication des photons. Pour que cette multiplication ait lieu, il faudrait que les photons créés soient en phase et se propagent suivant la même direction (cohérence spatiale).

Pour achever l'effet Laser, il est nécessaire de concentrer les photons dans un milieu (la cavité) qui permet de maintenir cette cohérence. Le signal optique est amplifié chaque fois qu'il traverse le milieu constituant la cavité.

### III.5.3.2.2.3. La cavité résonante :

Il permet de confiner l'énergie lumineuse pour avoir suffisamment de photons excitateurs, ce qui est indispensable au LASER pour que ses rayons lumineux passe plusieurs fois dans le milieu amplificateur. La cavité résonante permet de sélectionner les modes d'oscillation donnés par l'équation :

$$F_p = \frac{(C \times p)}{(2 \times d \times n)} \quad (B.1)$$

- ü n : Indice de réfraction du milieu contenu dans la cavité.
- ü p : Nombre entier caractéristique du mode de résonance.
- ü d : Longueur de la cavité.

### III.5.3.2.3. Caractéristiques principales des lasers :

#### III.5.3.2.3.1. Caractéristique en puissance :

L'évolution de la puissance optique fournie par le LASER en fonction de son courant de polarisation ne présente pas une bonne linéarité. Cette non linéarité rend délicate l'utilisation de ce type de sources dans les transmissions analogiques. Le courant de seuil, très sensible à la température, est donné par :  $I_s = I_0 \times e^{(T/T_0)}$  ; où T et  $T_0$  représente la température de fonctionnement et la température absolue.

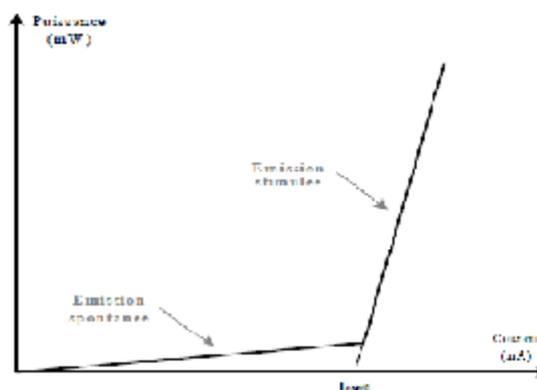


Figure III.5. Caractéristique en puissance de la diode Laser.

### III.5.3.2.4. L'exploitation du LASER dans les réseaux DWDM :

Le laser « *Fabry-perot* » est la plus simple configuration des lasers à cavité, composé d'un guide d'ondes contenant le milieu amplificateur entouré de deux miroirs à Crystal. Il produit un spectre optique multimode déterminé par la cavité de Fabry-Perot et le GAP du semi-conducteur. La dispersion chromatique de différentes fréquences émises par ce LASER limite sa distance de transmission.

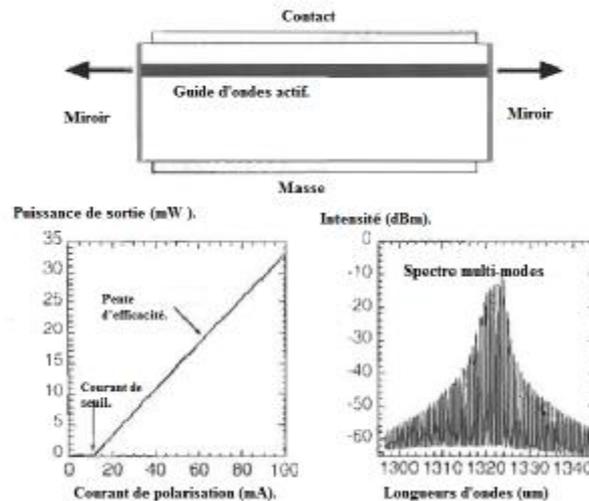


Figure III.6. Le Laser Fabry-perot.

Les lasers monomodes longitudinaux, comme les lasers à cavités modifiées par rétroaction interne distribuée (laser DFB et DBR), utilisent un mécanisme de sélection des fréquences, qui peut être accordé électriquement ou thermiquement. Ces derniers sont les plus utilisés dans les transmissions haut-débit à grandes distances comme c'est le cas de DWDM.

Les lasers DFB utilisent un réseau de diffraction à proximité de la région active pour favoriser un seul mode longitudinal. Un Laser DFB, incluant une couche à grande réflectivité (HR, Highly reflective) et une autre anti-réfléchissante (AR, Antireflecting) est illustré dans la figure suivante. La longueur d'onde du laser DFB est accordée dans un petit intervalle en changeant sa température.

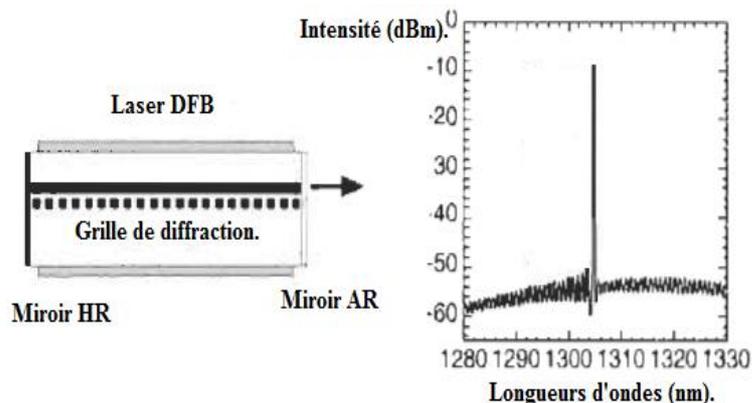


Figure III.7. Le Laser DFB.

Un autre Laser monomode, dit Laser DBR, est désigné pour un meilleur contrôle de la longueur d'onde émise. Ce dernier utilise le mécanisme de diffraction par le réseau de Bragg

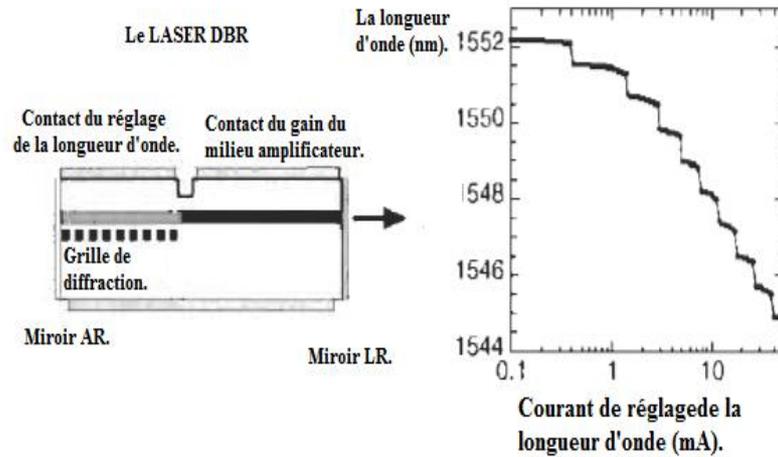


Figure III.8. La Laser DBR.

Enfin, les deux Laser DFB et DBR sont les plus utilisés dans les transmissions DWDM vu qu'ils émettent une lumière monochromatique, efficaces dans les transmissions à grande distance, permettent un bon rapport signal/bruit, et sont très linéaires. Ces Lasers ont des fréquences centrales dans la fenêtre 1310 nm et de 1520 à 1565 nm.

#### III.5.3.2.5. L'injection de la lumière LASER dans la fibre optique :

La lumière émise par la diode Laser est focalisée par une lentille dans la fibre. De l'autre coté, une photodiode est positionnée pour réduire les réflexions dans la cavité du Laser. Cette photodiode est aussi un moyen de contrôle de la sortie des Lasers et permet un feedback pour des éventuels ajustements. En fait, la tension de la photodiode impose une tension précise sur une résistance de charge, cette dernière est ensuite comparée à une tension de référence. Le signal, à la sortie du comparateur, agit sur la polarisation du Laser pour le stabiliser en température et délivrer une puissance stable.

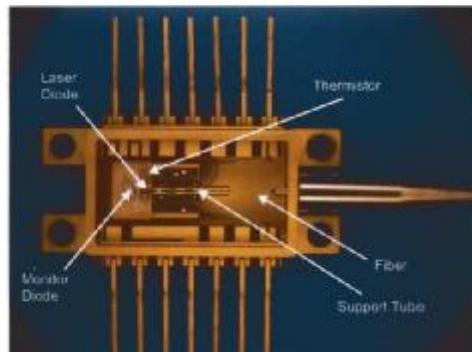


Figure III.9. L'injection du Laser dans la fibre optique.

#### III.5.4. La modulation des données :

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques.

##### III.5.4.1. La modulation directe :

Cette méthode consiste à faire varier le courant de la source. Il en résulte une variation proportionnelle de la puissance émise qui suit le signal modulateur à condition d'utiliser la partie linéaire de la caractéristique  $P_{op}=f(I)$  du laser.

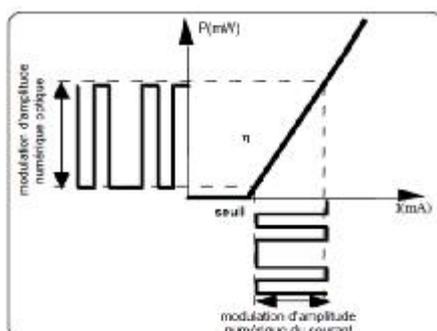


Figure III.10. Principe de la modulation directe.

Cette solution de modulation directe requiert assez peu de composants. Un laser, un générateur de courant et un circuit de commande ou driver. Le rôle du circuit de commande est de commander la source optique au niveau des puissances émises (en fixant les valeurs du courant d'alimentation). Pour cela, il modifie les niveaux du courant issus du générateur.



Figure III.11. Les blocs fonctionnels d'un circuit de modulation directe.

Les diodes Laser modulées en direct peuvent transmettre des signaux d'un débit allant du Mb/s jusqu'à 2.5 Gb/s sur une distance ne dépassant pas 200 Km dans la fenêtre 1550 nm, sans nécessiter de régénération et avec une dispersion du moins de 2 dB. Cependant pour des plus grandes distances la modulation externe est nécessaire.

#### III.5.4.2. La modulation externe :

Le modulateur est dans ce cas commandé par une tension externe  $v(t)$ , modulée et représentative de l'information à transmettre. Cette tension appliquée au modulateur a pour propriété de modifier le facteur de transmission en intensité en sortie. Le signal optique continu émis par le laser alimenté par un courant constant est pur et peu dégradé. En traversant le modulateur, il subit les modifications du facteur de transmission et le signal de sortie se trouve modulé selon  $v(t)$  (modulé en fréquence et pas en amplitude).

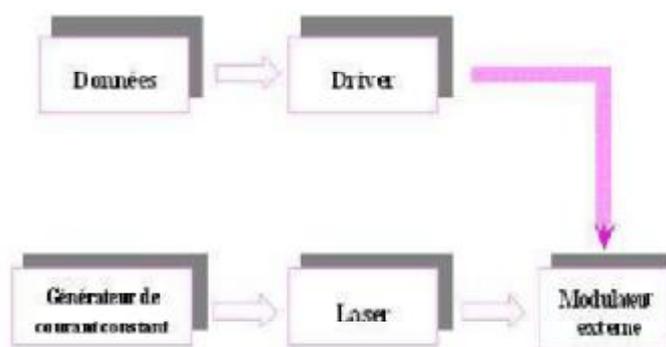


Figure III.12. Les blocs fonctionnels d'un circuit de modulation externe.

### III.6. L'exploitation des fibres optiques dans les liaisons DWDM :

Le réseau DWDM exploite la fibre optique monomode vu sa grande qualité de transmission. Les deux principaux types de ces fibres et leurs spécifications ITU-T sont :

- ü Fibre monomode blindée sans dispersion (NDSF, Non-Dispersion-Shifted fiber) : G.652.
- ü Fibre monomode blindée à dispersion décalée (NZ-DSF, Non-Zero Dispersion-Shifted fiber) : G.655.

Ils existent 4 fenêtres dans le spectre infrarouge qui ont été utilisées pour la transmission par fibre optique. La première fenêtre, près de 850 nm, était utilisée exclusivement pour les transmissions à courtes distances. Les fibres NDSF (G.652) communément appelées fibres monomodes (SM, single Mode fibers), ont été désignées pour fonctionner dans la deuxième fenêtre, près de 1310 nm. Pour optimiser la performance de cette fibre dans cette fenêtre, elle était désignée de telle sorte que la dispersion chromatique soit proche de zéro aux près de la longueur d'onde 1310 nm.

Comme l'utilisation de la fibre optique devenait de plus en plus commune et les exigences pour une plus grande bande passante et distance de déploiement augmentaient, la troisième fenêtre près de 1550 nm, était exploitée pour la transmission en monomode. La troisième fenêtre, ou la bande C, offrait deux avantages :

- ü Elle avait la plus faible atténuation.
- ü Sa fréquence d'opération était la même que celle des nouveaux amplificateurs à Erbium dopé EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifiers).

Cependant, les caractéristiques de dispersion de cette fibre étaient sévèrement limitant. Ceci a été dépassé dans une certaine mesure par l'utilisation d'une bande de ligne plus étroite et des Lasers à haute puissance.

Le deuxième type des fibres dites NZ-DSF (G.655), sont désignés spécialement pour satisfaire les besoins des applications DWDM. La finalité de sa conception est de diminuer considérablement l'atténuation dans la région 1550 nm mais pas l'annuler. Cette stratégie a effectivement introduit une dispersion à valeur contrôlée, qui s'oppose aux effets non linéaires à l'exemple de FWM qui entrave la performance des systèmes DWDM.

### III.7. Le module réception d'une liaison DWDM :

Son rôle principal est de convertir en énergie électrique, la puissance optique reçue (photons). L'énergie électrique fournie par le photodétecteur subit ensuite un traitement électronique.

#### III.7.1. Le principe des récepteurs optiques :

Ce module est composé de trois blocs :

- ü Le bloc de « **premier étage** » composé du photodétecteur. Il peut être accompagné d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photo-courant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photodétecteur.
- ü Le bloc « **linéaire** », composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre, réducteur de bruit.

- Û Le bloc « **récupération des données** », correspondant au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation.

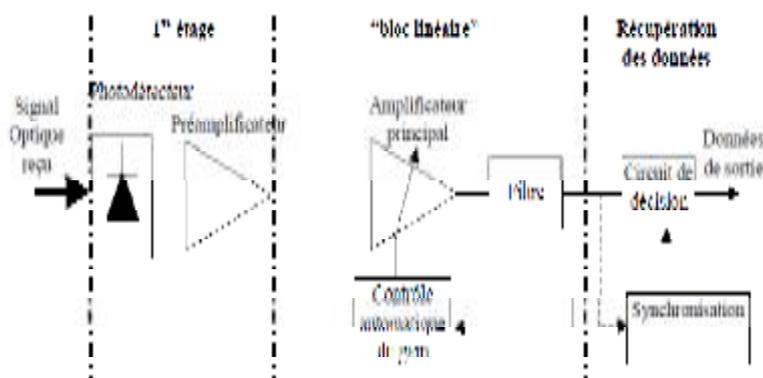


Figure III.13. Les blocs fonctionnels d'un récepteur optique.

### III.7.2. Exigences imposées aux récepteurs optiques :

Le bilan d'une liaison optique dépend en partie de celles du photodétecteur. Ce composant intervient grâce à la puissance seuil qu'il peut détecter et au bruit qu'il introduit. Pour cela, on exige au photodétecteur :

- Û D'avoir une grande sensibilité à la longueur d'onde de fonctionnement.
- Û De posséder une bande passante convenable.
- Û D'introduire un bruit minimum.
- Û De reconstituer le signal d'origine avec la plus grande fidélité.
- Û D'offrir un bon couplage avec la fibre.
- Û D'avoir une bonne stabilité en température.

### III.7.3. Les caractéristiques principales des photodétecteurs :

#### III.7.3.1. Condition d'absorption :

Sous l'effet d'un photon d'énergie suffisante, un électron de la bande de valence est arraché et passe dans la bande de conduction produisant une paire de porteurs (électron-trou):

$$h\nu \geq \Delta E \quad (\text{B.1})$$

#### III.7.3.2. Coefficient d'absorption et longueur d'absorption :

L'absorption du flux lumineux par le matériau suit une loi exponentielle donnée par :

$$P_{\text{opt}}(\mathbf{x}) = P_{\text{opt}}(\mathbf{0}) \times e^{-\alpha(\lambda) \cdot x} \quad (\text{B.1})$$

où :  $x$  : La profondeur de pénétration de l'onde lumineuse dans le matériau.

;  $\alpha(\lambda)$  : est le coefficient d'absorption du matériau qui est fonction de la longueur d'onde  $\lambda$ .

La longueur d'absorption correspond à la distance au bout de laquelle le flux lumineux décroît de 63%. Cette grandeur dépend de la longueur d'onde et égale à l'inverse de coefficient d'absorption :

$$L(\lambda) = 1 / \alpha(\lambda) \quad (\text{B.1})$$

**III.7.3.3. Longueur d'onde de coupure :**

Elle correspond à la longueur d'onde maximale qui peut être absorbée par un matériau donné de (GAP=  $\Delta E$ ) :

$$\lambda_c(\mu m) = 1,24 / \Delta E(eV) \quad (B.1)$$

La condition d'absorption peut être donc exprimée par :

$\lambda \leq \lambda_c$  : Le photon incident est absorbé et une paire électron-trou est créé.

$\lambda > \lambda_c$  : Le photon incident n'est pas absorbé.

**III.7.3.4. Le rendement quantique :**

Il nous renseigne sur le taux de conversion des photons en paires d'électrons-trous :

$$N_q = \frac{n_e}{n_p} \quad ; \text{ Avec : } n_e \text{ le nombre d'électrons créés et } n_p \text{ est le nombre de photons incidents.}$$

Connaissant  $P_{opt}(0)$  la puissance lumineuse incidente ainsi que le rendement quantique  $N_q$ , il est aisé de calculer le photo-courant créé qui est donné par :

$$I_{ph} = N_q(\lambda) \times e \times P_{opt}(0) \quad (B.1)$$

**III.7.3.5. La sensibilité du photodétecteur :**

Elle est déterminée pour une puissance incidente de 1 Watt et représente la caractéristique du transfert du photodétecteur. Elle caractérise le rendement global de conversion de la puissance lumineuse en courant électrique :

$$S(A/W) = 0,805 \times N_q(\lambda) \times \lambda (\mu m) \quad (B.1)$$

**III.7.7.6. Le courant d'obscurité:**

Il est déterminé comme le photo-courant de détecté par le photodétecteur en absence de puissance optique incidente. Il introduit beaucoup de bruit.

**III.7.4. Les types des photodétecteurs :**

Les photodiodes peuvent être classées en deux catégories : celles qui n'ont aucun interne (PN et PIN) et celles qui ont un gain interne (APD).

**III.7.4.1. Les photodiodes PIN :**

Pour effectuer la photodétection en évitant les recombinaisons des paires électron-trou, il est nécessaire que les photons soient absorbés dans une zone dépourvue de porteurs mobiles (intrinsèque), assimilable à une zone de charge d'espace d'une jonction PN. Pour favoriser le rendement quantique, il est préférable que cette zone soit large. D'où l'intérêt de la photodiode PIN :

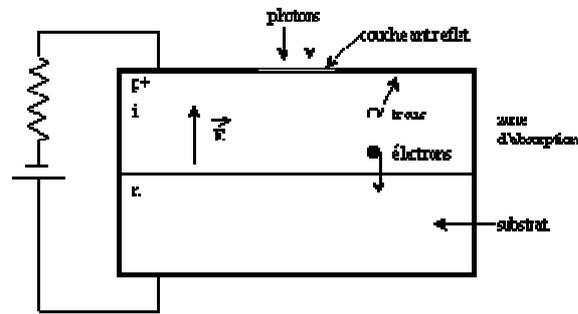


Figure III.14. Polarisation de la photodiode PIN.

On peut relever un courant d'obscurité (quelques nA),  $I_{obs}$ , qui circule dans la jonction en l'absence d'éclairement. Ce courant ne provient donc pas des photons transmis par la fibre. L'expression du courant total dans la photodiode est donnée par l'Équation suivante :

$$I_{pho} = S \times I_{opt} + I_{obs} \quad (B.1)$$

Le *temps de réponse* de la photodiode doit être très bref (  $\approx 1$  ns). Il est limité par deux facteurs. D'une part, la capacité de jonction (qui est inversement proportionnelle à la bande passante) est d'autant plus réduite que l'on élargit la *zone d'absorption*. D'autre part, le *temps de transit* diminue si on rétrécit cette zone. *Un compromis est donc à trouver*. On améliore le temps de réponse en augmentant la tension de polarisation inverse, ce qui réduit la capacité et le temps de transit. La longueur de la zone intrinsèque est optimisée afin de maximiser le rendement et le temps de réponse.

Le signal électrique émis par la photodiode n'est pas parfait, il est bruité. Il provient du caractère aléatoire de la création des paires électron-trou. Ce bruit proportionnel à la puissance optique reçue par la photodiode est inévitable. Il est nécessaire de tenir compte aussi du bruit d'obscurité associé au courant d'obscurité. En plus, la photodiode est caractérisée également par un bruit en  $1/f$  (avec  $f$  la fréquence du signal) et un bruit thermique, provenant des circuits de polarisation du photorécepteur et notamment du préamplificateur.

#### III.7.4.2. Les photodiodes à avalanche (APD) :

Lorsque la puissance lumineuse reçue est très faible (quelques nW), les courants détectés sont peu élevés (quelques nA) et se superposent au courant d'obscurité, conduisant à un mauvais rapport signal/bruit. Pour augmenter ce dernier, il est nécessaire que le courant détecté soit plus important en utilisant des photodiodes à gain interne de type avalanche.

En faisant croître le champ électrique dans la jonction PIN, l'énergie des porteurs s'élève, jusqu'au point d'ioniser un atome en cas d'impact avec celui-ci. Des ionisations en chaîne se produisent alors et les porteurs se multiplient. Le gain de multiplication par ionisation par impact, appelé aussi facteur de multiplication  $M$ , est le rapport entre le nombre moyen de porteurs secondaires créés par ionisation et le nombre de porteurs primaires provenant de la photodétection. Le gain augmente avec la différence de potentiel appliquée, mais est limité à une valeur maximale.

La valeur du courant relatif au nombre de photons absorbés devient :

$$I_{PDA} = M (V) \times S (l) \times P_{opt} \quad (B.1)$$

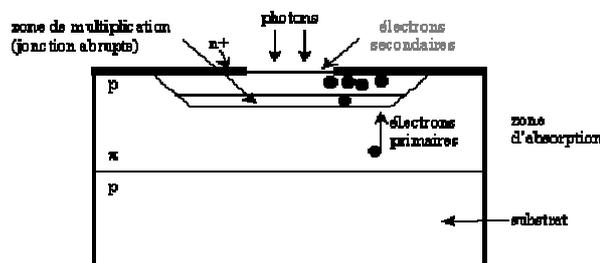


Figure III.15. La photodiode à avalanche APD.

L'absorption a lieu dans une zone large et peu dopée, dite  $\pi$  et la multiplication a lieu dans la jonction abrupte  $pn^+$ . En outre, pour une tension inverse élevée, la zone de charge d'espace s'étend dans la zone  $\pi$ , dont la résistivité va augmenter avec la tension. Le courant d'obscurité observé,  $I_{obs}'$ , est plus important dans une photodiode en régime d'avalanche, mais il reste en général inférieur au gain,  $M$ , multiplié par le courant d'obscurité. En effet, toutes les composantes de celui-ci ne subissent pas le phénomène d'avalanche. Le courant débité par la PDA vaut :

$$I_{ph}' = M \times S \times P_{opt} + I_{obs}' \quad (B.1)$$

La rapidité est inférieure à celle des photodiodes PIN, à cause du temps de multiplication, mais reste élevée (de l'ordre de la nanoseconde). Il faut noter que le bruit quantique est également multiplié par le gain  $M$ . De plus, chaque porteur primaire ne donne pas naissance à un même nombre  $m$  de porteurs secondaires. Cette fluctuation de  $m$  donne naissance à un bruit supplémentaire.

#### III.7.4.3. La comparaison PIN-APD :

<i>caractéristiques</i>	<i>PIN</i>	<i>APD</i>
<i>technologie</i>	simple	complexe
<i>Mise en œuvre</i>	simple	délicate
<i>Gain interne</i>	non	Oui (gain d'avalanche)
<i>Tension de polarisation</i>	faible	élevée
<i>Courant d'obscurité</i>	faible	moyenne
<i>Facteur d'accès de bruit</i>	non	oui

Tableau III.1. Comparaison des caractéristiques des photodiodes PIN et APD.

#### III.7.5. L'exploitation des photodétecteurs dans les réseaux DWDM ( 10 Gb/s) :

Pour surpasser le compromis entre le rendement quantique (coefficient d'absorption) et le temps du transit inhérent aux photodiodes, une technique qui est largement utilisée est celle des guides d'ondes- photodiodes. Dans cette structure, la photodiode est implémentée dans un guide d'ondes de telle sorte que la lumière incidente se propage horizontalement et elle est absorbée sur une longue distance  $L$ , ce qui permet d'avoir un grand coefficient d'absorption.

Les porteurs générés sont collectés verticalement à travers une grande distance, ce qui permet un plus court temps du transit et une plus large bande passante. Ainsi le temps du transit et le rendement quantique deviennent découplés et peuvent être optimisés indépendamment. Ce type qui est illustrée dans la figure suivante :

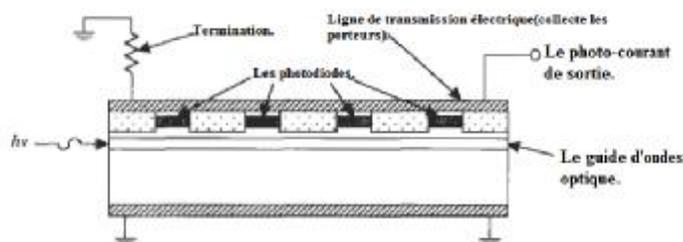


Figure III.16. Principe de la photodétection utilisée dans les systèmes DWDM.

### III.8.L'exploitation des amplificateurs optiques dans le réseau DWDM :

L'amplification dans le DWDM peut intervenir sur l'ensemble des  $N$  longueurs d'onde d'un multiplex, sans distorsion du signal utile.

L'amplification optique repose sur le phénomène d'émission stimulée. Le signal est amplifié dans un guide (semi-conducteur ou fibre) grâce à un apport extérieur d'énergie appelé pompage (courant injecté ou source de lumière) qui vient créer une inversion de population. La recombinaison électron-trou peut ensuite être provoquée par un photon incident, ce qui donne naissance à un deuxième photon de même fréquence, de même phase et même direction. Cette émission est dite stimulée et conduit à une amplification du signal.

En même temps, la recombinaison peut se faire sans la présence d'un photon incident. Ces photons, émis de façon spontanée, de manière non cohérente, constituent le bruit de l'amplification optique. L'ensemble des photons, originels ou pas, subissent une série d'amplifications. Les photons spontanés seront aussi amplifiés, ce qui définit la source de bruit appelée ESA (Émission Spontanée Amplifiée).

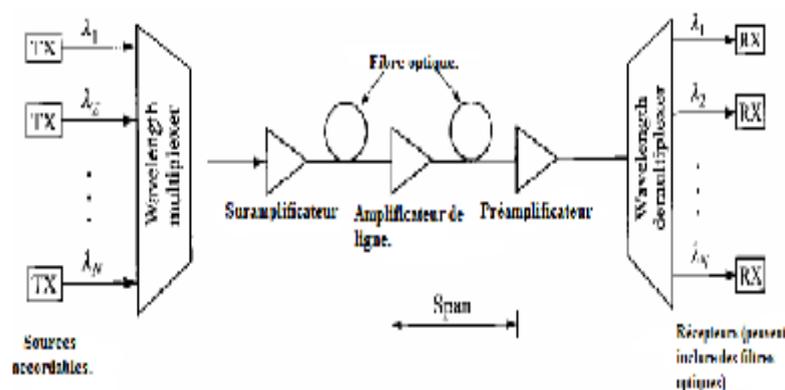


Figure III.17. Exploitation des amplificateurs dans un système DWDM.

#### III.8.1. Les amplificateurs à semi-conducteur (AOSC) :

La structure de base de l'AOSC est peu différente de celle d'une diode laser. Nous retrouvons l'inversion de population, l'émission spontanée et stimulée, les recombinaisons non radiatives, une source externe. Mais contrairement aux lasers à semi-conducteur, il n'y a pas de

miroirs aux extrémités mais un revêtement antireflets déposé sur les faces clivées afin de diminuer les réflexions de la lumière vers l'intérieur du circuit.

Le semi-conducteur le plus utilisé dans les SOA (Semi-conductor Optical Amplifier) est le composé quaternaire InGaAsP. Ce matériau a un GAP correspondant à une longueur d'onde émise de 0.9 à 1.65  $\mu\text{m}$ . Une amplification efficace est obtenue en confinant la lumière et les porteurs injectés dans une étroite couche active. Ceci est accompli en l'enfermant entre deux couches du revêtement d'un plus grand GAP et plus petit index de réfraction. Le SOA est caractérisé par des pertes du couplage mais grâce aux lentilles, les pertes de couplages sont réduites entre 2 et 4 dB. Parmi les caractéristiques les plus attrayantes du SOA, son gain élevé qui peut aller jusqu'à 30 dB et une grande bande passante de l'ordre de 5 THz, soit environ 40 nm autour de 1550 nm. Cependant ce gain dynamique très rapide induit une grande diaphonie entre les canaux DWDM.

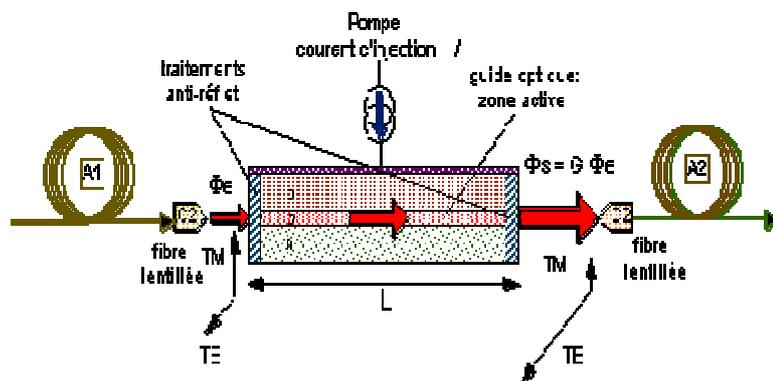


Figure III.18. L'amplificateur à semi-conducteur.

### III.8.2. L'amplificateur à Erbium dopée (EDFA) :

Le milieu amplificateur est cette fois-ci le cœur d'une fibre optique monomode dopée avec des ions de terre rare. Pour que la fibre ne soit pas absorbante, mais amplificatrice, il faut l'associer à un pompage optique. Un multiplexeur permet de coupler le flux lumineux puissant provenant d'une diode laser de pompe et le signal à l'intérieur de la fibre.

La longueur de la fibre est généralement comprise entre 10 et 50 mètres. Pour l'amplification autour de 1550 nm, fenêtre spectrale la plus utilisée car de faible atténuation des fibres optiques en silice, les dopants sont des ions Erbium  $\text{Er}^{3+}$ . On parle alors d'Amplificateur à Fibre Dopée à l'Erbium (AFDE ou EDFA, Erbium Doped Fiber Amplifier). 980 et 1480 nm sont les deux longueurs d'onde de pompe les mieux adaptées à l'EDFA. Et des diodes lasers à semi-conducteur sont disponibles à ces longueurs d'onde (lasers en AlGaAs pour le 980 nm et lasers en InGaAsP pour le 1480 nm).

Des isolateurs présents à chaque extrémité assurent aussi la stabilité en bloquant tous les faisceaux lumineux susceptibles de revenir en aval. Les amplificateurs EDFA permettent un gain de plus de 30 dB, une puissance de sortie de +17 dB. Le gain d'un EDFA est dépendant de la longueur d'onde, ceci est corrigé en utilisant des filtres permettant une amplification uniforme des différentes longueurs d'ondes.

Le bruit d'émission spontanée amplifiée (ESA) est un phénomène cumulatif et ne peut être évité. Le rapport signal/bruit est un facteur ultime qui limite le nombre d'amplificateurs concaténés. Dans la pratique, les signaux peuvent traverser jusqu'à 120 Km entre amplificateurs. Pour de plus

longues distances allant de 600 à 1000 Km, le signal doit être régénéré. Cela parce que l'EDFA amplifie simplement les signaux et n'assure pas les trois fonctions de régénération, synchronisation et retransmission.

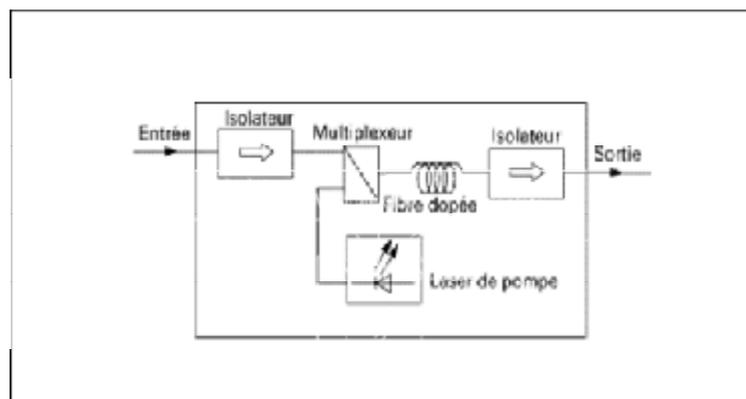


Figure III.19. L'amplificateur EDFA.

### III.9. Le multiplexage en longueur d'onde WDM :

Les multiplexeurs optiques peuvent être classés en trois catégories :

#### III.9.1. Multiplexage à Filtre Optique :

Les filtres permettent la séparation spectrale en réfléchissant une certaine gamme de longueurs d'onde et en transmettant les autres. En effet Le filtrage a pour but de limiter l'occupation spectrale d'un signal. D'autre part Le multiplexage optique regroupe les signaux occupant des gammes de longueurs d'onde différentes tandis que la fonction réciproque, le démultiplexage, permet de séparer des signaux occupant des bandes de longueurs d'onde différentes.

##### III.9.1.1. Les types des filtres optiques :

###### III.9.1.1.1. Les filtres dichroïques :

Ces dispositifs présentent un pic de réflexion à une longueur d'onde donnée. Il est possible d'accroître le domaine de réflexion en empilant des couches successives et d'obtenir ainsi des filtres passe haut et passe bas. Les filtres dichroïques sont donc constitués par un empilement des couches diélectriques d'indice alternativement haut et bas. Le filtre est caractérisé par son coefficient de transmission  $T$  en bande passante, et son coefficient de réflexion  $R$  en bande atténuée.

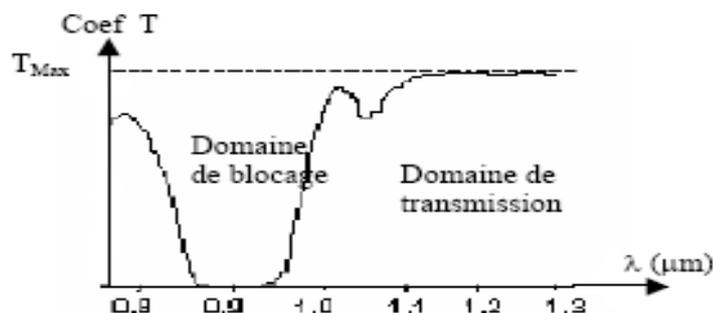


Figure III.20. La variation du coefficient de transmission d'un filtre dichroïque.

Pour obtenir ses performances, un contrôle précis des épaisseurs déposées s'impose. En pratique, on arrive à une séparation spectrale  $\Delta\lambda > 0,05\lambda$  (soit 50nm à la longueur d'onde de  $1\mu\text{m}$ ).

### III.9.1.1.2. Les filtres Fabry-Perot :

Ils ont une caractéristique de transmission passe bas, ils présentent un pic de transmission étroit autour d'une longueur d'onde  $\lambda_0$  et les deux domaines spectraux adjacents sont réfléchis. Pour accroître la raideur du filtre, on peut répéter l'empilement pour un assemblage à deux ou trois cavités. Comme pour le filtre dichroïque, le coefficient de réflexion est supérieur à 99%, le coefficient de transmission peut atteindre 95%.

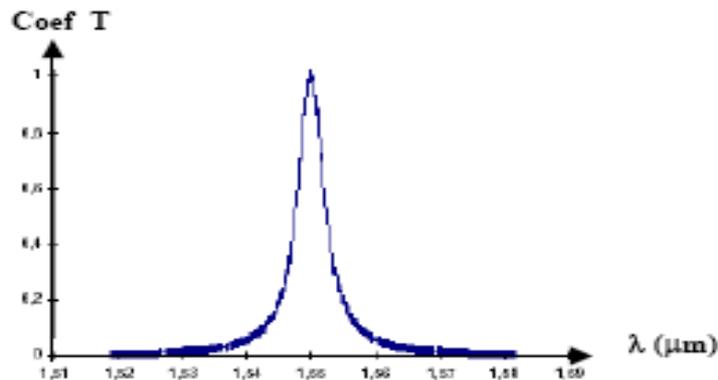


Figure III.21. La variation du coefficient de transmission d'un filtre Fabry-perot.

### III.9.1.2. L'exploitation des filtres optiques dans les réseaux DWDM :

Une solution adoptée sur certains dispositifs, pour la réalisation de multiplexage et démultiplexage WDM, est le dépôt du filtre optique sur l'extrémité d'une fibre optique.

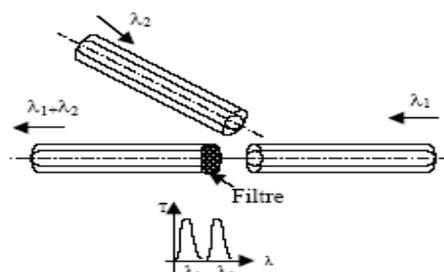


Figure III.22. Le multiplexeur à filtre optique.

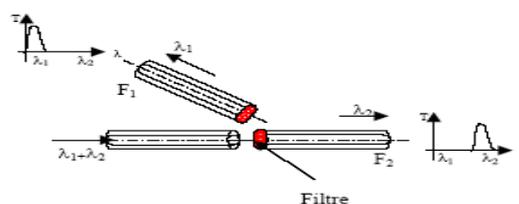


Figure III.23. Le démultiplexeur à filtre optique.

### III.9.2. Multiplexage à coupleurs sélectifs :

Le principe de ces composants est l'interaction cohérente entre deux guides optiques, ils sont appelés les coupleurs de puissance, qui sont utilisés pour coupler ou séparer les signaux optiques de différentes longueurs d'ondes. Il existe plusieurs formes de coupleurs, telles que les coupleurs en X (2 : 2), les coupleurs en arbres, les coupleurs en étoile qui disposent de N entrées et

de N sorties, les coupleurs séries qui disposent de deux entrées et une sortie et inversement, les coupleurs en T et les coupleurs en Y.

### III.9.3. Multiplexage à Réseau de Diffraction :

Le réseau à l'avantage de traiter simultanément un grand nombre de voies à l'intérieur de la même fenêtre. Un réseau se compose d'une surface optique qui transmet ou réfléchit la lumière et sur laquelle un grand nombre de traits sont gravés au diamant.

Le réseau a la propriété de renvoyer, séparer angulairement, les différentes longueurs d'ondes contenues dans un même faisceau incident. En vertu du principe de retour inverse de la lumière, le réseau peut combiner dans une même direction des faisceaux incidents séparés angulairement et des longueurs d'onde adéquates. L'angle de diffraction est fonction de l'espacement des traits et de l'angle d'incidence.

Considérons le cas de réseaux à surface optique réfléchissante et un rayonnement monochromatique de longueur d'onde. Soit  $\theta_1$  l'angle du rayonnement incident avec la normale au réseau et  $\theta_2$  l'angle du rayon diffracté. Le réseau est caractérisé par des traits régulièrement espacés d'une distance « a ».

La différence de marche entre deux rayons diffractés est :  $D=a (\sin\theta_1+\sin\theta_2)$ . Lorsque la différence de marche est multiple de la longueur d'onde, on déduit l'équation de diffraction du réseau :

$$\sin\theta_1 + \sin\theta_2 = K\lambda / a \quad (\text{B.2})$$

;avec K : l'ordre d'interférence (nombre entier).

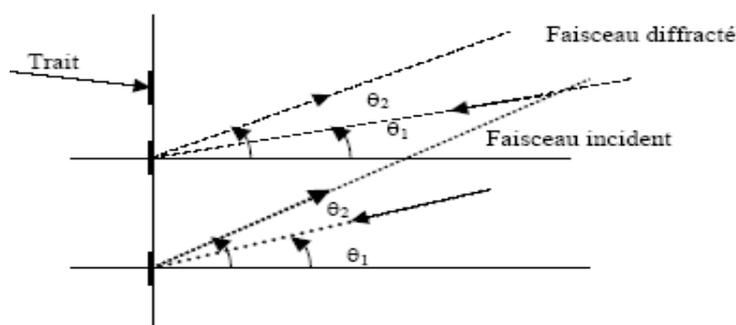


Figure III.24. Schéma principe d'un réseau de diffraction en réflexion.

## III.10. Les équipements d'un réseau DWDM :

### III.10.1. Les multiplexeurs à insertion/extraction optiques :

#### III.10.1.1. Les types des OADM : on distingue deux types :

ü **OADM fixe** : Il représente la première génération de multiplexeurs à Insertion/Extraction Optique. Les longueurs d'ondes à insérer/extraire étaient fixe pour un OADM fixé.

ü **OADM dynamique** : A l'inverse des OADM statiques, les OADM dynamiques peuvent être reconfigurés. Il existe deux générations : la deuxième est utilisée dans les réseaux WDM point à point pour remplacer les OADM de première génération et apporter les avantages de la configuration du réseau, la troisième génération est aujourd'hui utilisée dans les boucles optiques pour pouvoir extraire une longueur d'onde particulière (qui peut être reconfigurée) et insérer de nouvelles données à sa place.

### III.10.1.2. Les fonctionnalités de l'OADM :

En général, les affluents optiques entrants qui arrivent sur l'interface de canal unique (SCI: *single channel interface*) ont des longueurs d'onde non spécifiées générées dans des convertisseurs électrique/optique. Elles sont converties en longueurs d'onde normalisées dans un répéteur d'émission (TP), multiplexées dans un coupleur à fibres et transmises à l'interface de conduit principal (MPI: *main path interface*) via un amplificateur d'émission (SA) optique.

Dans le sens de la réception, les signaux de ligne entrants sont amplifiés dans un amplificateur de réception (RA) optique et démultiplexés dans des filtres à longueurs d'onde discrètes. Il faut avoir recours à des transpondeurs de réception (RTP: *receive transponders*) si les signaux à 1,55  $\mu\text{m}$  ne conviennent pas pour les convertisseurs subséquents. Outre les fréquences d'insertion/extraction, d'autres fréquences peuvent traverser le multiplexeur OADM. La fonction d'insertion/extraction du canal OSC n'est pas représentée dans la figure.

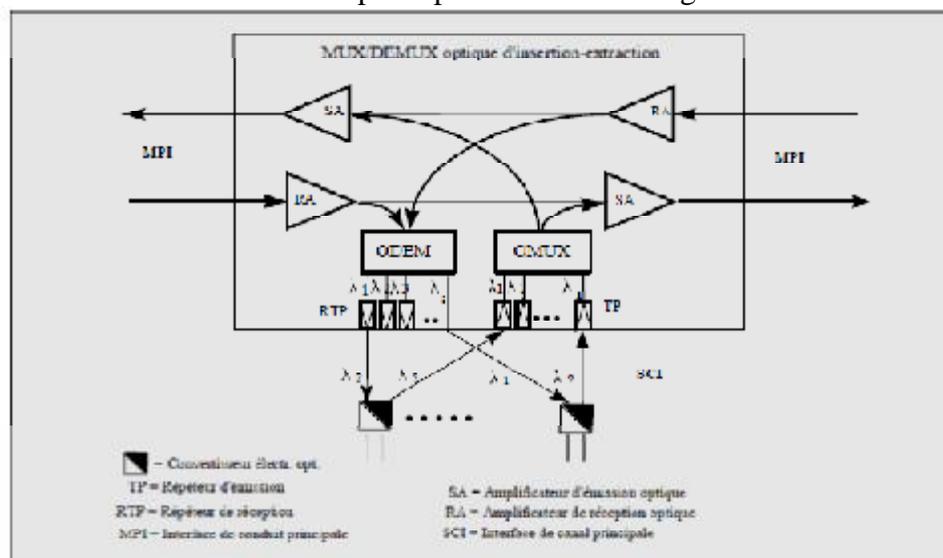


Figure III.25. Les blocs fonctionnels d'un OADM.

### III.10.2. Les brasseurs optiques (OXC, Optical Cross Connect):

#### III.10.2.1. Les brasseurs passifs :

Dans ces brasseurs on utilise la même longueur d'onde de bout en bout, il n'est y'a pas de réallocation des longueurs d'onde.

- ü **Brasseur fixe (brasseur à fibre):** Dans un brasseur fixe les connections sont permanentes. Il permet à un message arrivant sur un port d'entrée du démultiplexeur d'être routé vers un autre port de sortie du multiplexeur sur la même longueur d'onde.
- ü **Brasseurs dynamiques :** Un brasseur dynamique contient : des démultiplexeurs 1 : N pour séparer les différentes longueurs d'onde de chaque signal d'entrée, des multiplexeurs N : 1 pour combiner les N différentes longueurs d'onde de chaque signal de sortie, et des matrices des commutateurs optiques pour le routage des signaux. Dans cette architecture particulière, nous supposons la disponibilité d'une matrice pour chaque longueur d'onde. Dans un brasseur dynamique, des commutateurs optiques sont introduit afin qu'un message arrivant sur un port d'entrée puisse être routé vers n'importe quelle sortie, mais sur la même longueur d'onde.

### III.10.2.2. Les brasseurs Actifs (brasseur avec échange $\lambda$ ):

Un brasseur actif contient : des démultiplexeurs 1 : N, des multiplexeurs N : 1, des matrices MxM et des commutateurs optiques pour le routage des signaux. Dans cette architecture particulière, nous supposons la disponibilité d'une matrice pour chaque longueur d'onde. Une certaine matrice K permet donc de distribuer dynamiquement les M signaux de longueur d'onde  $\lambda_k$  provenant des ports d'entrée vers les M ports de sortie. Le commutateur optique permet de relier M ports d'entrées avec M ports de sorties.

Dans un brasseur actif, les canaux optiques peuvent utiliser plusieurs longueurs d'onde. Pour cela un étage de convertisseur de longueurs d'onde est ajouté, qui permet une régénération partielle du signal (remise en forme), et permet de convertir le signal optique modulé sur une longueur d'onde donnée à l'entrée en un même signal modulé sur une autre longueur d'onde à la sortie.

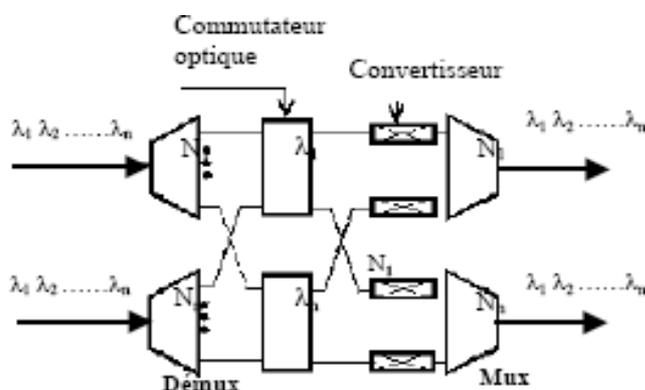


Figure III.26. Les blocs fonctionnels d'un brasseur actif.

### III.11. Topologies et systèmes de protection dans les réseaux DWDM :

Toutes les topologies et méthodes protections du trafic utilisés dans le réseau SDH, à savoir MSP, SNCP, MS-DPR, MS-SPR peuvent être utilisés dans le réseau DWDM (Voir II.7.).

Cependant, la nouveauté apportée par la technologie optique DWDM est qu'elle peut faire passer la protection au niveau « longueur d'onde » réduisant ainsi la redondance matérielle très onéreuse utilisée dans les systèmes SDH.

La protection au niveau longueur d'onde sera beaucoup plus performante avec le développement de la commutation tout-optique et le déploiement de la topologie « maillé » la plus favorable pour le routage optique.

### III.12. Considérations pratiques dans le dimensionnement des réseaux DWDM :

#### III.12.1. Choix de la fibre et détermination de la portée maximale de la liaison:

##### III.12.1.1. Choix de la fibre :

Comme on l'a déjà mentionné, les fibres anciennes ne sont pas accommodées pour les systèmes DWDM, alors que les nouveaux types, comme NZ-DSF (G.655), sont spécialement optimisés pour une utilisation dans ce système. La fibre standard monomode (G.652), qui est actuellement la plus installée, peut supporter le système DWDM dans les réseaux métropolitains (MAN). Mais si une nouvelle fibre doit être installée, la fibre NZ-DSF est la mieux indiquée surtout dans les réseaux « Backbone ».

**III.12.1.2. Longueur maximum d'un canal non dispersif :**

Connaissant les caractéristiques de la liaison, la marge imposée, il est facile de déterminer la portée maximum de ce type de canal :

$$L_{SD} = \frac{P_E - P_{R \min} - M - a_{CE} - a_{CR}}{a_j + a_L} \quad (\text{B.1})$$

**Ø Affaiblissements :**

- Ü  $\alpha_{CE}$  : Affaiblissement de couplage entre la source et la fibre.
- Ü  $\alpha_j$  : Affaiblissement des différentes jonctions (fixes et mobiles).
- Ü  $\alpha_L$  : Affaiblissement linéaire de la fibre.
- Ü  $\alpha_{CR}$  : Affaiblissement de couplage entre la fibre et le détecteur.

**III.12.1.3. Longueur maximum d'un canal dispersif :**

La portée maximum d'une liaison réelle dépend de l'atténuation totale du canal et de la limitation de la bande passante due aux différentes dispersions. La détermination de la portée maximum d'un canal réel (dispersif) se fait de la manière suivante :

- Ü Une fois que la longueur totale à été déterminée (absence de dispersion) on vérifie, pour cette longueur, si la bande passante de la fibre est suffisante pour être correctement transmise.
- Ü A partir de cette longueur, on calcule les différentes bandes passantes (Bande chromatique, Bande modale et bande totale).
- Ü On compare la bande passante totale de la fibre avec celle du système de transmission. Ceci conduit à deux possibilités :
  - Ø  $B_{\text{Globale}} \geq B_{\text{sys}} \Rightarrow$  la longueur calculée permet une transmission correcte du signal.
  - Ø  $B_{\text{Globale}} < B_{\text{sys}} \Rightarrow$  la longueur choisie ne permet pas de transmettre correctement le signal. Il faut, dans ce cas, rechercher la plus faible bande passante ( $B^{\text{int}}$  et  $B^{\text{chr}}$ ).
- Ü Le calcul de la nouvelle longueur maximum (canal dispersif) se fait à partir de la relation suivante :  $L = \text{Min}(L_{SD}, L_{AD})$  (B.1)

$L_{SD}$  : longueur de la liaison non dispersive.

$L_{AD}$  : longueur de la liaison dispersive.

Dans les liaisons actuelles (SDH, DWDM) seules les fibres monomodes sont utilisées. La bande totale d'une fibre optique monomode est égale à sa bande chromatique et dont le calcul se fait comme suit :

$$B = \frac{1}{2ML\sigma} \quad (\text{B.1})$$

- Ü  $M$  : Paramètre de dispersion chromatique du matériau.
- Ü  $L$  : Longueur de la fibre.
- Ü  $\sigma$  : Largeur spectral de la source à -3 dB.

Un résultat important établi à partir de cette équation et qu'on retiendra pour le reste de notre travail c'est que la fibre standard SMF/G.652 peut au maximum transmettre, sans amplification, un signal de 10 Gb/s sur une distance de 100 Km.

### III.12.2. Considérations particulières pour les liaisons numériques :

#### III.12.2.1. Interférence inter-symboles :

Au cours de sa propagation, le signal numérique subit une détérioration (élargissement de l'impulsion) due au caractère dispersif de la fibre. Cet élargissement se traduit par le phénomène d'interférence inter-symboles qui augmente le TEB et dégrade la qualité de la liaison. Pour éviter toute distorsion du signal la bande passante totale doit satisfaire la condition de Nyquist :

$$B_{\text{totale}} \leq \frac{1}{2\sigma} \quad (\text{B.1})$$

Où  $\sigma$  représente l'étalement de l'impulsion.

#### III.12.2.2. Choix du code de transmission :

##### III.12.2.2.1. Paramètres recommandés :

Û **Spectre en bande de base** : Il doit satisfaire aux spécifications suivantes :

- Ø Un encombrement minimum.
- Ø Une transmission nulle en continu.

Û **Récupération du rythme** : Elle est nécessaire lors de la prise de décision (1 ou 0) et également lors de la régénération du signal numérique. Il faut donc que le code en ligne choisi permette la récupération du signal d'horloge.

Û **Contrôle automatique du taux d'erreur** : Pour que ce contrôle puisse se faire sans interruption de la transmission, il faudrait que le code utilisé soit redondant.

##### III.12.2.2.2. Représentation des signaux codés :

Parmi les codes les plus utilisés nous citerons les codes NRZ et CMI dont la représentation est donnée par le tableau suivant :

Séquence à transmettre	0    1    0    1    1    0    0 
Signal codé NRZ	
Signal codé CMI	

Tableau III.2. Représentation des signaux codés NRZ et CMI.

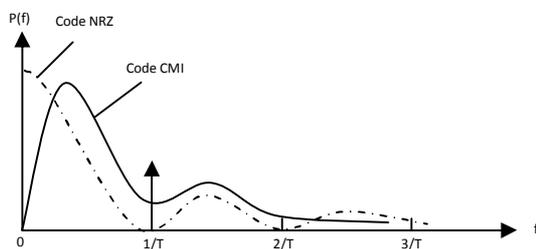


Figure V.27. Densité spectrale de puissance des codes NRZ et CMI

Code NRZ	Code CMI
0,86/T	170/T

Tableau III.3. Bande de fréquence contenant 90 % de la puissance

### III.12.2.2.3. Particularités des différents codes :

#### Ø Code NRZ :

- ü Possède une composante spectrale non nulle.
- ü Plusieurs séquences de zéros ne contiennent aucune information sur le rythme. Pour éviter de longues séquences de zéros (de un) on utilise un brouilleur à l'émission et un débrouilleur à la réception. Le brouillage est une opération qui consiste à émettre avec le signal, une séquence pseudo-aléatoire que l'on élimine à la réception à l'aide du débrouilleur.
- ü Grande facilité de mise en œuvre.

#### Ø Code CMI :

- ü Ne transmet aucune énergie en continu.
- ü Présente une raie d'horloge dans le spectre.
- ü Permet la détection d'erreurs.

#### Ø Efficacité du code :

La bande passante et le débit sont liés par la relation suivante :  $B_{sys}(MHz) = hD(Mbit/s)$   
(B.1)

Où  $h$  est le facteur d'efficacité du code.

Code	NRZ	CMI
Efficacité	0,7	1,4

Tableau III.4. Efficacité des codes NRZ et CMI.

### III.12.3. Le bilan de la liaison optique (le budget de puissance) :

L'allocation de la puissance optique aux liaisons pour compenser les pertes est un point critique et principal dans la planification du réseau DWDM. Le but de calcul des pertes optiques de la liaison est de s'assurer qu'elles ne dépassent pas le budget en puissance alloué à la liaison. Les valeurs typiques des pertes d'une liaison sont les suivantes :

- Û **Les pertes des connecteurs** : Ont une valeur de 0,2 dB si les connecteurs sont modernes, conçus pour les fibres monomodes et usiné par le même vendeur. Si les fabricants des deux connecteurs (bouts de la fibre) sont différents, la valeur moyenne des pertes d'épissure sera de 0,35 dB.
- Û **Les pertes d'épissures** : En pratique, chaque épissure (sur 3 Km environ) apporte un affaiblissement moyen de 0,03 dB.
- Û **Les pertes de la fibre** : L'atténuation cause des pertes d'ordre de 0,25 dB/Km.
- Û **La marge d'exploitation** : Une valeur qui tient compte des différentes perturbations dans le fonctionnement (dérive en température, remplacement des composants, âge de la fibre (2 dB)... ) et qui évite l'utilisation de système de transmission aux limites de sa capacité. En pratique, on utilise une valeur moyenne de 5 dB.

L'équation de calcul de l'atténuation totale d'une liaison optique est la suivante :

$$ATT_{TOT} = Att_{Fibre} + Att_{Epissures} + Att_{Connecteurs} + Marge_{Exploitation} \quad (B.1)$$

L'équation de calcul du budget de puissance est la suivante :

$$B_{Optique}(dB) = P_{réception}(dB) - P_{émission}(dB) + G_{amplification}(dB) \quad (B.1)$$

Si le budget de puissance calculé est supérieur à l'atténuation totale de la liaison, la liaison fonctionne dans les limites acceptables. Sinon, quelques changements doivent être faits. Ceci peut inclure l'ajout d'un amplificateur, réduire le nombre d'éléments induisant les pertes au long de la liaison, à l'exemple des modules de compensation de dispersion DCM. Le reconditionnement de la fibre, qui inclut le changement des connecteurs ou leur nettoyage, peut aussi être nécessaire pour réduire les pertes.

### III.12.4. Vérification de la qualité de la liaison :

Bien que le niveau de puissance minimum que le récepteur doit détecter  $P_{réception}$  dépend en analogique, du rapport signal sur bruit et en numérique, du débit et du taux d'erreur, une bonne pratique serait toujours de vérifier la qualité de la liaison. Ceci fait par une autre méthode pour s'assurer de l'absence de toute éventuelle erreur :

### III.12.4.1. Détermination du rapport OSNR requis à base du TEB :

Un cahier de charges d'une liaison numérique exige toujours un Taux d'Erreurs Binaires qui permettra un bon fonctionnement de la liaison. Cependant les caractéristiques techniques des composants de toute liaison optique nous permettent seulement d'avoir le rapport signal/ bruit optique OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) :

$$TEB = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits reçus}} \quad (\text{B.1})$$

L'étape suivante serait donc de déterminer le rapport OSNR correspondant au TEB requis. Ceci fait en utilisant la relation suivante :

$$TEB = \frac{1}{2} \times \operatorname{erfc} \left( \frac{\text{OSNR}}{2\sqrt{2}} \right) \quad (\text{B.1})$$

Où  $\operatorname{erfc}$  est la fonction d'erreurs complémentaire donnée par la relation suivant

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \times \int_x^{\infty} e^{-y^2} dy \quad (\text{B.1})$$

Le tableau ci-dessous, donne les valeurs du rapport OSNR en fonction des différents taux d'erreurs :

OSNR (dB)	TEB	OSNR (dB)	TEB
9,51	$10^{-6}$	13,42	$10^{-11}$
10,4	$10^{-7}$	14,08	$10^{-12}$
11,23	$10^{-8}$	14,71	$10^{-13}$
12	$10^{-9}$	15,31	$10^{-14}$
12,73	$10^{-10}$	15,89	$10^{-15}$

Tableau III.5. Correspondance entre l'OSNR et le TEB

### III.12.4.2. Calcul de la qualité de la liaison pour les différents bonds :

Après avoir déterminé le rapport Signal/Bruit requis au niveau des récepteurs, on utilise la relation suivante pour s'assurer de sa satisfaction :

$$\text{OSNR(dB)} = 58 \text{ (dBm)} + P_{\text{ch}} \text{ (dBm)} - F \text{ (dB)} - L_{\text{span}} \text{ (dBm)} - 10 \log_{10} (N_{\text{span}}) \quad (\text{B.2})$$

- Ø  $P_{\text{ch}}$  : La puissance allouée au bond de la liaison.
- Ø  $F$  : La puissance de bruit introduite par les amplificateurs installés au niveau du bond (typiquement,  $F = 5$  dBm pour chaque EDFA).
- Ø  $L_{\text{span}}$  : L'atténuation du bond de la liaison.
- Ø  $N_{\text{span}}$  : Nombre des bonds de la liaison.

### III.12.5. La stratégie d'approvisionnement :

Le système DWDM est un investissement à long terme autant qu'il répond à l'augmentation exponentielle de la demande en termes du débit. Les topologies « point à point » et « anneau » peuvent servir de fondation pour le passage aux « topologies maillées » les plus favorables au futur routage optique.

### III.12.6. La stratégie de protection et de restauration :

Il existe principalement des défaillances d'équipements, par exemple la coupure de la fibre, et des défaillances logicielles comme l'indication d'une dégradation du signal par un retour de bit erronés inacceptable (BER). La protection en cas de défaillance d'équipement est assurée par la redondance de l'équipement, d'un composant (les cartes de protection) ou de la fibre. Dans le deuxième cas est surpassé par une meilleure gestion et contrôle des longueurs d'ondes.

### III.13. Conclusion :

Le système DWDM va continuer à satisfaire la croissance de la demande en termes de bande passante. En effet, la capacité de ce système agrandira encore plus avec les avancées marquées dans l'espacement des canaux de plus en plus étroit, ce qui permettra donc un plus grand nombre de longueurs d'ondes. Les systèmes DWDM se développent vers les réseaux tout-optique avec l'approvisionnement en longueur d'ondes et la protection basé sur les topologies maillées. La commutation tout-optique va permettre cette évolution, autant que les protocoles de routage optique vont permettre à la lumière de traverser le réseau dans la même manière que les circuits virtuels font aujourd'hui.

On prévoit que les futurs réseaux de transmission utiliseront le mode de transfert ATM pour la prestation des services. Les signaux ATM peuvent être transportés par transmission SDH et les signaux SDH peuvent être transportés par la transmission DWDM. La Figure suivante montre qu'en associant ces technologies on peut obtenir une variété de systèmes de protection et d'acheminement. Dans l'exemple représenté, la protection par DWDM et SDH coopère avec les moyens de réacheminement des nœuds ATM, commandés par exemple par un système de gestion du réseau :

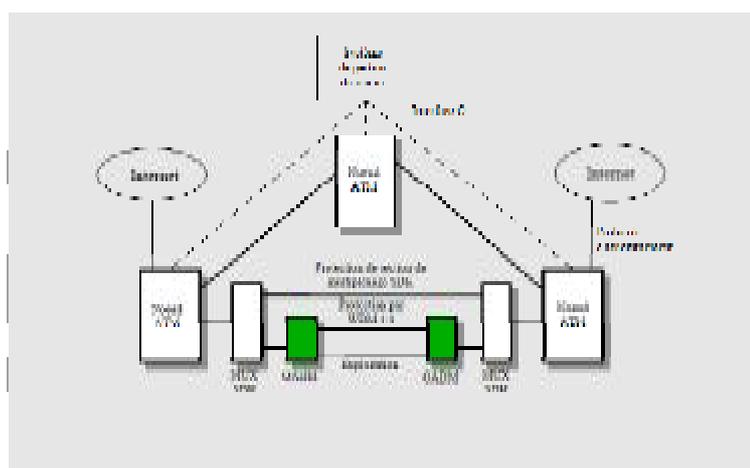


Figure III.28. L'association des technologies SDH, WDM, ATM dans les réseaux futurs.

# *Chapitre IV*

L'exploitation des technologies SDH et DWDM par  
Algérie Telecom

## **IV.1. Introduction :**

Pour répondre à l'augmentation de la demande en termes du débit qui se pose actuellement, ALGERIE TELECOM se doit de faire évoluer la couche SDH telle qu'elle est déjà déployée vers DWDM. Une telle évolution du réseau doit se faire dans la continuité en essayant de rentabiliser les infrastructures en fibres optiques et systèmes déjà installés.

## **IV.2. Le réseau de télécommunication d'ALGERIE TELECOM :**

### **IV.2.1. Description du réseau :**

ALGERIE TELECOM (AT) a un réseau multiservice pouvant supporter les services nécessaires à une activité d'opérateur de télécommunication en interne et en externe, à savoir : la vidéo, l'internet, l'interconnexion des réseaux locaux d'entreprises et la téléphonie fixe et mobile.

AT en tant qu'opérateur des opérateurs, modernise son réseau de télécommunications par la mise en œuvre du réseau backbone en fibre optique de grande capacité DWDM parallèlement au réseau SDH pour satisfaire les besoins des opérateurs entrants, les banques, les entreprises, et tous les utilisateurs afin de contribuer au mieux au développement national.

AT, par le dimensionnement du réseau algérien, tien compte non seulement des prévisions du trafic mais aussi de l'aspect sécurisation, supervision et synchronisation pour une sauvegarde totale du trafic. Pour une meilleure qualité de service et par souci d'une prise en charge efficace de sa clientèle, AT a mis en place son « Call Center » à la disposition de tous.

### **IV.2.2. Architecture du réseau :**

#### **IV.2.2.1. Le réseau Backbone d'ALGERIE TELECOM:**

Le backbone algérien actuel en fibre optique exploite les deux technologies SDH et DWDM en parallèle. Il est constitué de:

- ü Deux systèmes d'anneaux SDH parallèle à 10 Gb/s et 2.5 Gb/s reliant les trois grandes villes Alger-Oran-Constantine, en bouclant le trafic par la cote et les hauts plateaux (Ouargla) (figure IV.1 et IV.2).
- ü Un système d'anneau SDH à 2.5 Gb/s pour la connexion du grand sud (figure IV.1).
- ü Une passerelle à 10 Gb/s entre Boughezoul et Laghouat jusqu'à pour l'interconnexion du backbone nord au backbone sud (figure IV.1).
- ü Trois boucles en fibre optique DWDM à 80 Gb/s (ouest-centre-est) et une autre liaison DWDM Boughezoul-Ouargla-Constantine à 40 Gb/s pour la connexion du sud (figure 4.6).
- ü Des boucles régionales à 2.5 Gb/s (Est-Ouest-Sud) (figures IV.3, IV.4 et IV.5).

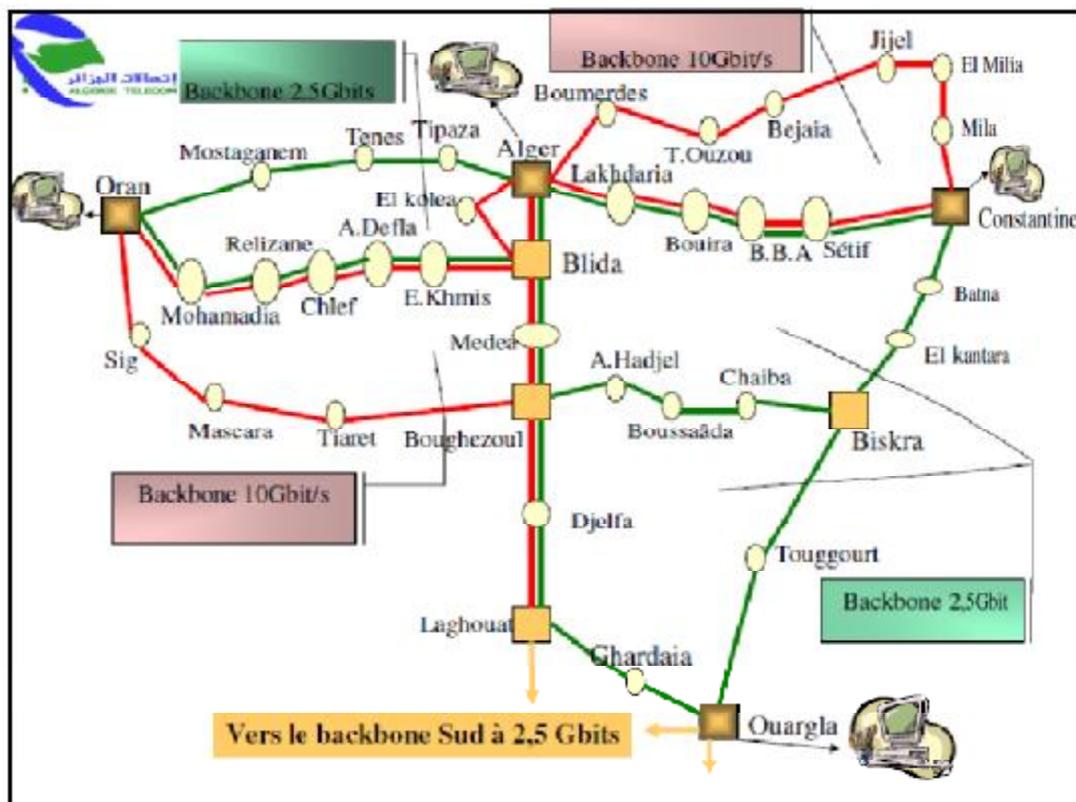


Figure IV.1. Backbone national à 10 Gb/s et 2.5 Gb/s.



Figure IV.2. Le backbone national nord.

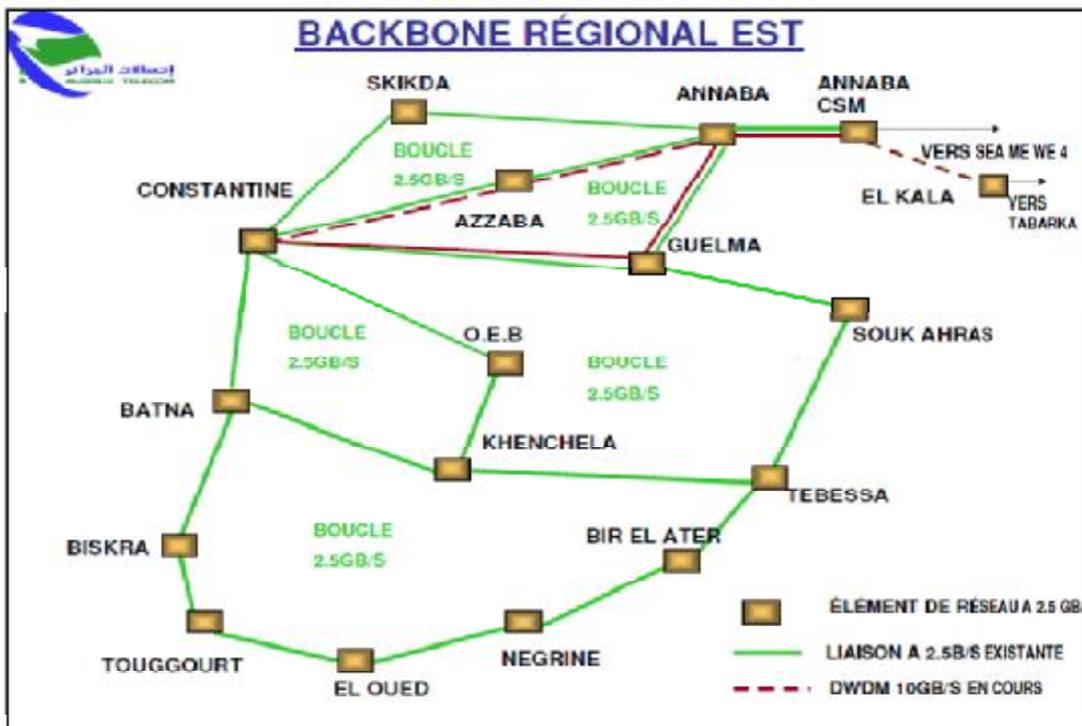


Figure IV.3. Le backbone régional Est à 2.5 Gb/s.

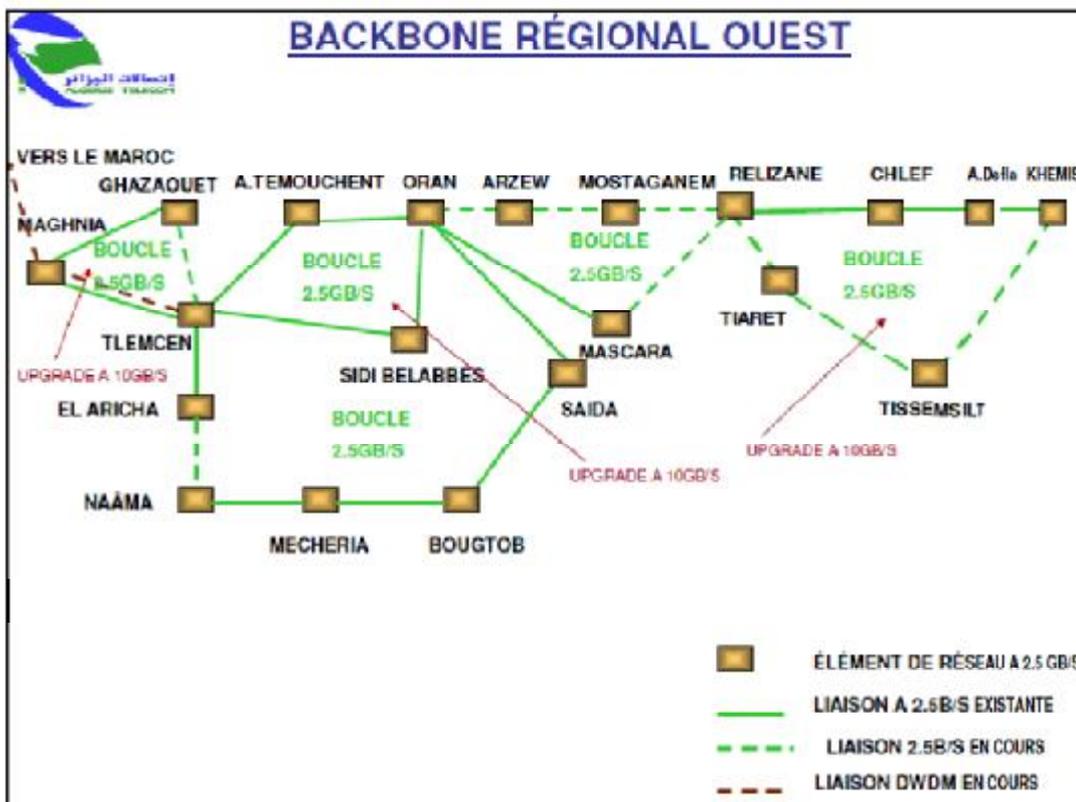


Figure IV.4. Le backbone régional Ouest à 2.5 Gb/s.

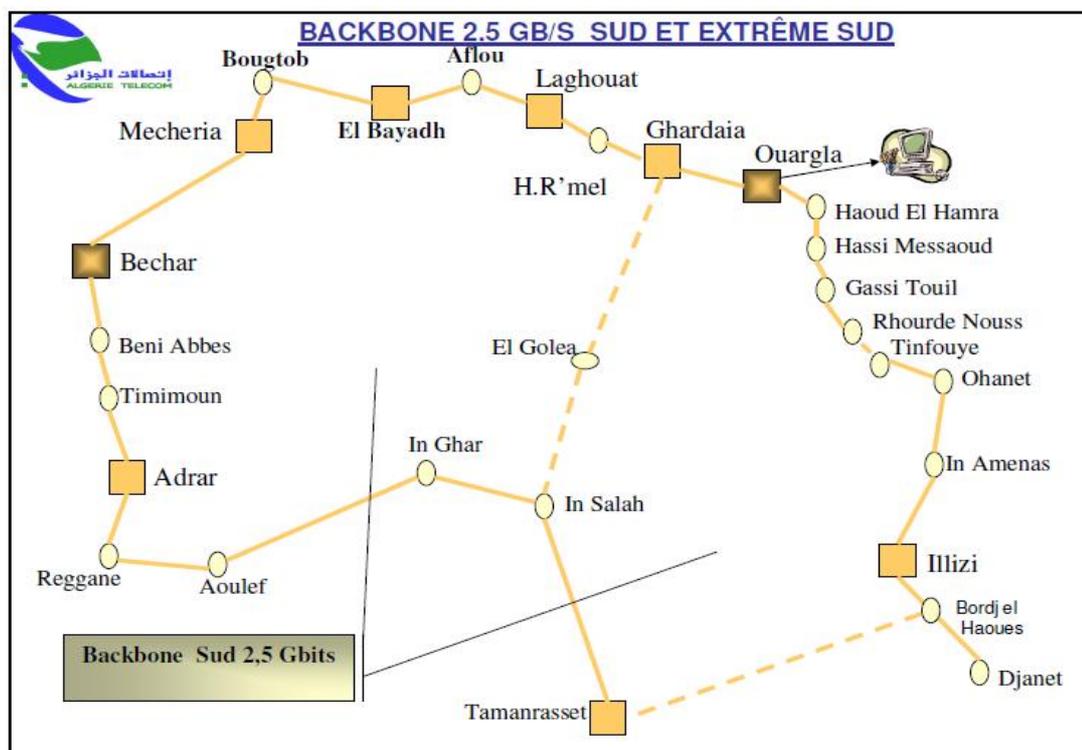


Figure IV.5. Le backbone 2,5 Gb/s Sud.

#### IV.2.2.2. Le dimensionnement du réseau Backbone DWDM d'ALGERIE TELECOM :

Afin de répondre à l'augmentation de la demande en termes du débit qui se pose actuellement dans l'entreprise, AT se doit d'évoluer son propre réseau SDH vers un système beaucoup plus performant DWDM. Comme on l'a déjà étudié, le dimensionnement d'un réseau DWDM doit satisfaire un ensemble de considérations pratiques (voir chapitre 3) à savoir : la compatibilité de la fibre installée, la stratégie d'approvisionnement, la stratégie de protection du trafic et enfin le calcul de budget de puissance nécessaire pour les différentes liaisons optiques.

La dispersion très réduite exigée par les systèmes DWDM est l'un des problèmes majeurs rencontrés par les ingénieurs d'AT lors du déploiement du réseau backbone DWDM. En effet, la tolérance d'un système optique à la dispersion est inversement proportionnelle au carré du débit ( $B^2$ ) de la liaison considérée. Ainsi, si le réseau national SDH a été dimensionné pour une dispersion maximale de 1600 ps/nm, le réseau DWDM 40 Gb/s a été dimensionné pour une dispersion maximale de 100 ps/nm et le réseau DWDM 80 Gb/s a imposé une dispersion maximale de 25 ps/nm.

L'équation de calcul de la dispersion d'une liaison optique est (B.1) :

$$D_{Totale} (ps / nm) = Longueur_{Liaison} * Dispersion_{Lineique} = L_{Tot} * D_{Lin}$$

Cependant, la fibre NDSF (G.652), la plus déployée dans le réseau national, présente une grande dispersion dans la fenêtre 1550 nm exploitée par les liaisons DWDM. Pour pallier à ce problème, Algérie Telecom compte sur les bonnes caractéristiques des modules de compensation de dispersion DCM et les amplificateurs EDFA montés en cascade. Le bruit induit par cette solution, et qui résulte dans un grand taux d'erreur (TEB), est quand à lui surpassé par l'utilisation des fonctions de correction d'erreur (FEC, Forward Error Correction) des équipements OptiX 1600G utilisés dans le backbone DWDM.

Les ingénieurs d'ALGERIE TELECOM procèdent au calcul de toute nouvelle liaison DWDM pour déterminer le budget de puissance nécessaire pour compenser l'ensemble des pertes de la liaison. L'équation de calcul du budget optique est la suivante :

$$B_{optique}(dB) = P_{réception}(dB) - P_{émission}(dB) + G_{amplification}(dB) \tag{B.1}$$

L'équation de calcul de l'atténuation totale d'une liaison optique est la suivante :

$$ATT_{TOT} = Att_{Fibre} + Att_{Epissures} + Att_{Connecteurs} + Marge_{Exploitation} \tag{B.1}$$

On note qu'AT utilise une marge d'exploitation de 5 dB et que les pertes d'insertion des amplificateurs et des modules DCM sont incluses dans  $Att_{connecteurs}$ . (Voir le dimensionnement de la liaison 10 Gb/s Alger-Sétif V.2).

L'introduction du DWDM dans le réseau d'AT s'est faite grâce à trois boucles de 80 Gb/s (est-centre-Ouest) et d'une liaison DWDM Bougezoul-Ouargla-Constantine à 40 Gb/s pour la connexion du sud. Ces boucles ont été conçues à l'aide des multiplexeurs optiques du fournisseur industriel HUAWEI de référence Optix1600G et ZTE ZXW-32, qui regroupent 8 signaux SDH de débit 10 Gb/s (STM-64), pour avoir un débit de 80 Gb/s en sortie.

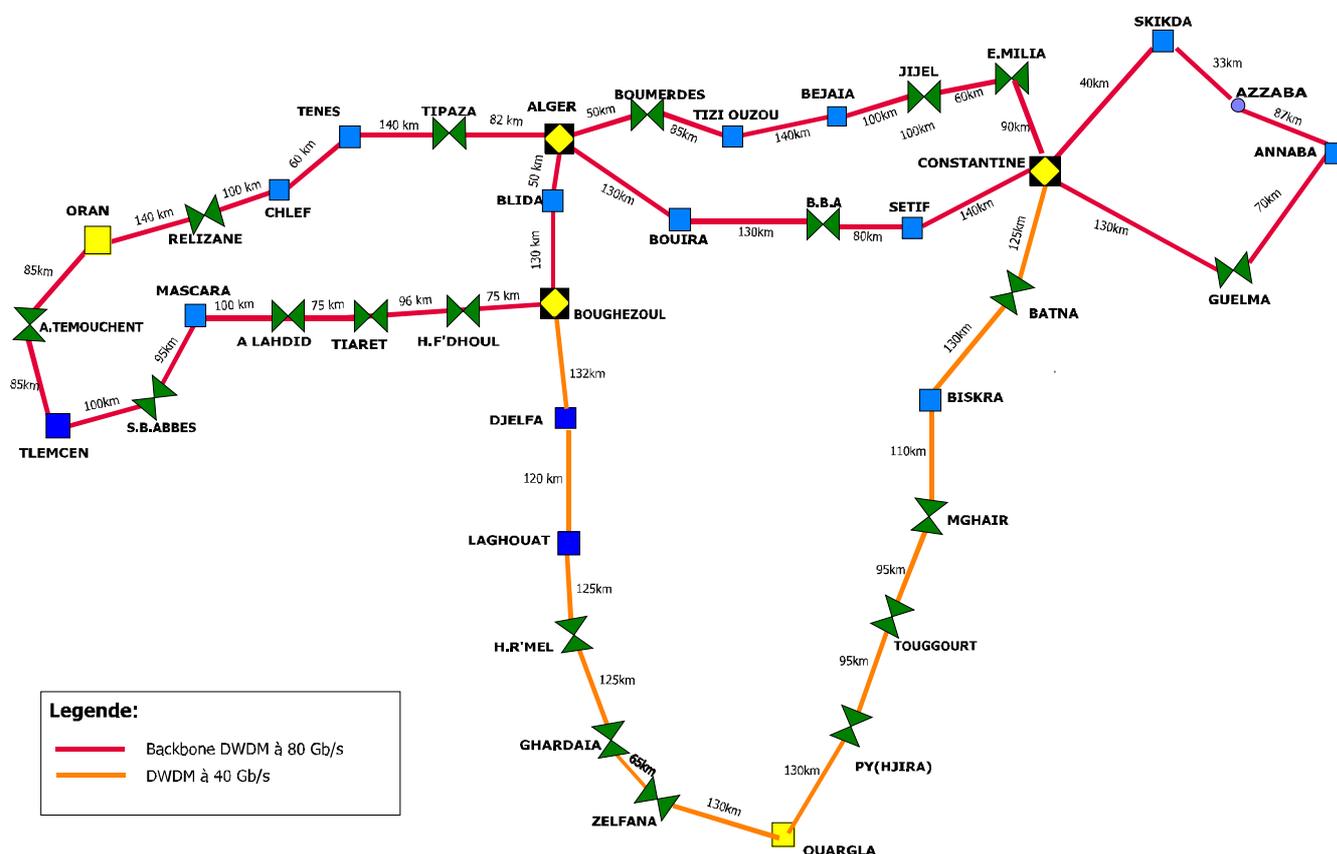


Figure IV.6. Le backbone DWDM d'ALGERIE TELECOM.

### IV.2.2.3. La desserte des abonnés d'AT au niveau métropolitain (cas de Tizi-Ouzou) :

La technologie SDH est la plus utilisée par AT à ce niveau métropolitain. En effet, comme tout autre opérateur public la desserte des abonnés au niveau local se fait en trois parties : branchement, distribution et transport.

#### IV.2.2.3.1. La partie branchement :

C'est la partie reliant les clients aux **points de concentration**. Ces liaisons sont réalisées avec des câbles en cuivre. Une ligne est composée d'une paire de fils transmettant la voix et les données sous forme de fréquences. Selon le nombre d'abonnés, AT utilise le type approprié du concentrateur (de différents fournisseurs) :

- **RSS (Remote Subscribers Station)** : utilisé pour un nombre d'abonnés inférieur à 512.
- **CDC (Centre de commutation distant)** : utilisé dans les localités à grand nombre d'abonnés (Azazga) allant jusqu'à 5000 abonnés.

#### IV.2.2.3.2. La partie distribution:

C'est la partie des liaisons de moyenne capacité (liaisons FH, câbles coaxiaux), qui relient les points de concentration à un Sous-Répartiteur.

#### IV.2.2.3.3. La partie transport :

La partie transport, est la partie qui connecte chaque Sous-Répartiteur à un Répartiteur via un câble de forte capacité. Chaque paire de cuivre correspondant à un client est reliée au répartiteur (jusqu'à une distance de quelques km) grâce à une "jarretière".

Le répartiteur qui centralise les branchements de tous les clients, collecte les flux d'informations en utilisant les liaisons SDH câblées (155 Mb/s ou 622 Mb/s) ou par FH (16×2 ou 32×2) venant des abonnés et communique avec le Commutateur Autonome d'Acheminement (CAA) se trouvant au niveau de CCLT (Centre de Commutation Locale et de Transit). Chaque client est donc relié à un CAA via le répartiteur.

Les CAA sont capables de mettre eux-mêmes les clients en relation en cas où le destinataire se trouve rattaché au même CAA ; sinon le signal téléphonique subit l'opération de commutation au niveau de CCLT (Centre de commutation locale et de transit) pour déterminer la liaison de transport puis passe par le CA2 (Centre d'Amplification n°2) ou le CA1 avant d'être transporté par le réseau Backbone d'AT (par exemple, le réseau DWDM 80 Gb/s).

Le signal téléphonique passe ensuite par le CTN (Centre de Transit National) au cas où l'appareil destinataire se retrouve sur le territoire national qui l'oriente vers la région demandée (le CAA). Sinon, le CTI (Centre de Transit International) se charge de sa transition vers le réseau international.

Cependant, on note que quand il s'agit d'un flux de données Internet (ADSL, par exemple), les flux de données internet (après avoir été séparé du flux téléphonique par un splitter) sont brassés par des nœuds de convergence et transférés à travers le réseau IP vers le brasseur central d'AT (se trouvant à Ben Aknoun) sans passer par le CCLT (la commutation des paquets IP étant assurée par les routeurs).

Finalement, on note que si ALGERIE TELECOM, comme tous les autres opérateurs publics au niveau mondial, a opté pour le déploiement des réseaux backbone DWDM parallèlement aux réseaux SDH existants avant le passage aux réseaux tout-optique. La desserte des abonnés au niveau métropolitain effectuée actuellement par le moyen des liaisons SDH (câblées et par FH) est

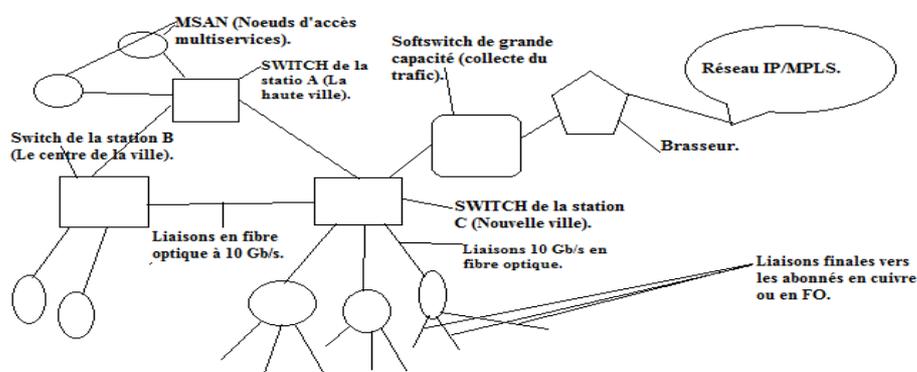
loin d'être la meilleure solution face à la diversité des services demandés ainsi que le nombre croissant des abonnés.

AT prévoit à cet effet le déploiement des réseaux Métro-Ethernet. En effet, le CCLT ne supporte actuellement qu'un nombre de 30 000 abonnés au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou ; alors qu'avec la nouvelle technologie Métro-Ethernet le commutateur « Softswitch » utilisé supportera jusqu'à 2 millions d'abonnés.

Le « softswitch » sera lié à des nœuds d'accès au réseau multiservices (MSAN, Multi Service Access Node), ensuite la liaison finale entre le MSAN et l'abonné peut être faite par des fils de cuivre ou en fibre optique selon le service demandé et d'autres considérations économiques.

Les nœuds d'accès multiservices MSAN disposent d'interfaces spécialisés permettant à l'abonné d'accéder à une grande gamme de services d'une manière plus simple et efficace en termes de l'exploitation de la bande passante par rapport aux liaisons SDH. On notera parmi ces services : la téléphonie traditionnelle POTS (Old Telephone Service), ADSL2 (utilisé actuellement par AT, pas plus de 2 Mb/s), ADSL 2+ (jusqu'à 20 Mb/s, qui comporte UBR, VBR, et CBR utilisé obligatoirement en cas de la TNT à 4,77 Mb/s), VDSL (50 Mb/s), Fast-Ethernet (en électrique), Gigabit-Ethernet (en optique) ...etc.

La figure suivante illustre une esquisse de futur réseau Métro Ethernet qui pourra complètement remplacer l'approvisionnement SDH sur le long terme :



**Figure IV.7. Le remplacement des liaisons SDH par Métro Ethernet au niveau métropolitain (Tizi-Ouzou).**

#### IV.2.3. Synchronisation du réseau d'ALGERIE TELECOM :

Un équipement SDH peut être synchronisé soit à travers un affluent 2Mb/s (peu utilisée), un signal STM-n reçu, une horloge externe (reçue sur un port dédié à la synchronisation) ou une horloge interne.

Pour synchroniser son réseau, AT a opté pour la meilleure des solutions utilisée par la plus part des opérateurs publics internationaux actuellement à savoir l'exploitation de la synchronisation hiérarchique maître-esclave (PRC-SSU-SEC) par l'association de la synchronisation linéaire terrestre et la synchronisation distribuée utilisant le système satellitaire GPS. La première a l'avantage d'être plus fiable mais utilise de longues chaînes d'horloges alors que la deuxième diminue la longueur de ces chaînes mais résulte elle aussi dans un grand nombre de récepteurs GPS.

AT réalise l'association de ces méthodes en installant une horloge (terrestre) primaire de référence PRC (Césium) à Alger et en permettant sa redondance avec une autre horloge PRC de secours transmise par satellite aux horloges secondaires SSU (Synchronization Supply Unit) installée à Constantine, Oran, Ouargla et Adrar. Ces horloges secondaires sont équipées d'un module GPS qui leur permet de recevoir la synchronisation par satellite et de fonctionner comme source secondaire (deuxième priorité après la PRC) dans la hiérarchie de synchronisation.

L'horloge PRC terrestre installée à Alger est l'horloge de référence principale pour tout le réseau, c'est une horloge atomique et autonome conforme aux normes G.811 de l'ITU-T, et délivre un signal de synchronisation de 2048 KHz avec une précision de  $10^{-11}$ . Quand à la SSU, installée à Constantine, Oran, Ouargla et Adrar, elle est une horloge secondaire équipée d'un module GPS et de 20 sorties de synchronisation à 2048 KHz extensible à 60.

La figure suivante représente le schéma de synchronisation du réseau national Backbone 10Gb/s (boucle EST) :

- ü Le nombre d'éléments réseaux (soit le nombre des SEC, SDH Equipment Clock) synchronisés par une seule SSU doit être inférieur ou égal à 20, Ce qui est satisfait par le réseau de synchronisation d'AT, comme le montre la figure suivante (NE = 20). En outre, le nombre des NE est supérieur à six (NE = 6), ce qui nous oblige à tracer le chemin de synchronisation des éléments du réseau NE, aux deux horloges primaire (PRC) et secondaire (SSU), de deux directions différentes.
- ü Pour éviter la boucle de synchronisation, entre les nœuds 9 et 10 (Elmilia et Mila). La qualité des deux signaux de synchronisation STM-64 échangés entre les deux équipements concernés sont configurées pour être DNU (Do Not Use), cette configuration se traduira pratiquement par deux octets de synchronisation SSM (Synchronisation Status Message) qui prendront la valeur « 1111 » dans les bits 5-8 qui représente un code indiquant au récepteur que le signal de synchronisation STM-64 ne doit pas être utilisé pour sa synchronisation.

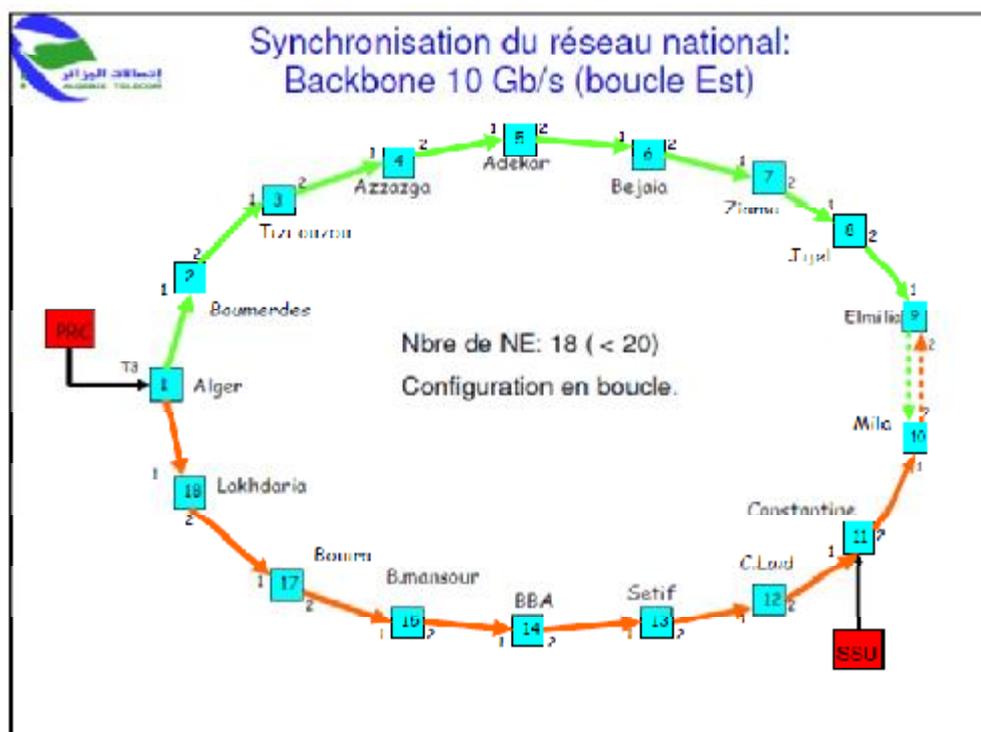


Figure IV.8. Schéma de synchronisation de la boucle EST (10 Gb/s).

#### IV.2.4. Le système de gestion et de supervision :

Le système utilisé est un système de gestion centrale de tout le Backbone à partir d'un point unique, il offre une grande redondance pour le hardware, une protection contre la panne totale, une sauvegarde complète des données et supervision des applications et processus. Il Prend en charge la couche de gestion du réseau (performance, gestion des alarmes, configurations des équipements, cross connect...).

Le Système de Gestion est constitué de :

- Un centre de supervision centrale Redondant à Alger (serveur) qui supervise et gère tout le backbone.
- deux (02) stations de travail (client) à Constantine, Oran extensible à deux autres stations à Bechar et Ouargla (Conformément à la norme M 3010 de l'UIT).

Les données d'opération, d'administration, de maintenance et d'approvisionnement (OAMP) sont échangés entre le réseau de gestion des télécommunications (TMN, Telecommunication Management Network) et le réseau de gestion SDH dit SMN (SDH Management Network) à travers les interfaces Q des équipements SDH configurés comme passerelle réseau (GNE, Gateway Network Element) dans différents points du réseau.

La communication entre les différentes stations de gestion utilise le protocole de communication ECC (Embedded Communication Channel) qui est défini comme un protocole de gestion exploitant les canaux de communication DCC c'est-à-dire les octets D1 à D12 du SOH des trames SDH.

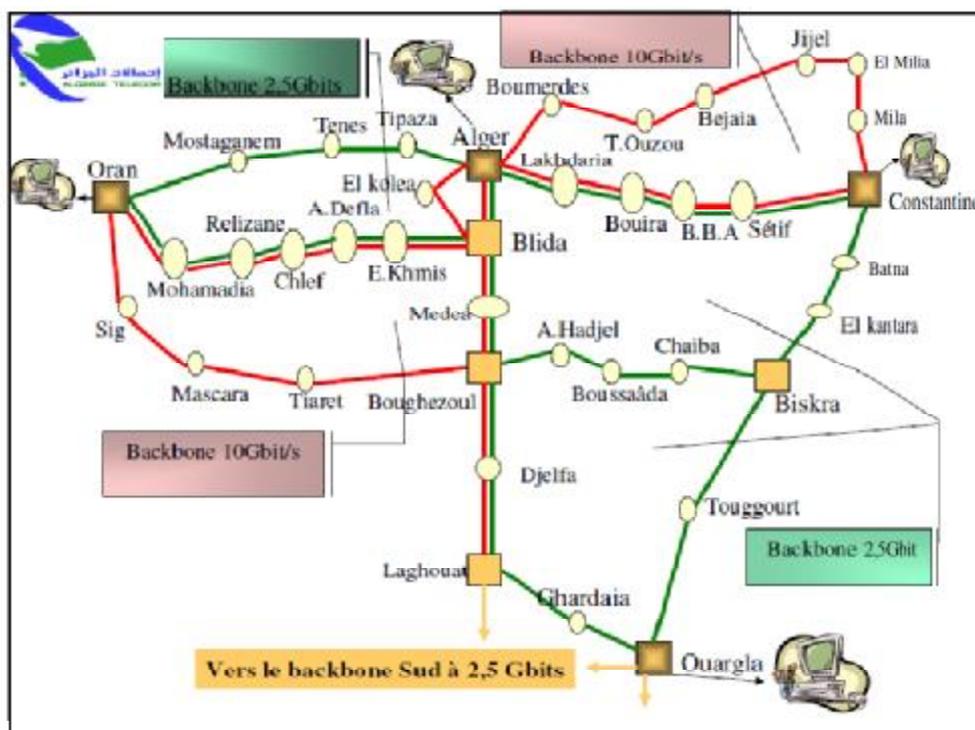


Figure IV.9. Illustration de la gestion du réseau national 10 Gb/s et 2.5 Gb/s.

#### IV.2.5. La sécurisation du réseau :

Les différents systèmes de protection utilisés dans le réseau sont :

- ü La protection de section linéaire : MSP (Multiplex Section Protection).
- ü La protection de conduit : SNCP (Sub-Network Connexion Protection).
- ü La protection partagée de section de multiplexage d'un anneau: MS-SPRING (Multiplex Section Shared Protection Ring)
- ü La protection des équipements: EPS (Equipment Protection System).

Pratiquement, les liaisons d'AT ne sont pas tous sécurisées. Cela dépend par exemple, de l'existence d'un autre itinéraire dans les protections linéaires et des considérations économiques de sa réalisation. Parmi les liaisons protégées, on cite la liaison Tizi-Ouzou-Azazga. Les investissements onéreux qui entravent la protection linéaire d'AT comme tous les autres opérateurs est allégée par l'emploi de la protection partagée MS-SPRING dans les liaisons en anneau.

En outre, AT prévoit toujours la redondance des cartes de transmission dans ses équipements (EPS), ce qui permettra en cas de défaillance d'une carte de commuter le trafic vers la carte de secours.

#### IV.3. Les équipements utilisés dans le réseau Backbone d'Algérie Telecom :

Le réseau backbone d'AT est construit à base de produits de différents fournisseurs HUAWEI, ZTE, ALCATEL, SIEMENS (boucles 10 Gb/s), SAGEM (boucles 2,5 Gb/s)...etc. Le backbone DWDM d'AT étant construit à base des équipements HUAWEI, on détaillera en premier lieu les équipements de ce fournisseur et en particulier l'équipement Optix 155/622.

### IV.3.1. La gamme des équipements HUAWEI Optix utilisés par Algérie Telecom :

L'entreprise HUAWEI a développé une série d'équipements optiques intelligents, qui sont désignés pour achever l'idée des systèmes multi-ADM/ multiservices (MADM/MSTP, Multi Service Transmission Platform). Parmi les équipements Optix exploités par AT, on cite : Optix 155/622, Optix OSN 2000, Optix OSN 3500, Optix 1600G.

Ci-dessous, on détaillera les caractéristiques de l'équipement Optix 155/622 qu'on utilisera ensuite pour illustrer les différents étapes de la mise en service d'un réseau SDH (installation des cartes optiques, configuration des services SDH,...etc.) et on présentera d'une manière générale Optix 3500:

#### IV.3.1.1. L'équipement multiservices Optix 155/622 :

##### IV.3.1.1.1. Vue générale de l'équipement Optix 155/622 :

Optix 155/622 est un équipement multiservices qui peut être configuré comme multiplexeur terminal (TM), multiplexeur à insertion-extraction (ADM), ou comme combinaison des deux équipements TM et ADM (multi-ADM) fonctionnant sur une liaison STM-1 ou STM-4. L'Optix 155/622 supporte en plus les protections MSP, MS-SPR et SNCP sur toutes ces liaisons.

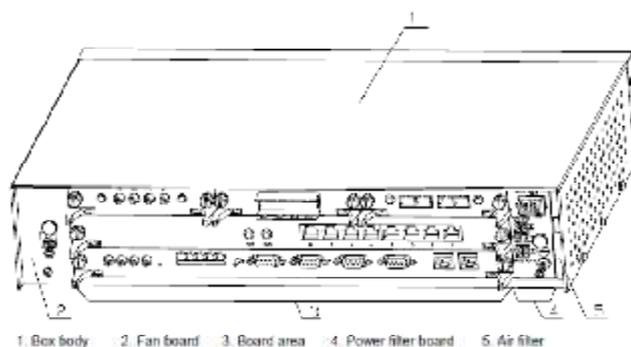


**Figure IV.10. L'équipement Optix 155/622.**

L'équipement Optix 155/622 permet des accès aux signaux PDH, signaux SDH, services ATM, SHDSL, services Ethernet et des services N×64 Kb/s. A travers ses interfaces SDH Optix 155/622 peut être connecté aux équipements Optix 2500, Optix 10G et bien d'autres équipements permettant ainsi la construction d'un réseau de transmission SDH standard. A travers ses interfaces PDH, ATM, Ethernet, SHDSL, N×64 Kb/s, Optix 155/622 peut être connecté aux équipements du réseau d'accès, stations de base GSM, commutateurs et routeurs permettant ainsi la construction des réseaux de communication. Cet équipement est en plus doté d'une matrice de crosse-connexion flexible.

##### IV.3.1.1.2. La structure de l'équipement Optix 155/622 :

L'équipement Optix 155/622 est composé d'un coffre pour le corps de l'équipement, une carte de ventilation, un filtre de l'air, une carte pour le filtrage de la puissance, et une zone pour les différentes cartes (optiques, électriques...etc) pouvant y être installées.



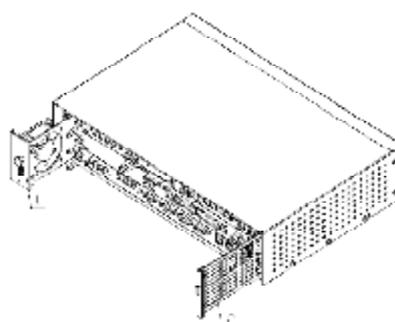
**Figure IV.11. Vue de derrière de l'équipement Optix 155/622.**

La vue de face de l'équipement permet de voir les différents indicateurs d'alarmes critiques (R), majeurs (Y), un indicateur du fonctionnement (RUN, Running), un indicateur d'alarme de la carte de ventilation (FAN) et un autre indicateur pour les interfaces Ethernet (ETN). Un autre indicateur « rouge » ALM\_ON permet une indication, audio et visuelle, en cas où le niveau d'erreur dépasse les deux niveaux mineurs et majeurs. Pour arrêter l'alarme sonore, on commute l'indicateur vers la position ALMCUT, avant l'élimination de l'alarme.



**Figure IV.12. Vue de face de l'équipement Optix 155/622.**

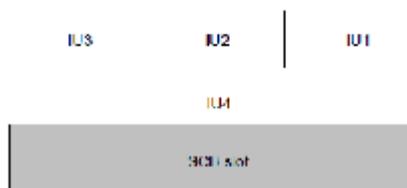
- Û L'unité de filtrage de puissance :** L'équipement Optix 155/622 dispose de deux unités de filtrage de puissance : -48 V/ -60 V DC et +24 V DC. L'utilisateur peut sélectionner une des deux unités ou utiliser les deux en mode principale/secours selon les besoins de l'application.
- Û L'unité de ventilation (FAN) et le filtre de l'air :** Le ventilateur se trouve à l'extrême gauche de l'équipement (1) et le filtre de l'air à l'extrême droite (2), comme le montre de la figure suivante :



**Figure IV.13. L'unité de ventilation FAN de L'Optix 155/622**

- La zone des cartes optiques et électriques :** Cette zone est composée de 5 cases, avec la disposition indiquée dans la figure suivante. A part la carte de contrôle SCB (System

Control Board) qui doit être insérée dans sa case spécifique (SCB slot), la plus part des autres cartes interfaces utilisées pour les différents services peuvent être insérées dans n'importe quelle case parmi les quatre restantes IU-1 à IU-4.



**Figure IV.14. Disposition des cases réservées aux différentes cartes de l'Optix 155/622.**

#### IV.3.1.1.3. Les interfaces de l'Optix 155/622 :

L'Optix 155/622 dispose de plusieurs types d'interfaces qui sont résumées ci-dessous :

- ü Les interfaces électriques PDH : 1544 Kb/s, 2048 Kb/s, 34368 Kb/s et 44736 Kb/s.
- ü Les interfaces SDH : on trouve des interfaces optiques à 155520 Kb/s et 622080 Kb/s et une interface électrique à 155520 Kb/s.
- ü Les interfaces DSL : 2048 Kb/s ou N×64 Kb/s.
- ü L'interface optique ATM: 155 520 Kb/s.
- ü Les interfaces Ethernet: on trouve des interfaces électriques à 10 Mb/s et 100 Mb/s et une interface optique à 100 Mb/s.
- ü L'interface de synchronisation : une interface électrique à deux ports d'entrée à 2048 Kb/s ou 2048 KHz.
- ü D'autres interfaces auxiliaires utilisées pour plusieurs besoins, par exemple l'administration de l'équipement, il peut s'agir d'une interface RJ45, RS232 ou interface pour MODEM pour une gestion distante.

Les interfaces électriques utilise le codage HDB3 et CMI sur des câbles à paires de cuivre ou coaxiaux d'impédance 75 Ohm à 100 Ohm. Les interfaces optiques utilisent le codage NRZ sur des fibres monomodes ou multimodes, on distingue les interfaces Ie-1, S-1.1, L-1.1, L-1.2 pour les liaisons STM-1 et les interfaces Ie-4, S-4.1, L-4.1, L-4.2 pour les liaisons STM-4.

En réception chaque interface définit un niveau de puissance minimal (du signal reçu) qui varie entre -25 dBm et -35 dBm et qui assure un retour de bit erronés BER (Bit Error Return) inférieur à  $10^{-10}$ . Cette dernière valeur est utilisée comme référence pour le calcul des liaisons numériques utilisant les équipements Optix 155/622. L'exploitation de ces différentes interfaces optiques est illustrée dans le tableau suivant :

<i>L'application</i>	<i>Petites distances</i>	<i>Moyennes distances</i>	<i>Grandes distances</i>	
<i>Longueur d'onde de fonctionnement</i>	1310	1310	1310	1550
<i>Type de la fibre</i>	G.652	G.652	G.652	G.652
<i>Distance transmission</i>	$\leq 0.5$	15	40	80
<i>STM-1</i>	Ie-1	S-1.1	L-1.1	L-1.2
<i>STM-4</i>	Ie-4	S-4.1	L-4.1	L-4.2

**Tableau IV.1. Caractéristiques des interfaces optiques de l'Optix 155/622.**

#### IV.3.1.1.4. Les services SDH et WDM de l'Optix 155/622 :

L'Optix 155/622 supporte plusieurs cartes optiques qui assurent les services SDH, parmi ces cartes, on trouve : OI4, OI2S/OI2D, SLE/SDE, SB2D/SB2L/SB2R, SL1Q/SL1O et bien d'autres cartes appropriées aux différents besoins en termes de services SDH. Ci-dessous on présentera les caractéristiques principales des cartes OI4 et SB2D/SB2L/SB2R :

##### IV.3.1.1.4.1. La carte optique STM-4 OI4 :

La carte optique OI4 peut être insérée dans les cases IU1, IU2 et IU3. Cette carte transmet et reçoit un signal optique STM-4. Il effectue : la conversion Optique/ Electrique des signaux STM-4, l'extraction et l'insertion des en-têtes de la trame STM-4 ainsi que la génération des alarmes dans les liaisons. Cette carte supporte aussi les tests en boucles internes ou externes, ce qui permet une maintenance rapide et efficace. La carte OI4 peut être configurée pour fonctionner avec différents modules optiques comme le-4, S-4.1, L-4.1 et L-4.2, selon les besoins. En outre, l'OI4 peut assurer les trois types de protections existantes MSP, MS-SPR et SNCP et fonctionne sur toutes les topologies réseau. Les paramètres à configurer pour cette carte sont les deux octets J1 et C2. On rappelle que J1 est un identificateur de conduit transmet et reçu par tout élément du réseau NE ; Alors que C2 identifie la structure du signal transmis (le service).

ü **Description logique de la carte OI4 :** Le schéma suivant montre que l'OI4 se compose de 4 modules fonctionnels qui sont décrits ci-dessous :

-**Le module de conversion O/E :** Il convertit le signal optique STM-4 reçu de la fibre en un signal STM-4 électrique et le passe au module de conversion série/parallèle et vice versa.

-**Le module de conversion série/parallèle et le module de traitement des en-têtes :** Il démultiplexe le signal électrique STM-4 reçu du module de conversion O/E en quatre signaux VC-4. De la même manière, il multiplexe quatre signaux VC-4 reçu de l'unité de crosse-connexion en un signal électrique STM-4 et le transmet au module de conversion O/E. Ce module assure la conversion série /parallèle et parallèle/série, multiplexage et démultiplexage, cryptage et décryptage (scrambling/descrambling), l'insertion et l'extraction des en-têtes et les fonctions de justification des pointeurs.

- **Le module de contrôle logique :** Ce module génère l'en-tête du signal STM-4 nécessaire pour le fonctionnement de la carte OI4.

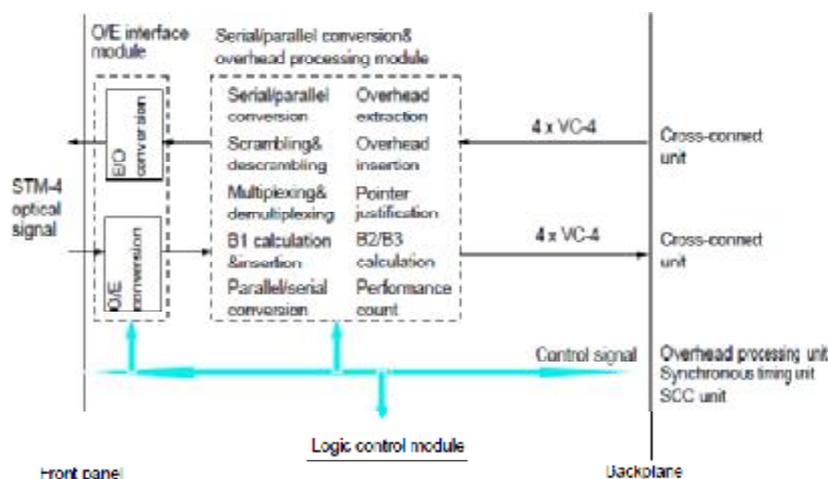


Figure IV.15. Diagramme logique de la carte optique OI4.

#### IV.3.1.1.4.2. Les cartes optiques SB2D/SB2L/SB2R :

Ces cartes optiques permettent de transmettre et recevoir des signaux optiques sur deux longueurs d'onde dans une seule fibre. Cette technologie est basée sur le multiplexage en longueur d'onde WDM. On distingue trois types de cartes optiques permettant le multiplexage WDM en mode émission/ réception sur une seule fibre à un débit STM-1. Les trois cartes suivantes peuvent être insérées dans les cases IU-1, IU-2 et IU-3 :

**-La carte optique SB2D :** Au coté gauche de l'interface optique, la longueur d'onde 1550 nm est utilisée pour l'émission et 1310 nm pour la réception. Au coté droit, cet ordre est inversé.

**-La carte optique SB2L :** Cette carte ne permet au contraire de la première qu'une interface optique au coté gauche ou 1550 nm est utilisé en émission et 1310 nm en réception.

**-La carte optique SB2R:** Elle permet une seule interface optique au coté droit, ou 1310 nm est utilisé en émission et 1550 nm en réception. Cette carte est utilisée en parallèle avec la carte SB2L.

#### IV.3.1.1.5. La carte du contrôle du système SCB (System Control Board) :

La carte SCB de l'Optix 155/622 intègre des unités fonctionnelles telles que : l'unité de contrôle de système et de communication (SCC), l'unité de crosse-connexion, l'unité de synchronisation et l'unité de traitement des en-têtes. Il permet le contrôle des différentes cartes communicantes avec les autres éléments du réseau NE, l'interface de gestion de l'équipement (2 ports RS232 et un port pour connexion MODEM), la distribution de l'horloge nécessitée par les différentes cartes. Cette carte réalise la configuration du NE.

##### Ü L'unité de contrôle de système et de communication SCC :

L'unité SCC est une importante unité dans la carte SCB, elle accomplit la gestion de l'équipement synchrone Optix 155/622. L'unité SCC est dotée des interfaces Q et F nécessitées par le système de gestion du réseau. A travers ces interfaces, les données de configuration et de contrôle transférées par le PC sont reçues par toutes les unités de l'équipement. L'unité SCC permet un canal de communication de données DCC pour l'échange de données avec les NE distants. Elle permet aussi la communication avec les autres cartes à travers la collecte de leurs alarmes et performances périodiquement.

Ü **L'unité de crosse-connexion :** Elle peut être configurée comme unité d'ordre supérieur VC4 (16×16 VC4) ou d'ordre inférieur VC3/VC12 (1008×1008 VC12) selon les exigences des liaisons. La configuration de cette carte définit l'équipement autant que TM, ADM ou multi-ADM. L'unité de crosse connexion communique avec le système de gestion du réseau NMS (Network Management System) à travers l'unité SCC. Cette dernière collecte les alarmes et les événements de protection du trafic par commutation puis rapporte ces informations au NMS. Au même temps, l'unité SCC interprète les commandes du NMS et les transmet à l'unité de crosse connexion.

Ü **L'unité de synchronisation :** L'unité de synchronisation de l'équipement Optix 155/622 est désignée pour fonctionner dans le mode maitre-esclave. Cette unité génère l'horloge de synchronisation de toutes les cartes de l'équipement et deux horloges à 2 MHz (OUT1 et OUT2) à travers les ports de sortie de synchronisation pour la synchronisation des autres NE du réseau. L'unité de synchronisation peut fonctionner en trois modes : le mode verrouillé, le mode du maintien et le mode libre.

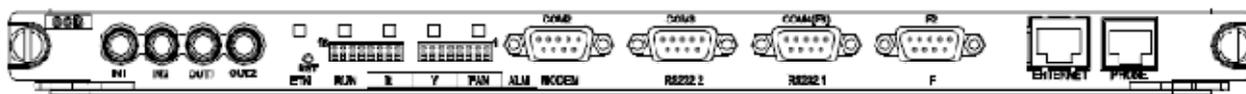


Figure IV.16. Les interfaces d'accès de l'Optix 155/622.

Finalement, l'architecture générale de l'équipement Optix 155/622 est illustrée par le schéma suivant :

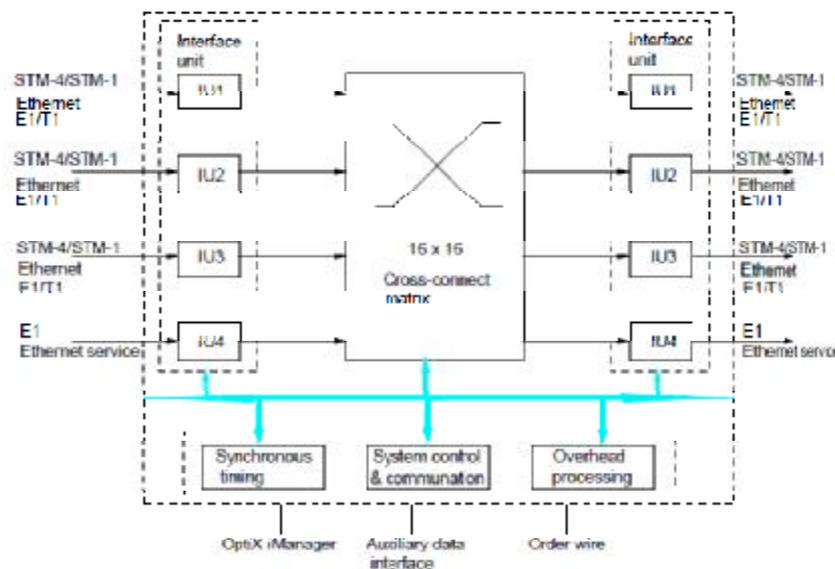


Figure IV.17. Architecture de fonctionnement de l'Optix 155/622.

#### IV.3.1.2. L'équipement Optix OSN 3500 :

L'équipement Optix OSN 3500 est un système multi-ADM permettant la construction des liaisons point à point, liaisons en anneau et liaisons maillées à un débit de 2.5 Gb/s ou 10 Gb/s. Cet équipement supporte les protections MSP, MS-SPR et SNCP. Il est principalement utilisé au niveau du réseau de convergence (STM-16) et du réseau backbone (STM-64) au niveau métropolitain. L'Optix OSN 3500 est généralement associé avec d'autres équipements Optix OSN telle qu'Optix OSN 2500 (utilisé par AT).



Figure IV.18. L'équipement Optix OSN 3500.

L'équipement Optix OSN 3500 permet un nombre important d'interfaces SDH, PDH, de synchronisation, d'alarmes et de gestion. Après la configuration des différentes cartes de l'équipement, l'Optix OSN 3500 permet l'accès à différents services de différentes capacités à savoir des services STM 64, STM-16, STM-1 (en électrique ou en optique), E4, E1/T1, E3/DS3, DWDM, CWDM, FE, GE, ATM. Optix OSN 3500 supporte plusieurs cartes optiques et électriques pouvant y être installées selon les besoins.

### **IV.3.2. La gamme des équipements SAGEM utilisés par Algérie Telecom :**

#### **IV.3.2.1. Le multiplexeur synchrone ADR 155C :**

##### **IV.3.2.1.1. Vue générale de l'équipement ADR 155C :**

L'ADR 155C est un multiplexeur à insertion-extraction (add-drop) optique STM-1/STM-4 qui permet de construire des liaisons point à point STM-1/STM-4, des anneaux STM-1 ou STM-4 ou des réseaux maillés, avec protection de conduit (SNC) ou de ligne STM-1 (MSP), réalisant ainsi le transport de liaisons à 2 Mbit/s, 34 ou 45Mbit/s, Ethernet, STM-1. Les services de type voix sont transportés en mode circuits avec les débits et les interfaces traditionnelles dans les réseaux de transmission (2, 34, 45, 155 Mb/s). Les services de données sont transportés en mode paquets avec un débit de 50 Mb/s.

##### **IV.3.2.1.2. Utilisation de l'ADR 155C :**

L'ADR 155C peut être utilisé en :

- ü Multiplexeur terminal STM-1 avec une capacité maximale de 63 VC12 et possibilité de protection 1+1.
- ü Répéteur STM-1, aptitude à régénérer 2 VC4.
- ü Multiplexeur STM-1 à insertion/extraction avec une capacité maximale de 4 STM-1 et insertion/extraction de 21 VC12.
- ü Multiplexeur STM-4 à insertion/extraction avec une capacité d'insertion/extraction de 63 VC12 sur 1 AU4 par carte STM-4.
- ü Point d'interconnexion de LAN sur VC12 ou VC3 (par carte ADRLAN1, ADRIMA, ADRGFP150).

##### **IV.3.2.1.3. Gestion de l'ADR 155C : Cet équipement peut être géré:**

- ü par un terminal local avec émulation VT100, nécessaire lors de la première mise en service pour la configuration des paramètres de communication (accès "COMM").
- ü par un serveur HTTP permettant une exploitation interactive locale ou distante à l'aide d'un navigateur Internet (Web Browser).
- ü à distance par l'utilisation du protocole de gestion du réseau SNMP (Simple Network Management protocol) via un réseau de gestion NMS (Network Management System) ; l'utilisation du protocole SNMP permet également la supervision globale du réseau.

Les raccordements du réseau de gestion s'effectuent via les octets de canal de communication de données (DCC) : D1 à D3 ou D4 à D12 des STM-1 ou STM-4, ou sur les interfaces Ethernet (ETH) ou port P (MNGT) de l'équipement.

#### IV.3.2.1.4. Description du châssis de l'ADR 155C :

Le SAGEM- ADR 155C se présente sous forme d'un coffret équipé d'une carte regroupant les principales fonctions (alimentation, gestion, brassage, synchronisation). Ce coffret comporte quatre alvéoles destinées à recevoir les différents types d'accès PDH (2, 34, 45, 140 Mb/s).

Le châssis ADR 155C est constitué de :

- ü Une carte mère dans sa partie inférieure (M).
- ü Quatre alvéoles (A à D), destinées à recevoir les cartes d'accès.
- ü Un tiroir situé à gauche du châssis destiné à recevoir le module de ventilation (V).
- ü Une carte d'alimentation (P).

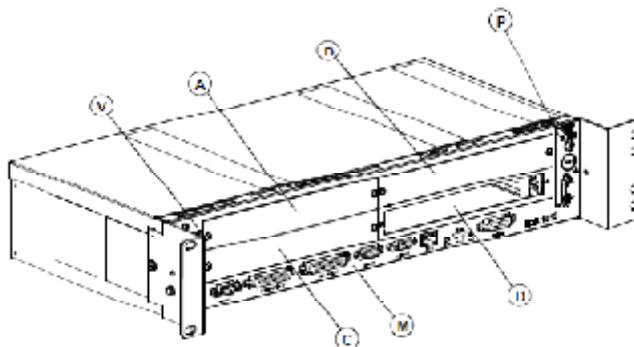


Figure IV.19. Châssis d'un ADR 155C.

#### IV.3.2.2. Le multiplexeur synchrone ADR 2500C :

##### IV.3.2.2.1. Vue générale de l'équipement ADR 2500C :

L'ADR 2500C a été conçu pour fournir un équipement flexible pour les réseaux (voix et données) d'accès et métropolitains. C'est un multiplexeur à insertion-extraction optique STM-16 (Add-drop multiplexer 2.5 Gb/s) qui permet de construire des liaisons point à point STM-16, des anneaux STM-16 des réseaux maillés, avec protection de conduit (SNCP), de section linéaire MSP et de section de multiplexage d'un anneau MS-SPR, réalisant ainsi le transport des liaisons STM-1, STM-4, STM-16.

L'ADR 2500C autorise des sections de régénération allant jusqu'à 60 Km à 3.1 nm et 100 Km à

1.55nm. S'il est associé à un amplificateur optique, via une carte U16.2, cette section peut atteindre 150 Km. L'ADR inclut en option la protection de l'alimentation et de la fonction matrice de brassage.

##### IV.3.2.2.2. Utilisation de l'ADR 2500C : L'ADR 2500C peut être utilisé en :

- ü Multiplexeur terminal avec une capacité maximale de 16 STM-1 et possibilité de protection MSP 1+1 en affluent et en ligne.
- ü Répéteur, avec aptitude à régénérer 16 VC-4.
- ü Multiplexeur à insertion-extraction avec une capacité maximale de 16 STM-16 en ligne et de 24 STM-1 ou 6 STM-4 ou 2 STM-16 en affluents.

##### IV.3.2.2.3. Gestion de l'ADR 2500C : Cet équipement peut être géré :

- ü Par un terminal local avec émulation VT100, nécessaire lors de la première mise en service pour la configuration des paramètres de communication.
- ü Par un serveur HTTP permettant une exploitation interactive locale ou distante à l'aide d'un navigateur internet (Web Browser).

- ü A distance par l'utilisation du protocole SNMP (Simple Network management Protocol) via un système de gestion du réseau (NMS, Network management system) raccordé à l'accès Ethernet. Cette gestion utilise le canal de communication de données DCC de la trame de ligne STM-16 et d'affluents STM-n.

#### IV.3.2.2.4. Description du châssis de l'ADR 2500C : Le châssis ADR 2500C complètement équipé, est constitué :

- ü D'une carte d'alimentation PSU (Power Supply Unit) à -48V DC protégée par des diodes et filtrée contre les flux électromagnétiques. Pour la protection de la carte PSU, une deuxième carte est ajoutée (alvéoles PSU1 et PSU2).
- ü D'une carte de raccordement CCU (Common Connecting Unit) qui opère comme unité interface pour la synchronisation, l'alimentation et les alarmes (alvéole CCU).
- ü D'une carte d'exploitation CTRL (Contrôleur, alvéole CTRL) qui se charge du traitement des alarmes et de l'exploitation du canal de communication de données DCC. Il est responsable des processus de gestion et configuration de l'équipement.
- ü De deux cartes auxiliaires AUX (Auxiliary channels) (Alvéoles EXT1 et EXT2).
- ü De une à huit cartes d'accès au choix pour les affluents tributaires :
  - Ø Une à six cartes à 4 accès STM-1 optiques permettant une connexion VC4 sur chaque accès.
  - Ø Une à six cartes à 4 accès STM-1 électriques permettant une connexion VC4 sur chaque accès.
  - Ø Une à six cartes à un accès STM-4 optique permettant 4 connexions VC-4 ou une connexion VC4-4C (alvéoles TRIB1 à TRIB6).
  - Ø Une à quatre cartes à un accès STM-16 permettant 16 connexions VC4 ou 4 connexions VC4-4c ou une connexion VC4-16c, (Alvéoles TRIB 5, TRIB 6, LINE 1, LINE 2).
  - Ø Une à deux cartes Giga Ethernet GE permettant un déport de flux GE sur un VC4-nc (n= 1 à 7). Il utilise la concaténation virtuelle des VC4 (Alvéoles TRIB5, TRIB6, LINE1 ou LINE2).
- ü D'une carte de brassage SWITCH avec une capacité de 64×64 VC4. Cette carte est le cœur de l'équipement, toutes les cartes y sont connectées. En plus de la commutation, elle se charge des protections SNCP, MSP, MSPR et aussi de la synchronisation. Pour la protection de la carte SWITCH, une deuxième carte doit être ajoutée (Alvéoles SWITCH1 et SWITCH2).
- ü D'un bloc de ventilation FAN extractible, à la gauche du châssis (alvéole FAN). Il est composé de 6 modules et peut être enlevé sans l'interruption du trafic. Quand un module tombe en panne, une alarme l'indique sans pour autant causer l'arrêt du FAN qui continue à fonctionner.



**Figure IV.20. Le châssis de l'ADR 2500C.**

Le tableau suivant présente les alvéoles d'un ADR 2500C :

FAN	PSU1	PSU2
	CCU	CTRL
	EXT1	EXT2
	TRIB1	TRIB2
	TRIB3	TRIB4
	TRIB5	TRIB6
	LINE1	LINE2
	SWITCH1	
	SWITCH2	

**Tableau IV.2. Désignation des alvéoles de l'ADR 2500C.**

#### IV.3.2.2.5. La synchronisation de l'ADR 2500C :

L'ADR 2500C peut être synchronisé par un signal affluent STM-n, par un signal 2048 KHz dédiée pour la synchronisation, ou par l'oscillateur local interne de l'équipement. En cas de perte de signal de synchronisation prioritaire, la synchronisation peut fonctionner en mode automatique, qui permet le passage d'une source de synchronisation à une autre de priorité secondaire automatiquement, ou en mode manuel qui permet de forcer la commutation à la source de synchronisation voulue.

#### IV.3.2.2.6. Le budget optique d'une liaison utilisant les ADR 2500C :

Le tableau suivant montre les différentes cartes pouvant être installées sur l'équipement ADR 2500C en fonction du débit des affluents ainsi que la distance des liaisons et l'atténuation maximale qui garantit le fonctionnement de l'équipement utilisé pour le calcul du budget de puissance de la liaison optique. La valeur utilisée dans le calcul du budget de puissance optique est la différence entre le niveau de puissance du signal optique à la sortie de L'ADR émetteur et celui à l'entrée de l'ADR récepteur qui garantit un taux d'erreur BER (Bir Error Return) inférieur ou égal à  $10^{-10}$  :

Référence de la carte optique	La longueur d'onde de fonctionnement	L'atténuation du signal optique (dB)
L16-1	1300 nm	0-24
L16-2	1550 nm	13-27
S.4-1	1300 nm	0-12
L.4-1	1300 nm	0-24
S.1-1	1300 nm	0-12
L.1-1	1300 nm	0-24

**Tableau IV.3. Les caractéristiques du fonctionnement des cartes optiques de l'ADR 2500C.**

Les données ci-dessus sont compatibles avec les fibres monomodes G.652 (connectés par des connecteurs SC, le codage de données étant NRZ), mais les cartes optiques peuvent aussi être utilisées avec les fibres multimodes, avec dans ce cas une limitation de la portée de la liaison à 15 Km.

#### IV.3.2.3. L'équipement de multiplexage FMX :

Ce nouvel équipement est muni d'une variété d'interfaces et en association avec différentes unités périphériques qui fonctionnent comme des équipements de terminaison de circuit de données ou mini multiplexeurs qui permettent le transport des données sur les liaisons raccordant les sites clients distants aux équipements FMX (modems : NTU1532, NTU2532, SAGEM2048) qui permet aux opérateurs d'approvisionner ses clients directement. Par exemple, le modem SAGEM 2048 est un mini-multiplexeur TDM qui permet de transmettre sur un support normalisé à 2 Mbit/s lié à l'équipement FMX, des données provenant des accès à  $N \times 64$  kb/s.

En effet, l'équipement FMX est un brasseur/concentrateur numérique, offrant une grande variété d'interfaces à savoir des interfaces pour : accès à 2Mb/s, accès Ethernet (10/100 base T), services des liaisons louées, accès au réseau numérique multiservices ISDN, accès pour le trafic DSL, accès pour le raccordement des liaisons analogiques (64Kb/s), accès aux services de téléphonie traditionnelle POTS. Le FMX permet le brassage numérique de 1 à 26 VC-12, capables d'assurer le multiplexage voix/données, l'aiguillage et l'insertion-extraction



Figure IV.21. L'équipement SAGEM FMX.

Il existe deux types d'équipements FMX, le FMX12 et le FMX4 :

- ü Le FMX12 est un équipement de grande capacité, destiné à être installé dans des centraux ou des grandes entreprises. Certains composants (alimentation (avec des convertisseurs de tensions à 48V), cartes de connexion) sont sécurisés. Cet équipement contient jusqu'à 12 cartes d'accès différentes.
- ü Le FMX4 est un équipement compact de petite capacité, destiné à être installé dans les petites entreprises. Il comporte un maximum de 4 cartes d'accès.

Une exploitation possible des équipements SAGEM FMX est illustrée dans la figure suivante :

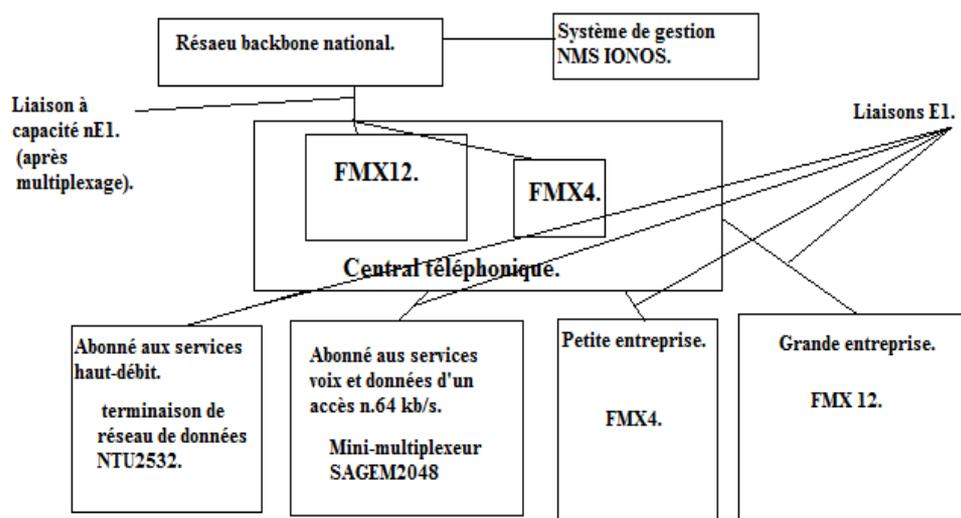


Figure IV.22. Illustration de l'exploitation des équipements FMX.

#### IV.4. Conclusion :

Grace à la technologie DWDM, Algérie Telecom a pu faire évoluer ces liaisons présentant un grand trafic. Le nouveau réseau basé sur les équipements DWDM et la fibre G.652 bénéficie d'une grande souplesse, un bon fonctionnement et une bonne protection des données. En effet, la technologie DWDM présente un grand intérêt au niveau des réseaux de transport sur de longues distances, d'une part sur les gains économiques (matériels moins nombreux), et d'autre part sur les gains en complexité de gestion et d'exploitation du réseau.

En fin, on note que si AT a adopté l'association des deux technologies DWDM sur ses réseaux backbone, au niveau métropolitain la technologie SDH risque d'être remplacée sur le long terme par les réseaux « Métro Ethernet » plus efficaces en termes d'approvisionnement des abonnés et moins compliqués en termes d'architecture réseau.

Finalement, on note qu'une nette amélioration de la qualité de transmission des réseaux d'AT pourrait se faire par l'introduction de la fibre G.655 plus adaptée aux technologies DWDM.

# *Chapitre V*

Dimensionnement et mise en service des liaisons optiques haut-débit d'Algérie Telecom

## V.1.Introduction :

La demande croissante des services de télécommunication contraint Algérie Telecom à mettre en service des nouvelles liaisons SDH, DWDM pour permettre le transport du trafic des différents réseaux qui assurent la desserte des abonnés.

Dans ce qui suit nous allons montrer les trois étapes optiques suivies par AT dans la mise en service de ses liaisons optiques. Globalement, les trois étapes suivies sont :

- ü Le dimensionnement de la liaison optique : On illustrera cette étape à travers l'exemple de la nouvelle liaison optique monocanal 10 Gb/s Alger –Sétif.
- ü La pose de la fibre optique.
- ü L'installation et configuration des équipements (services SDH) : Pour illustrer au mieux cette étape, on se basera sur :
  - Ø L'exploitation de l'équipement Optix 155/622.
  - Ø Un exemple de configuration des services SDH pour cinq localités demandant chacune un nombre déterminé des services E1.
  - Ø L'analyse de l'état de configuration de l'équipement Optix 155/622 installée au CA2 : CA2-POLY-KRIM.
- ü La maintenance des liaisons : on verra les différentes méthodes de test des liaisons optiques et électriques utilisées par AT.

## V.2. Dimensionnement de la liaison optique 10Gb/s Alger-Sétif :

### V.2.1.Présentation de la liaison :

L'objectif de cette étude expérimentale est de dimensionner une liaison optique monocanal à 10Gb/s entre Alger et Sétif. Cette liaison de 366 km transite par des sites intermédiaires où il est possible de placer des dispositifs de compensation de l'atténuation et de la dispersion de la liaison. D'autres sites intermédiaires non encore identifiés sur la liaison peuvent être utilisés après comme sites de passage pour assurer une amplification complémentaire et assurer la faisabilité de la liaison.

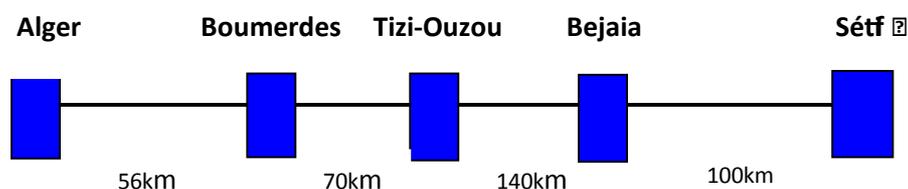


Figure V.1. La liaison optique 10 Gb/s Alger-Sétif.

### V.2.2. Cahier de charges de la liaison :

La conception de cette liaison répond à un cahier de charges dans lequel sont établis les critères de performance et les spécifications techniques des composants optoélectroniques et fibres de ligne à employer pour réaliser l'ingénierie de la liaison :

- Ø La ligne de transmission est constituée de plusieurs tronçons de câble, chaque tronçon de câble est constitué de sections élémentaires de 3 km de long raccordés entre elles par des épissures, chaque épissure apporte un affaiblissement de 0.03dB.

Ø Les têtes de câbles sont équipées de connecteurs. Chaque connecteur apporte un affaiblissement de 0.5 dB.

ü **Données caractéristiques de performance :**

Longueur de portion fibre	Atténuation moyenne l'épissure	Atténuation connecteurs	Marge d'exploitation	Taux d'erreur requis
3Km	0,03dB	0,5dB	5dB	$10^{-12}$

ü **Spécifications techniques des fibres optiques :**

Type de fibre optique	Atténuation/1550nm	Dispersion/1550nm
SMF28/G652	$a_{Lin} \leq 0,19 - 0,20dB / Km$	$\leq 18ps/nm.Km$

ü **Spécifications techniques de l'émetteur optique :**

Composant optoélectronique	Puissance d'émission	Dispersion max	Fenêtre optique
Laser DFB Avanex 1915LMN	2 dBm	1600ps/nm	Bande C 1529,5 -1669,5nm

ü **Spécifications techniques des amplificateurs optiques :**

Composant optoélectronique	puissance d'entrée (Input power range)	Puissance max de sortie (Maximum Output power)	Gain nominal (Nominal gain)
Ampli EDFA Avanex 1509	-32 - 2dBm	21dBm	23dB
Ampli EDFA Avanex 1504	-25- 2dBm	15dBm	20 dB

**Ü Spécifications techniques des modules de compensation de dispersion DCM (Dispersion Compensation Module) :**

Type de module de compensation	Dispersion introduite Ps/nm	Perte d'insertion dB
DCM-100-SMF-C	-1671	8,4
DCM-60-SMF-C	-1340	6,9
DCM-20-SMF-C	-337	2,7

**Ü Spécifications techniques du récepteur optique :**

Composant optoélectronique	Sensibilité (Puissance minimale)	Puissance max de saturation
Module Récepteur 10Gb/s : Diode PIN avec Préamplificateur Avanex 1951	-18dBm	+5dBm

**V.2.3. Le Calcul de la liaison:**

**V.2.3.1. Le calcul de la liaison sans amplification et sans compensation de dispersion :**

**V.2.3.1.1. Le budget optique de la liaison :** Le budget optique de la liaison est de 20 dB, on le calcule comme suit :

$$B (dB) = P_E (dBm) - P_R (dBm) = 2 - (-18) = 20 dB$$

**V.2.3.1.2. L'atténuation totale de la liaison :**

L'ensemble des pertes à inclure dans le calcul de l'atténuation total de la liaison sont :

« Atténuation totale= atténuation linéaire de la fibre+ atténuation des épissures+ atténuation des connecteurs+ la marge d'exploitation du système ».

On la calcule comme suit :

$$Att_{TOT} = a_{Lin(fibre)} * L_{Fibre} + a_{Ep} * \frac{L_{Fibre}}{L_{Tronçon}} + a_{Con} + M \tag{B.1}$$

$$L_{\text{fibre}} = 366 \text{ Km}, L_{\text{tronçon}} = 3 \text{ Km}, \alpha_{\text{fibre}} = 0,2 \text{ dB/Km}, \alpha_{\text{épissure}} = 0,03 \text{ dB}, \alpha_{\text{connecteur}} = 0,5 \text{ dB}$$

ü **Nombre total d'épissures** : On considère une épissure dans chaque extrémité et deux épissures dans les stations de passage.

$$\text{Nombre d'épissures} = \frac{L}{L_{\text{Tron}}} + n_{ep}(\text{stations}) = (366/3) + 8 = 130.$$

ü **Nombre total de connecteurs** : Le raccordement d'une station terminale et d'une station intermédiaire (Alger-Boumerdes) nécessite six connecteurs, alors que le raccordement de deux stations intermédiaires nécessite quatre connecteurs. L'ensemble des connecteurs sera donc :  $6 \times 2 + 2 \times 4 = 20$  connecteurs

Le tableau suivant montre les résultats du calcul de l'atténuation totale de la liaison qui est de 87,1 dB. Cependant, avec la prise en compte de la marge d'exploitation du système :  $M = 5 \text{ dB}$ , l'atténuation totale effective du système aura une valeur de :  $87,1 + 5 = 92,1 \text{ dB}$ .

Nombre d'épissures	Nombre de connecteurs	Atténuation des épissures (dB)	Atténuation des connecteurs (dB)	Atténuation fibre (dB)	Atténuation totale (dB)
130	20	$130 \times 0,03 = 3,9$	$20 \times 0,5 = 10$	$366 \times 0,2 = 73,2$	<b>87,1</b>

**Tableau V.1. L'atténuation totale de la liaison 10 Gb/s Alger-Sétif avant la compensation.**

**V.2.3.1.3. La dispersion totale de la liaison :**

On la calcule comme suit (B.1) :

$$D_{\text{Totale}} (\text{ps} / \text{nm}) = \text{Longueur}_{\text{Liaison}} * \text{Dispersion}_{\text{Lineique}} = L_{\text{Tot}} * D_{\text{Lin}}$$

La fibre G.652 utilisé présente une dispersion de 18 ps/nm. Km, la dispersion totale sur la liaison de 366 Km aura une valeur de :  $366 \times 18 = 6588 \text{ ps/nm}$ .

Cependant, le système optique utilisé tolère une dispersion maximale :  $D_{\text{Source}}$  de 1600 ps/nm alors que la dispersion de la liaison est très supérieure à cette valeur :

$$D_{\text{Source}} < D_{\text{Totale}}$$

**V.2.3.1.4. L'analyse des résultats :**

L'atténuation de la liaison est très supérieure au budget optique disponible : 92,1 dB 20 dB.

Pour compenser les pertes de la liaison (Alger –Sétif), il est nécessaire d'amplifier le signal optique en des points du trajet (stations intermédiaires) à déterminer en calculant les atténuations des différents bonds de la liaison.

La dispersion de la liaison est très supérieure à la valeur requise par le système optique, il y'a donc nécessité de compensation de la dispersion par insertion des modules de compensation de dispersion DCM. Il faut compenser la dispersion de : **6588-1600= 4988 ps/nm**

### V.2.3.2. Le calcul de la liaison avec amplification et compensation de dispersion :

#### V.2.3.2.1. La compensation de la dispersion :

##### V.2.3.2.1.1. Détermination du nombre et type des DCM à utiliser :

Pour compenser la dispersion totale de la liaison, on insère à l'extrémité de chaque bond des modules de compensation de la dispersion dont le nombre dépend du type de DCM à employer pour compenser le surplus de dispersion:

ü **Compensation par Modules DCM-20SMF-C** : Permet de compenser (autour de la valeur 1550nm) 337ps/n, la pénalité introduite par la perte d'insertion est de 2,7dB. Le nombre de modules nécessaires à la compensation de la dispersion totale est:  $n = 4988/337 = 15$ .

ü **Compensation par Modules DCM-60SMF-C** : Permet de compenser (autour de la valeur 1550nm) 1340ps/nm. La pénalité introduite par la perte d'insertion est de 6,9dB. Le nombre  $n$  de modules nécessaires à la compensation de la dispersion totale est:  
 $n = 4988/1340 = 4$ .

ü **Compensation par Modules DCM-100SMF-C** : Permet de compenser (autour de la valeur 1550nm) 1671 ps/nm. La pénalité introduite par la perte d'insertion est de 8,4 dB. Le nombre  $n$  de modules nécessaires à la compensation de la dispersion totale est:  $n = 4988/1671 = 3$ .

Pour optimiser l'emploi des Modules DCM, on opte pour l'installation de quatre modules à savoir deux DCM-100SMF-C, un DCM-60SMF-C et un DCM-20-SMF-C à l'extrémité des quatre premiers bonds de la liaison juste avant les amplificateurs (mêmes sites) pour permettre la compensation de leurs pertes (Voir tableau V.2).

La dispersion compensée  $D_{compensée}$  est égale à :

$$D_{compensée} = 1671 \times 2 + 1340 + 337 = 5019 \text{ ps/nm}$$

La dispersion totale après compensation :  $D_{totale} = 6588 - 5019 = 1569 \text{ ps/nm}$ .  $D_{totale}$  est inférieure à 1600 ps/nm. La dispersion est très nettement améliorée et ne doit pas être nulle pour ne pas aggraver les effets non-linéaires dans la fibre optique.

##### V.2.3.2.1.2. Le calcul de la liaison après compensation de dispersion :

Après l'insertion des quatre modules DCM, l'atténuation totale de la liaison est calculée comme suit :

$$ATT_{TOT} = Pertes (liaison) + Pertes (DCM) + M \quad (B.1)$$

Ainsi, l'atténuation totale de la liaison  $ATT_{TOT}$  aura la valeur suivante :

$$ATT_{TOT} = 87,1 + [(2 \times 8,4) + 6,9 + 2,7] + 5 = 118,5 \text{ dB}$$

**V.2.3.2.2. La compensation des pertes de la liaison :**

Les pertes de la liaison (118,5 dB) sont très supérieures au budget optique (20 dB) disponible d'où la nécessité d'amplification.

L'insertion d'un amplificateur est équivalente à l'utilisation de deux connecteurs, ce qui se traduit, pour chaque amplificateur installé, par une perte de :  $2 \times 0,5 = 1$  dB.

AT utilisera pour cette liaison deux types d'amplificateurs EDFA à savoir le modèle **Avanex 1509** d'un gain nominal de 23 dB et le modèle **Avanex 1504** d'un gain nominal de 20 dB. Le gain  $G_{ampli}$  d'amplification à apporter à la liaison est calculé comme suit :

$$G_{ampli} = \text{les pertes de la liaison} + \text{les pertes d'insertion des amplificateurs} - \text{le budget optique de la liaison.}$$

Le calcul fait est donc le suivant :

$$G_{ampli} - \text{« les pertes d'insertion des amplificateurs »} = (118,5 - 20) = \mathbf{98,5 \text{ dB}}$$

Le dernier résultat nous informe sur la nécessité d'utiliser cinq amplificateurs. Cependant, on ne dispose que de trois stations intermédiaires et l'utilisation de deux autres stations intermédiaires induit des pertes d'ordre de : 4 dB. Par conséquent, on opte pour utiliser quatre amplificateurs EDFA à un gain de 23 dB et un autre à un gain de 20 dB.

$$\text{Cette procédure permettra un gain d'amplification : } G_{ampli} = (23 \times 4) + (20 \times 1) = \mathbf{112 \text{ dB}}$$

$$\mathbf{112 - 5 = 107 \text{ dB} \quad 98,5 \text{ dB}}$$

**V.2.3.3. Localisation des sites de compensation de la dispersion :**

Sachant qu'aucune condition n'est exigée sur le niveau du signal à l'entrée des modules DCM, on peut les localiser indépendamment de l'évolution de la puissance du signal optique. Cependant, les grandes pertes induites par l'insertion de ces modules nous obligent à déterminer leurs locations avant celles des amplificateurs EDFA.

Pour mieux compenser les pertes des modules DCM, on les installe dans les mêmes sites que les amplificateurs EDFA. Cependant, une autre considération majeure qui doit être prise en compte est la compensation effective maximale de la dispersion de la liaison. Vu qu'une liaison fibre optique est utilisée en émission-réception (une seule fibre peut l'être), on a opté pour les stations d'amplification se retrouvant au milieu de la liaison.

Cependant, étant donné que le système tolère une dispersion maximale de 1600 ps, le récepteur optique ne doit jamais être séparé d'une distance qui dépasse 88 Km du dernier DCM :

$$\frac{1600}{18} = \mathbf{88,88 \text{ Km}}$$

Le dernier bond de 100 Km (Bejaia-Sétif) apporte quand à lui seul une dispersion chromatique de :  $100 \times 18 = \mathbf{1800 \text{ ps} > 1600 \text{ ps}}$

Ce qui nous permet de constater que le meilleur emplacement de dernier DCM serait au milieu de ce bond pour éviter que la dispersion dépasse le niveau maximum toléré de 1600 ps. Pour ce qu'on vient d'expliquer, on a porté notre choix sur la station présente à Souk-El-Thenine à 40 Km de Bejaia.

**V.2.3.4. Localisation des sites d'amplification:**

Pour déterminer les locations des cinq amplificateurs, On utilisera quatre résultats très importants et définissant les conditions et limites de fonctionnement de la fibre SMF 28 (G.652) et des amplificateurs EDFA ainsi que l'emplacement des modules DCM :

1. La fibre monomode G.652 permet de transmettre un signal **10 Gb/s** (1550 nm) sans amplification sur une distance maximale qui avoisine **100 Km** (voir chapitre3).
2. Le niveau de puissance d'un signal optique à l'entrée des EDFA utilisés doit être contenu dans l'intervalle **[-32dBm....-2dBm]**. Ainsi sur toute la liaison, le niveau de puissance du signal ne doit jamais être inférieur à -32 dBm.
3. Les trois premiers modules DCM doivent être placés dans les stations se retrouvant au milieu de la liaison et le dernier à Souk-El-Thenine. Une bonne pratique serait de ne jamais séparer deux modules DCM d'une distance qui dépasse 88 Km correspondant à une dispersion de 1600 ps non supporté par le système.
4. Pour satisfaire le taux d'erreur requis de  $10^{-12}$ , le rapport signal/bruit optique OSNR doit être supérieur ou égal à 14,08 dB. L'OSNR de chaque bond est calculé comme suit (voir chap3) :

$$\text{OSNR (dB)} = 58 \text{ (dBm)} + P_{\text{ch}} \text{ (dBm)} - F \text{ (dB)} - L_{\text{span}} \text{ (dBm)} - 10 \log_{10} (N_{\text{span}}) \quad (\text{B.2})$$

Cette équation montre que les amplificateurs EDFA doivent être distribués entre les différents bonds pour satisfaire l'OSNR requis.

Prenant en considération ces quatre résultats, on établit ce qui suit :

- ü Selon le premier résultat, le bond Tizi-Bejaia est d'une longueur qui dépasse 100 Km d'où la nécessité d'amplification. L'installation de l'amplificateur EDFA peut se faire à Adekar à une distance de 90 Km de Tizi-Ouzou.
- ü Le troisième résultat nous indique la nécessité d'installer un module DCM à Souk-El-Thenine. Pour mieux compenser ses pertes et satisfaire l'OSNR requis, on installera un amplificateur dans le même site.
- ü Selon le même résultat, une compensation effective maximale de la dispersion exige l'installation des modules DCM performants au milieu de la liaison.
- ü Pour veiller à ce que la distance entre deux modules DCM ne dépasse pas 88 Km, on installera les quatre modules respectivement à : Boumerdes, Tizi-Ouzou, Adekar, Souk-El-Thenine.
- ü On installera le dernier DCM qui induit le moins de pertes le plus proche de récepteur pour ne pas trop diminuer le niveau de puissance du signal au niveau de récepteur à Sétif.
- ü Selon le quatrième résultat, une meilleure exploitation des cinq amplificateurs EDFA serait leur installation dans les cinq stations intermédiaires.

Enfin, après l'insertion des cinq amplificateurs et en considérant une marge d'exploitation de 5 dB :

- ü L'atténuation totale de la liaison: **128,62 dB**
- ü Le budget optique de la liaison : **132 dB**.

### V.2.3.5. La mise en œuvre de la liaison monocanal 10 Gb/s Alger-Sétif :

#### V.2.3.5.1. Les atténuations des bonds de la liaison monocanal 10 Gb/s Alger-Sétif:

Maintenant qu'on a déterminé les locations des amplificateurs et de modules DCM, l'étape suivante est de vérifier la faisabilité de la liaison en se basant sur l'évolution de la puissance de signal au long de la liaison. Le tableau ci-dessous récapitule les atténuations des cinq bonds de la liaison. On notera que la perte totale de chaque bond est obtenue par la relation suivante et que les pertes d'insertion des sept amplificateurs sont incluses dans  $\alpha_{\text{connecteur}}$ :

$$Att_{\text{Bond}} = a_{\text{Lin}(\text{fibre})} * L_{\text{Bond}} + a_{\text{Ep}} * \frac{L_{\text{Bond}}}{L_{\text{Tronçon}}} + n.a_{\text{ep}}(\text{station}) + a_{\text{Con}}$$

(B.1)

Bonds	Bond1	Bond2	Bond3	Bond4	Bond5	Bond6	La liaison totale
Dénomination	Alger-Boumerdes	Boumerdes-Tizi-Ouzou	Tizi-Ouzou-Adekar	Adekar-Bejaia	Bejaia-Souk-El-Thenine	Souk-El-Thenine-Sétif	Alger-Sétif SDH 10 Gb/s
Longueur (Km)	56	70	90	50	40	60	366
Atténuation des épissures ( $Att_{\text{Ep}}$ ) en dB(bond +Station)	0,56+0,06= 0,62	0,70+ 0,06= 0,76	0,90+0,06= 0,96	0,50+0,06= 0,56	0,40+0,06= 0,46	0,60+0,06= 0,66	4,02
Atténuation connecteurs ( $Att_{\text{Con}}$ ) en dB	6 ×0,5 + 2×0,5= 4	4×0,5 + 2×0,5= 3	4×0,5+ 2×0,5= 3	4×0,5+ 2×0,5= 3	4×0,5+ 2×0,5= 3	6 ×0,5 + 2×0,5= 4	20
Atténuation d'insertion des DCM	6,9	8,4	8,4		2,7		26,4
Atténuation de la fibre (dB)	11,2	14	18	10	8	12	73,2
Atténuation Bond (dB)	22,72	26,16	30,36	13,56	14,16	16,66	123,6

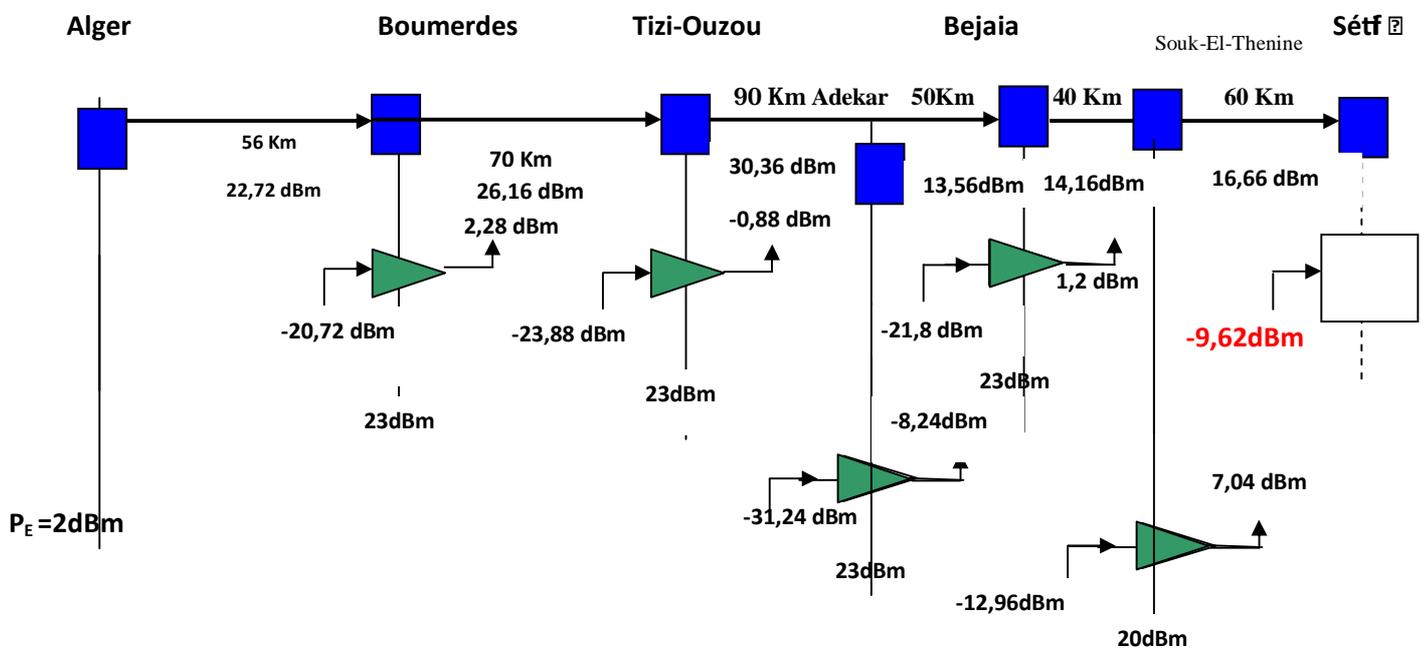
Tableau V.2. Les atténuations des bonds de la liaison DWDM 80 Gb/s Alger-Constantine

**V.2.3.5.2. Le diagramme des niveaux de puissance de la liaison monocal 10 Gb/s Alger-Sétif :**

Le diagramme des niveaux de puissance, aux entrées et sorties des sites amplificateurs de la liaison, permettra de localiser les sites où seront installés les amplificateurs et déterminer ensuite la faisabilité de la liaison par rapport aux niveaux de puissance de signal aux entrées des amplificateurs et le niveau de puissance minimal exigé par le récepteur. L'amplificateur optique choisi est caractérisé par :

- Ü Gamme de puissances d'entrée (Input Power Range) : **-32dBm....-2dBm**
- Ü Puissance maximum de sortie (Maximum Output Power) : **21dBm**
- Ü Gain nominal (Nominal Gain): **23dBm**.

Le diagramme des niveaux de puissance du schéma d'amplification suivant montre que le niveau de puissance -13,86 dBm reçu par le récepteur permettra un bon fonctionnement de la liaison.



**Figure V.2 Diagramme des niveaux de puissance de la liaison monocal 10 Gb/s Alger-Sétif.**

**V.2.3.5.3. Vérification de la qualité de la liaison :**

Bien que le niveau de puissance minimum que le récepteur doit détecter  $P_{Rmin}$  dépend en analogique, du rapport signal sur bruit et en numérique, du débit et du taux d'erreur, une bonne pratique serait toujours de vérifier la qualité de la liaison. Ceci fait par une autre méthode pour s'assurer de l'absence de toute éventuelle erreur.

Le cahier de charges de la liaison numérique exige un taux d'erreur :  $TEB \leq 10^{-12}$ . Le tableau III.5 nous permet de déterminer que le niveau Signal/Bruit correspondant est :  $OSNR = 14,08$  dB. Pour vérifier la satisfaction de ce rapport OSNR, on utilisera la relation suivante (voir chap3) :

$$(B.2) \quad OSNR \text{ (dB)} = 58 \text{ (dBm)} + P_{ch} \text{ (dBm)} - F \text{ (dB)} - L_{span} \text{ (dBm)} - 10 \log_{10} (N_{span})$$

Le tableau suivant montre que la qualité de la liaison recommandée est satisfaite. En effet, pour les quatre bonds de la liaison : **OSNR 14,08 dB.**

Bonds	Bond1	Bond2	Bond3	Bond4	Bond5	Bond6
Dénomination	Alger-Boumerdes	Boumerdes -Tizi-Ouzou	Tizi-Ouzou - Adekar	Adekar-Bejaia	Bejaia-Souk-El-Thenine	Souk-El-Thenine-Sétif
Qualité de la liaison OSNR (dB)	47,26	43,82	39,62	33,12	52,82	35,32

**Tableau V.3. Qualité de la liaison en fonction de l'OSNR.**

**V.2.3.6. Conclusion générale sur le dimensionnement des liaisons haut-débit d'AT :**

Trois considérations majeures, prises en compte par les ingénieurs d'Algérie Telecom dans le dimensionnement des liaisons haut-débit, sont : l'atténuation du niveau de puissance des signaux SDH et DWDM, la dispersion de la fibre NDSF (G.652) installé sur le réseau national et la qualité de la transmission indiquée par le niveau Signal/Bruit pour les liaisons analogiques ou le taux d'erreur pour les liaisons numériques.

Le dimensionnement de la liaison monocanal (SDH) Alger-Sétif nous a permis de constater l'influence non négligeable de la dispersion de la fibre G.652 sur le budget optique exigé par les liaisons nationales.

Les amplificateurs EDFA placés en cascade, sur les liaisons d'AT, permettent une augmentation satisfaisante du budget optique mais introduisent un grand bruit (ASE) qui diminue la qualité de la transmission.

La tolérance des systèmes optiques est inversement proportionnelle au carré du débit de la liaison considérée ( $B^2$ ). Ainsi, si le dimensionnement de la liaison Alger-Sétif a été fait pour une dispersion tolérée de 1600 ps/n.m, le dimensionnement de la même liaison du backbone DWDM 80 Gb/s ne peut être fait que pour une dispersion maximale de 25 ps/nm.

La grande dispersion que présente la fibre NDSF (G.652) au près de 1550 nm est le facteur le plus limitant dans le dimensionnement des liaisons nationales DWDM. Pour pallier à ce problème, Algérie Telecom compte sur les bonnes caractéristiques des modules de compensation de dispersion DCM et les amplificateurs EDFA montés en cascade. La bruit induit par cette solution, et qui résulte dans un grand taux d'erreur (TEB), est quand à lui surpassé par l'utilisation des fonctions de correction d'erreur (FEC, Forward Error Correction) des équipements Optix 1600G utilisé dans le backbone DWDM.

**V.3. La pose de la fibre optique :**

Le CEL (Centre d'Entretien des lignes) est un service spécialisé d'Algérie Telecom qui s'occupe de la mise en place de la fibre optique en respectant certains critères, à savoir l'étude de faisabilité et la mise de la fibre à une profondeur nécessaire (80 cm) en mettant à 40 cm de la surface de la terre un gréage avertisseur vert.

Un nombre de fibres optiques allant de 4 à 16 sont assemblées dans des câbles dits à tubes desserrés en plastique et gaine externe PEHD. Ces câbles ont une excellente résistance qui en association avec un composant de remplissage du cœur de la fibre permettent une bonne protection de la fibre contre l'écrasement et une bonne flexibilité pour un maniement plus aisé.

AT prévoit des fibres (G.652) de réserve dans chaque câble pour permettre une satisfaction rapide des nouveaux besoins sans avoir à refaire tous les travaux.

AT réalise des épissures sur la fibre aux extrémités des portions de 3km. Les pertes causées par les épissures qui ne doivent pas dépasser 0.1 dB (0.03 dB recommandé).

#### V.4. Installation et configuration des équipements SDH :

Pour illustrer au mieux les différentes étapes de la mise en service d'une nouvelle liaison optique SDH au niveau local, on se basera sur un exemple de cinq localités demandant chacune un nombre déterminé de liaisons E1 pour la communication avec les autres localités.

On installera dans chaque localité un élément du réseau NE (Network Element) qui est, dans notre cas, l'équipement Optix 155/622 (voir chapitre 4). Le tableau suivant illustre la demande des cinq localités :

<i>La liaison</i>	<i>Le nombre de services E1</i>	<i>La nécessité de la protection de la liaison</i>
NE1 <-> NE2	8	OUI
NE1 <-> NE3	6	OUI
NE1 <-> NE4	4	NON
NE2 <-> NE3	2	OUI
NE2 <-> NE4	7	NON
NE3 <-> NE4	4	NON

**Tableau V.4. La demande des abonnés en termes du débit et protection du trafic.**

On choisit une topologie en anneau pour relier les quatre NE restants à part NE4 vu que cette topologie offre une solution efficace et économique pour la protection du trafic échangé entre ces quatre localités en adoptant la technique de protection du conduit. On reliera NE4 à l'équipement NE le plus proche par une simple liaison point-à-point non protégée.

Chaque équipement Optix 155/622 doit être assigné un identificateur de l'équipement lui-même (du 1 à 4 dans notre cas) et de sous-réseau (9 dans notre cas). En outre, comme on l'a déjà vu l'Optix 155/622 est muni d'une interface téléphonique RJ11 utilisé pour des fins de gestion, le numéro étant dans notre cas 999.

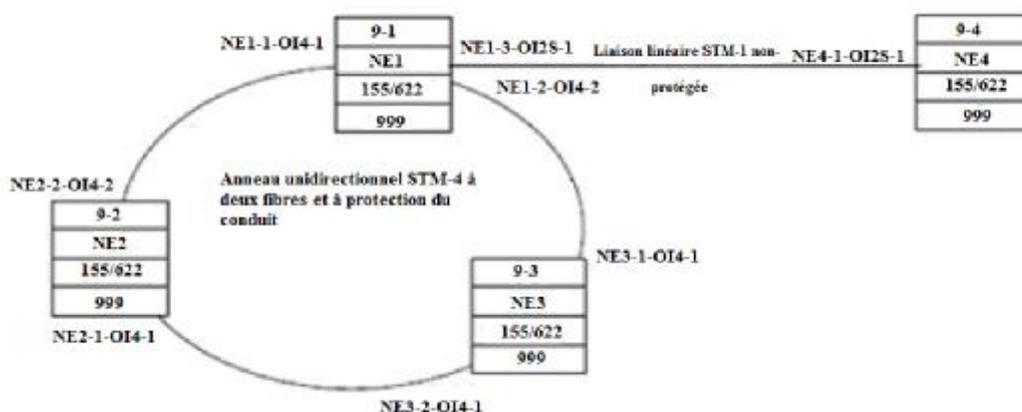


Figure V.3. Le réseau SDH planifié.

#### V.4.1. L'installation des équipements et des différentes cartes optiques :

L'installation de l'équipement Optix 155/622 doit se faire dans des conditions favorables en termes de température de fonctionnement, tension d'alimentation exigée et conditions de pose et de câblage. Les exigences de l'Optix 155/622 en termes de température sont illustrées dans le tableau suivant :

Conditions environnementales	La température (C°)	L'humidité
Conditions optimisées fonctionnement	0° C – 45° C	10%-90%
Conditions de fonctionnement à court terme	-5° C-50 °C	5%-95%
Conditions de stockage	-40°C-70°C	95%

Tableau V.5. Conditions environnementales de l'Optix 155/622.

En termes de tension d'alimentation, L'Optix 155/622 est muni de deux types de cartes pour la réception de l'alimentation, une fonctionnant à -48V et l'autre à +24V. En plus du câble d'alimentation, plusieurs autres catégories de câbles peuvent être connectées à l'équipement Optix 155/622 à l'exemple des câbles E1, T1, E3, T3, N×64 Kb/s, RS-232, le câble de synchronisation et la fibre optique.

La plupart des câbles cités ci-dessus transportent des données qui doivent être reçues et transmises par des cartes optiques ou électriques appropriées. La fibre optique reliant les équipements Optix 155/622 entre eux est connectée aux deux cartes optiques OI2S et OI4 pour les liaisons STM-1 et STM-4 respectivement.

Sur la base de nombre de services E1 à insérer et à extraire au niveau de chaque localité, on choisit la carte électrique appropriée.

On utilise dans notre cas trois types de cartes électriques pour l'opération d'insertion-extraction à savoir : PD2T, PD2D, SP2D.

Les deux cartes optiques OI2S/OI2D permettent de transmettre et recevoir un signal optique STM-1. L'avantage de la carte OI2D (*installée dans l'équipement CA2-POLY-KRIM*) est qu'elle permet deux interfaces optiques STM-1. Elles se chargent principalement de la conversion Optique/Électrique des signaux STM-1, l'extraction et l'insertion des différents en-têtes ainsi que la

génération des signaux d'alarmes dans les liaisons. Elles peuvent être installées dans les cases IU1, IU2 et IU3 de l'équipement. Le diagramme logique de ces deux cartes est illustré dans la figure suivante :

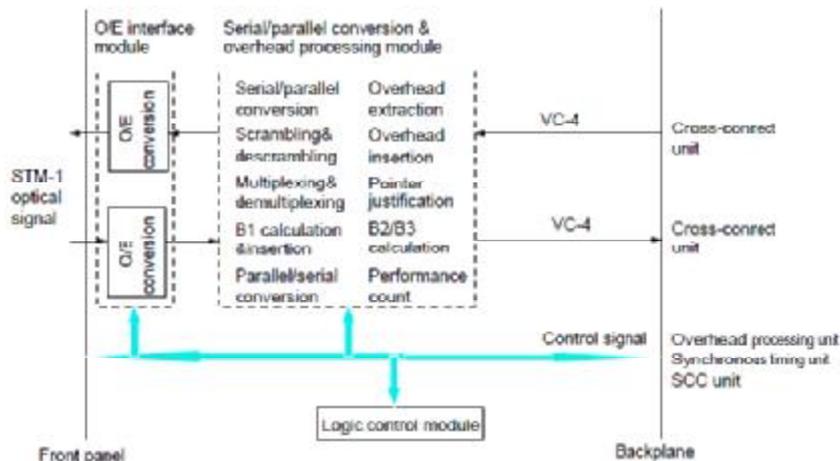


Figure V.4. Le diagramme logique de la carte optique OI2S.

La carte optique OI4 permet de transmettre et recevoir un signal optique STM-4. Elle présente les mêmes fonctionnalités que la carte OI2S à part le fait qu'il traite des signaux STM-4. Son diagramme logique est le suivant :

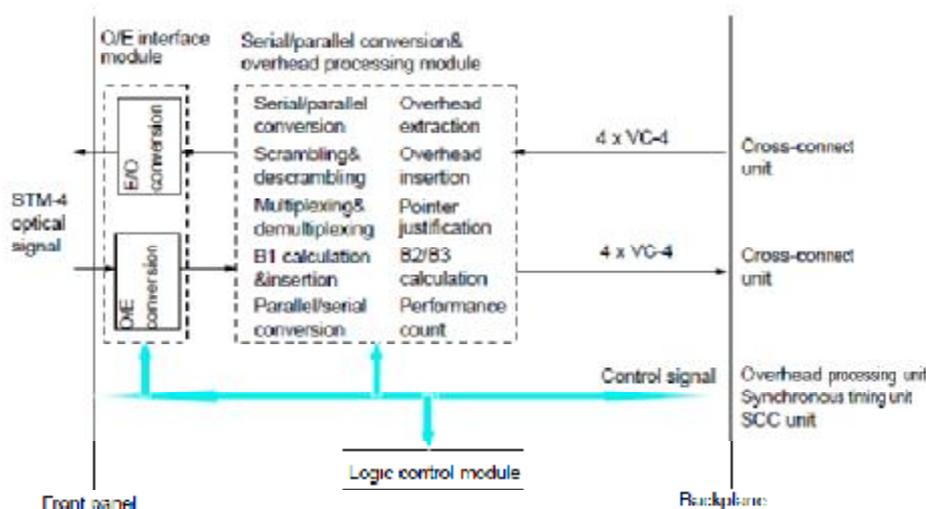


Figure V.5. Le diagramme logique de la carte optique OI4.

Les trois cartes SP2D (installée dans l'équipement CA2-POLY-KRIM), PD2D et PD2T permettent l'insertion et extraction de 16, 32 et 48 signaux E1 respectivement vers et à travers des câbles coaxiaux ou à paires de cuivre d'impédances respectives 75Ω et 120Ω.

Les deux cartes PD2D et PD2T sont installées dans la case IU4 de l'équipement Optix 155/622 Alors que la carte SP2D peut être installée dans les deux cases IU2 et IU3 de l'équipement. Elles se chargent de multiplexer les 16/32/48 signaux dans un VC4 transmis à l'unité de crosse connexion. De même, elles dé-multiplexent le VC4 passé par l'unité de crosse connexion en 16/32/48 signaux E1.

Le diagramme logique de ces trois cartes est illustré dans la figure suivante :

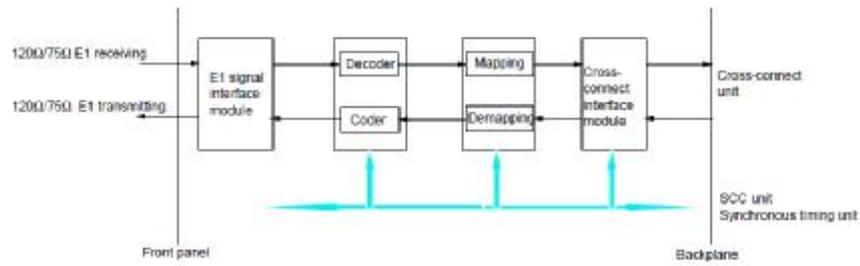


Figure V.6. Le diagramme logique des deux cartes PD2D et PD2T.

La figure suivante illustre les différentes cartes installées dans chacun des quatre équipements Optix 155/622 et les deux cartes d'alimentation POI (Power Input) et de ventilation (FAN) :

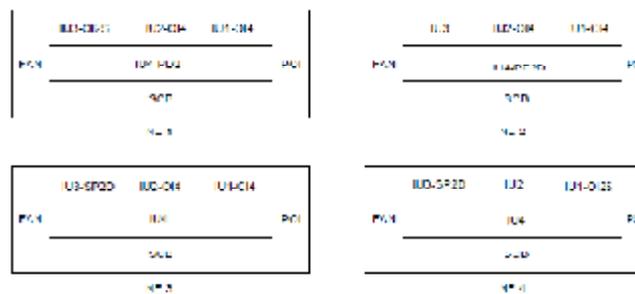


Figure V.7. Les cartes installées dans les quatre équipements Optix 155/622.

**V.4.2. La connexion de la fibre optique :**

Sur un même réseau, il est recommandé d'utiliser un seul et même type de connecteurs aux points de brassage. Seuls les raccordements aux utilisateurs pourront être différents et pourront amener l'utilisateur à utiliser des cordons mixtes (fiche différente à chaque extrémité). Pour cette raison, le connecteur optique utilisé par AT est de type SC utilisé pour connecter les fibres monomodes aux différentes cartes optiques (de l'Optix 155/622 dans notre cas).

Chacune des cartes optiques (OI2S et OI4) installées dans les équipements Optix 155/622 permet la connexion de deux fibres, une pour l'émission et l'autre pour la réception à travers deux ports d'entrée et de sortie respectivement (IN et OUT). Le tableau suivant montre la procédure de connexion de toutes les fibres :

La station locale				La station opposée			
Le NE	La case	La carte	Le port	La NE	La case	La carte	Le port
NE1	IU1	OI4	OUT	NE2	IU2	OI4	IN
	IU1	OI4	IN		IU2	OI4	OUT
NE2	IU1	OI4	OUT	NE3	IU2	OI4	IN
	IU1	OI4	IN		IU2	OI4	OUT
NE3	IU1	OI4	OUT	NE1	IU2	OI4	IN
	IU1	OI4	IN		IU2	OI4	OUT
NE4	IU1	OI2S	OUT	NE1	IU3	OI2S	IN
	IU1	OI2S	IN		IU3	OI2S	OUT

Tableau V.6 : Les données de connexion des fibres optiques des liaisons STM-1 et STM-4.

**V.4.3. L'allocation des intervalles du temps élémentaires IT entre les quatre NE :**

La technologie SDH est basée sur le multiplexage TDM et chaque trame STM-n est émise toutes les 125 µs. Les signaux tributaires récupérés au niveau de chaque localité sont alloués des intervalles de temps (IT ou TS, Time Slot) d'ordre et durée bien déterminés, l'ensemble formera la trame STM-1 ou STM-4 émises dans une durée fixe de 125 µs.

Au niveau de chaque localité les signaux tributaires E1 sont émis dans des IT (TS) bien définis du premier VC4, on indique ces TS au niveau de chaque carte d'émission-réception par s : a-b, ou a-b est l'intervalle des TS alloués pour la liaison.

Les signaux tributaires E1 sont multiplexés dans un ordre qui ne prend en compte que les signaux de la même localité. On indique cet ordre par t x : c-d, ou x est le numéro de la case contenant la carte d'émission-réception et c-d l'intervalle (l'ordre) occupé par les signaux tributaires E1 transmis vers la même destination par rapport aux signaux E1 transmis vers des destinations différentes mais récupérés au niveau de la même localité.

Le tableau suivant illustre l'allocation des intervalles du temps élémentaires TS (Time Slot), du premier VC-4, aux différentes liaisons :

	NE2	NE3	NE4
NE1	S : 1-8 T4 : 1-8 T4 : 1-8	S : 9-14 T4 : 9-14 T3 : 1-6	S : 17-20 T2 : 1-4 T4 : 15-18
NE2		S : 15-16 T4 : 9-10 T3 : 7-8	S : 21-27 T2 : 5-11 T4 : 11-17
NE3			S : 28-30 T2 : 12-14 T3 : 9-11

**Tableau V.7. L'allocation des intervalles du temps pour les différentes liaisons.**

**V.4.4. La synchronisation du réseau SDH :**

L'Optix 155/622 est un équipement SDH qui peut être synchronisé par : une horloge externe BITS (Building Integrated Timing Supply) présente sur le site, une horloge transmise par les signaux de ligne et une horloge interne.

Le réseau doit au moins tracer deux chemins de synchronisation (deux horloges) dans le but de la protection. Ainsi, en cas de défaillance de l'horloge primaire l'équipement Optix 155/622 commute sa source de synchronisation vers l'horloge secondaire.

Le tableau suivant montre les deux horloges utilisées par chaque équipement :

NE	La première source d'horloge	La deuxième source d'horloge
NE1	L'horloge externe BITS	L'horloge interne
NE2	2-OI4	L'horloge interne
NE3	2-OI4	L'horloge interne
NE4	1-OI2S	L'horloge interne

**Tableau V.7. Les sources de synchronisation des équipements.**

Dans notre cas, le nombre des NE est inférieur à six. Ceci fait que tous les NE peuvent tracer le chemin de synchronisation à l'horloge primaire dans la même direction. Le schéma suivant illustre le tracé de chemin de synchronisation des différents équipements :

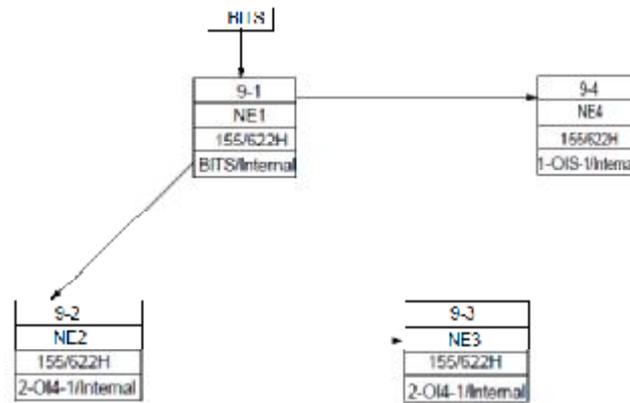


Figure V.8. Le tracé du chemin de synchronisation du réseau.

**V.4.5. L’assignation des adresses IP aux différents équipements Optix 155/622 et la gestion du réseau :**

Les équipements principaux de toute liaison SDH à l’exemple des TM, ADM et multi-ADM fonctionnent continuellement et sans arrêt, ceci dit qu’ils exigent un adressage IP statique.

Une adresse IP statique permet, en plus de la disponibilité continue des services du réseau IP, d’accéder à la gestion de l’équipement à travers le réseau IP au moyen du système de gestion du réseau NMS.

Une station de travail configuré correctement dans le même sous-réseau (129.9.0.0) que celui des quatre Optix 155/622 nous permet de gérer et configurer les services SDH de tous les NE aisément. Pour nous permettre cette facilité dans la gestion du réseau à travers NE1, on configure ce dernier comme point d’accès du réseau ou passerelle du réseau (Gateway) dans les trois NE restants ainsi que dans la station de travail de gestion. Pour vérifier la configuration IP des équipements, on utilise les commandes « *ping* ».

On munit la station de gestion avec le logiciel T2000 utilisé pour la configuration des équipements HUAWEI au niveau local.

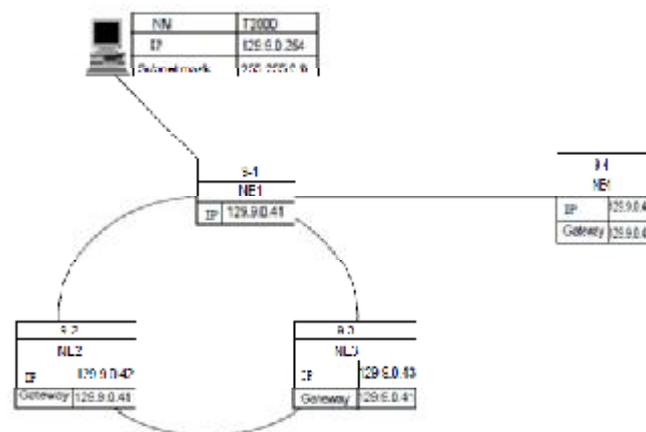


Figure V.9. L’adressage IP du réseau SDH.

**V.4.6. Le processus de configuration des services SDH avec le logiciel T2000 :**

Le processus de configuration des services SDH avec T2000 comporte plusieurs étapes :

### V.4.6.1. Lancer T2000 (serveur et client) :

1-On double-clique sur l'icône « *T2000Client* » sur le bureau pour entrer la fenêtre d'accès ou d'identifiant (login).

2-On tape les données de l'utilisateur (nom et mot de passe) et l'adresse du serveur :

ü **User name : admin.**

ü **Password : T2000.** (T2000 est le mot de passe par défaut. Pratiquement, on le modifie à la première opportunité).

ü **Server : 127.0.0.1:9801.** La première adresse IP : 127.0.0.1 est utilisé en cas ou le serveur T2000 est installé sur le même ordinateur avec le client T2000. Cependant, quand le serveur T2000 est installé sur un autre ordinateur, l'adresse IP à utiliser est celle de ce deuxième ordinateur. Quand à 9801 est une valeur fixe qui peut être enlevée et représente le numéro de port qui identifie notre application.

3-On clique « *login* » et la fenêtre ci-dessous apparaît.

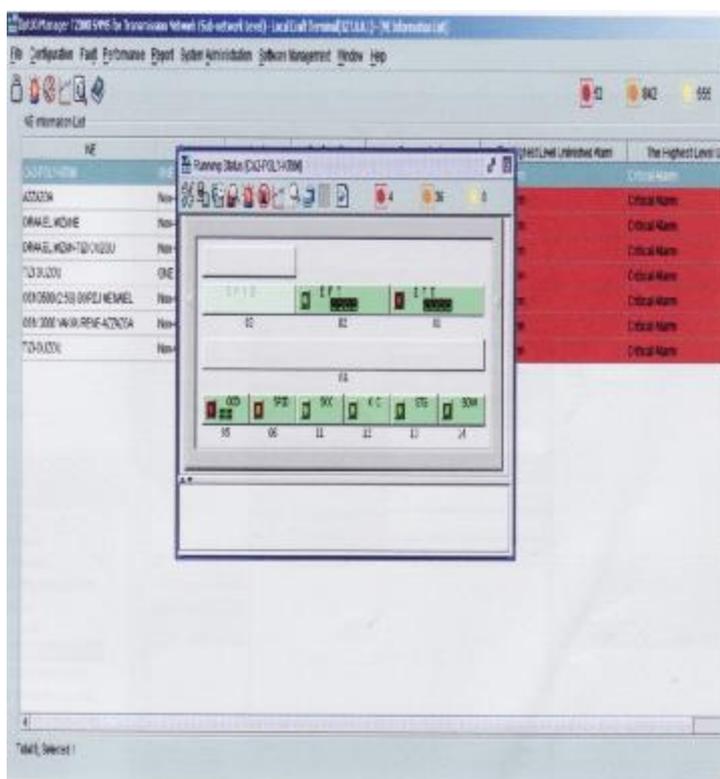


Figure V.10. La fenêtre d'accès à T2000 et à un élément réseau NE (CA2-POLY-KRIM).

Ø Contrairement à notre exemple, La fenêtre principale ci-dessus nous permet en plus de déduire que :

- ✚ L'Optix 155/622 installé au CA2, nommé **CA2-POLY-KRIM**, est configuré comme passerelle réseau (**GNE**) pour les équipements **Non-GNE** installés dans les autres localités (AZAZGA et DRAA EL MIZANE...). Ce qui permet leur configuration à partir du CA2.

Ø La fenêtre « **Running Status** » nous permet de voir l'état de fonctionnement CA2-POLY-KRIM :

- ✚ L'équipement **CA2-POLY-KRIM** est muni d'une seule carte **OI2D** pour l'émission et réception des trames de ligne STM-1. Ce qui montre qu'il fait partie

d'une liaison point à point STM-1 la reliant à l'autre équipement Optix 155/622 nommé TIZI-OUZOU et installé au niveau de CA1.

- ✚ Cet équipement est aussi équipé de trois cartes d'insertion-extraction des affluents tributaires :
  - deux cartes Fast-Ethernet de type **EFT** permettant quatre interfaces électriques à 10 M ou 100M et assurant la projection des services Ethernet dans 1-63 VC12 ou 1-3 VC3.
  - Une carte électrique **SP2D** permettant l'insertion-extraction de 16 E1.
- ✚ L'équipement **CA2-POLY-KRIM** est muni de toutes les cartes nécessaires pour le fonctionnement du **SCB** (System Control Board) à savoir :
  - La carte de contrôle et communication de système **SCC**.
  - La carte de crosse connexion **XC**.
  - La carte de synchronisation **STG**.
  - La carte de traitement des en-têtes **EOW**.

#### V.4.6.2. Rechercher et créer les éléments du réseau NE :

1-Après l'affichage de l'interface graphique de T2000, on clique sur : « **File** » puis sur « **Device Search** ».

2-On clique sur « **Add** » pour afficher la boîte de dialogue « **Input Search Domain** » qui nous permet d'entrer le domaine IP de recherche des NE.

3- On tape :

ü **Address Type : IP address range of GNE.**

ü **Search address : 129.9.255.255** ; qui représente l'adresse de diffusion du réseau : 129.9.0.0 et qui permet d'envoyer des requêtes pour tous les éléments NE du sous-réseau.

ü **User name : root.**

ü **Password : password.**

4-On clique sur « **OK** » ; et le domaine IP défini est ajouté au domaine de recherche IP « **IP Search Domain** ».

5-Dans la fenêtre « **IP Search Domain** », on choisit notre domaine de recherche IP, puis on clique « **Start Search** ».

6-Dans la liste « **NEs Found** », on choisit le NE à créer (NE1-NE4), puis on clique sur « **Create NE** » pour afficher la boîte de dialogue « **Current NE** ».

7-On entre le nom d'utilisateur et le mot de passe pour le NE choisi.

Enfin, on clique sur « **OK** ». Maintenant l'élément du réseau NE choisi est créé et le système affiche « **Create Succeeded** ».

#### V.4.6.3 .Créer les cartes optiques et électriques installées sur les NEs :

1-Dans « **Main menu** », on choisit [**View / Main Topology View**].

2-On double-clique sur l'icône de NE1 pour accéder à la fenêtre « **NE Configuration Wizard** ».

- 3- On choisit la configuration manuelle « **Manual Configuration** », et on clique sur « **Next** ».
- 4-On ouvre le diagramme de panneau se retrouvant à l'avant de l'équipement Optix 155/622 (NE1). Selon la configuration des cartes dans ce panneau déjà illustré dans la figure V.3. On clique de « bouton droit » sur la case voulue et on choisit la carte correspondante. On clique sur « **Next** ».
- 5-On choisit « **Start Verification** » et on clique sur « **Finish** » pour envoyer les données de configuration à l'élément NE1.
- 6- On répète les étapes 2 à 5 pour NE2, NE3, NE4 toujours en utilisant les données de la figure V.3.

#### **V.4.6.4. Créer la protection SNCP de sous-réseau (l'anneau STM-4) :**

- 1-Dans « **Main Topology View** », on choisit [**Configuration/Protection View**] pour afficher la fenêtre « **Protection View** ».
- 2-Dans le menu principal, on choisit : [**Protection View/Create SDH Protection Subnet/PP (Uniform Route)**] pour afficher la fenêtre « **Create protection subnet** ».
- 3-On entre le nom de sous-réseau à protéger et on choisit sa capacité :

- ü **Protection subnet name** : 155/622H
- ü **Capacity level** : STM-4

- 4- Dans le coté droit de la topologie affichée, on double-clique sur l'icône de NE1, NE2 et NE4 un par un pour les ajouter au sous-réseau (la liaison en anneau) protégé, puis on clique sur « **Next** ».
- 5-On continue à cliquer sur « **Next** » jusqu'à ce que le système affiche « **Finish** », on clique sur ce dernier. Quand le système affiche « **Create protection succeeded** », on clique sur « **Close** ».

#### **V.4.6.5. Configurer la synchronisation de sous-réseau : On aura pour ce faire à configurer les paramètres suivants :**

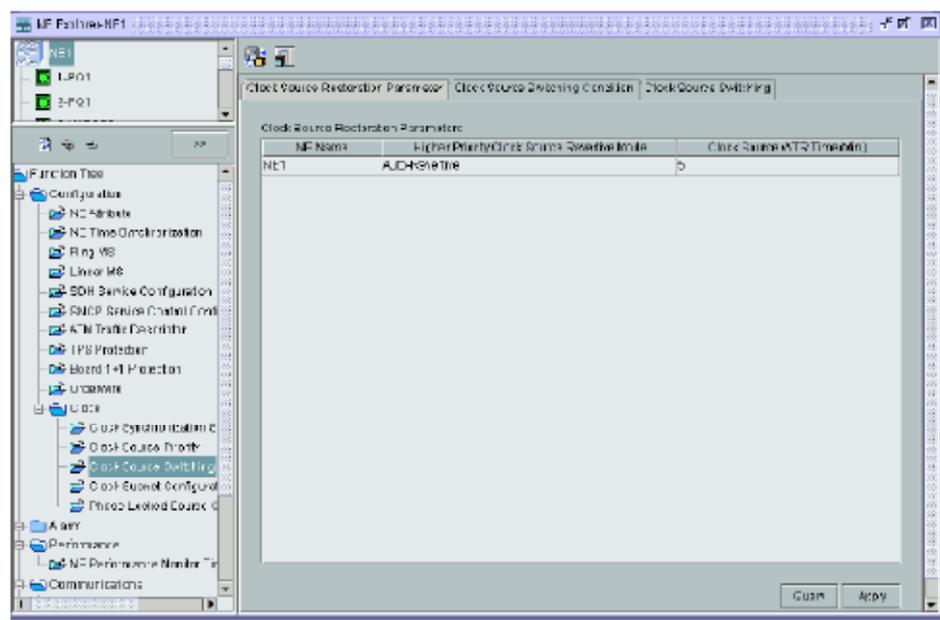
- ü Configurer les horloges sources.
- ü Configurer la table de priorité des horloges.
- ü Configurer le mode et le temps de recouvrement de la synchronisation.

Ci-dessous sont les étapes à suivre pour configurer l'horloge externe de E1 comme horloge source primaire :

- 1- On choisit NE1 dans la topologie principale.
- 2- On choisit [**Configuration/NE Explorer**] dans le menu principal.
- 3- On choisit [**Configuration/Clock/Clock Source Priority**] dans « **Function Tree** ».
- 4- On clique sur « **Create** » pour afficher la boîte de dialogue « **Add Clock Source** ».
- 5- On choisit l'horloge externe comme première source de synchronisation de E1, en cliquant sur « **External clock source 1** » puis sur « **OK** ».
- 6- On configure le mode de synchronisation externe « **External Clock Source Mode** » et l'octet de statut de synchronisation « **Synchronous Status Byte** » dans la boîte de dialogue « **Clock Source Priority** ».

Si l'horloge externe est de 2 Mb/s, on indique la position de l'octet de synchronisation sachant que les positions disponibles sont SA4, SA5, SA6, SA7 et SA8. Si l'horloge externe est de 2 MHz, on n'indique rien sur la position de l'octet S1.

7- On clique sur « **Apply** » puis sur « **Close** » pour fermer la fenêtre.



**Figure V.11. Fenêtre de création de la synchronisation.**

#### V.4.6.6. Configurer les services SDH VC-4 et E1:

On peut procéder de deux manières différentes à savoir configurer le service VC4 et E1 par liaison ou configurer les services E1 par station.

Quand on utilise la deuxième méthode, on procède uniquement à la configuration des unités de crosse-connexion des quatre NE (NE1-NE4) au lieu de configurer le service VC-4 par liaison (voir V.2.8.1.1). On suit les étapes suivantes :

1- On choisit NE1 dans la topologie puis [**Configuration/NE Explorer**].

2- On choisit [**Configuration/SDH Service Configuration**] dans le menu « **Function Tree** », pour afficher la fenêtre de la configuration de crosse-connexion « **Crosse Connection configure** ».

3- On crée les services E1 de NE1 à NE2 : des ports 1-8 de la carte des affluents tributaires dans la case IU4 vers les intervalles de temps (TS: 1-8) du premier VC-4 de la carte optique dans la case IU1. On clique « **Create** » pour configurer les paramètres suivants dans la boîte de dialogue « **Create SDH Service** » puis on clique sur « **Apply** »:

- **Service Level:** VC12.
- **Direction:** bidirectional.
- **Source Slot:** 4-PD2T.
- **Source Timeslot:** 1–8.
- **Sink Slot:** 1-OI4-1.
- **Sink VC4:** VC4-1.
- **Sink Timeslot:** 1-8.
- **Sink Protection Subnet Name:** Two-fiber unidirectional path protection ring.

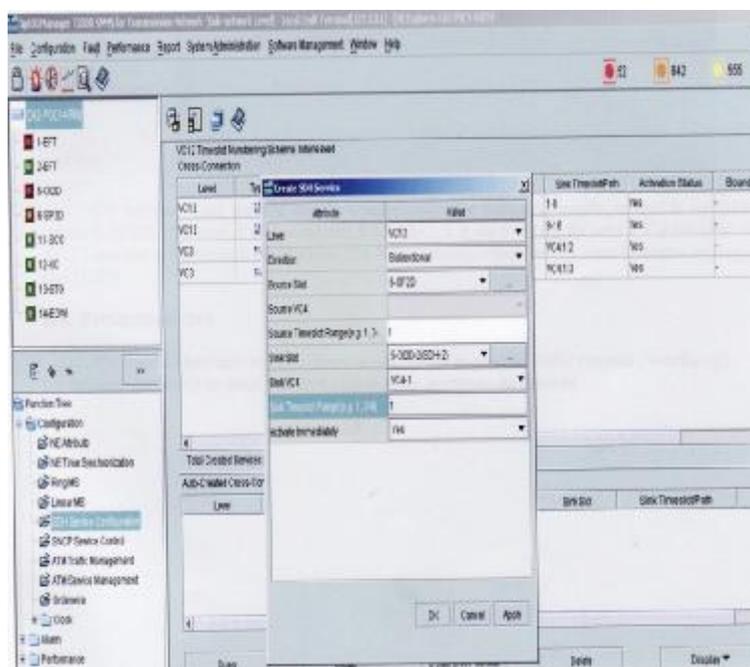
- **Sink Outgoing Subnet Protection:** Protected.
- **Activate Immediately:** Yes.

4- On crée le service de NE1 à NE3 des ports 9-14 de la carte des affluents tributaires dans la case IU4 vers les intervalles de temps (TS: 9-14) du premier VC4 de la carte optique da la case IU1, puis on clique sur « **Apply** ».

5- On configure les services E1 de NE2 à NE3 pour passer à travers NE1 : des intervalles du temps TS : 15-16 du premier VC4 de la carte optique dans la case IU2 vers les intervalles du temps TS : 15-16 du premier VC4 de la carte optique dans la case IU1. On choisit la direction de service : « **Service Direction: Unidirectional** » puis on clique sur « **Apply** ».

6- On suit les mêmes étapes pour configurer les services E1 de NE1 à NE4, de NE4 à NE2 pour passer à travers NE1 et de NE4 à NE3 pour passer à travers NE1.

9- On répètera les mêmes étapes précédentes pour configurer : 5 services de crosse-connexions en E1 et E3 et trois crosse-connexions en NE4.



**Figure V.12. Fenêtre de création d'un conteneur virtuel VC12.**

ü La fenêtre ci-dessous nous permet de voir toutes les crosses connexions configurées dans l'équipement CA2-POLY-KRIM et de déduire le type de protection :

- La protection utilisée est la protection MSP :1 + 1 .
- La carte 6-SP2D (installée dans la case 6) permettant l'insertion-extraction de 16 E1 est configurée comme suit :
  - Les huit premiers E15 (VC12) sont crosse-connectés vers la première interface STM-1 de la carte optique OI2D installée dans la case 5, qu'on indique par : 5-OI2D-1 (SDH-1).
  - Ces huit premiers E1 (trafic principal) sont transportés dans les huit premiers intervalles du temps élémentaires du VC4 de la liaison principale SDH-1 : TS : 1-8.

-Les huit E1 de secours sont insérés/extraits au niveau de la deuxième interface STM-1 de la carte OI2D et transportés dans les IT (TS) : 9-16 du VC4 de la liaison STM-1 de secours SDH-2.

- ✚ La carte Fast-Ethernet EFT-1 (EFT-2 n'est pas utilisée) est configurée comme suit :
  - Le trafic Ethernet principal est transporté dans le deuxième VC3 du VC4 de la liaison principale STM-1(SDH-1) reliée à la première interface optique STM-1 de la carte OI2D-1.
  - Le trafic Ethernet de secours est transporté dans le troisième VC3 du VC4 de la liaison STM-1 de secours SDH-2.

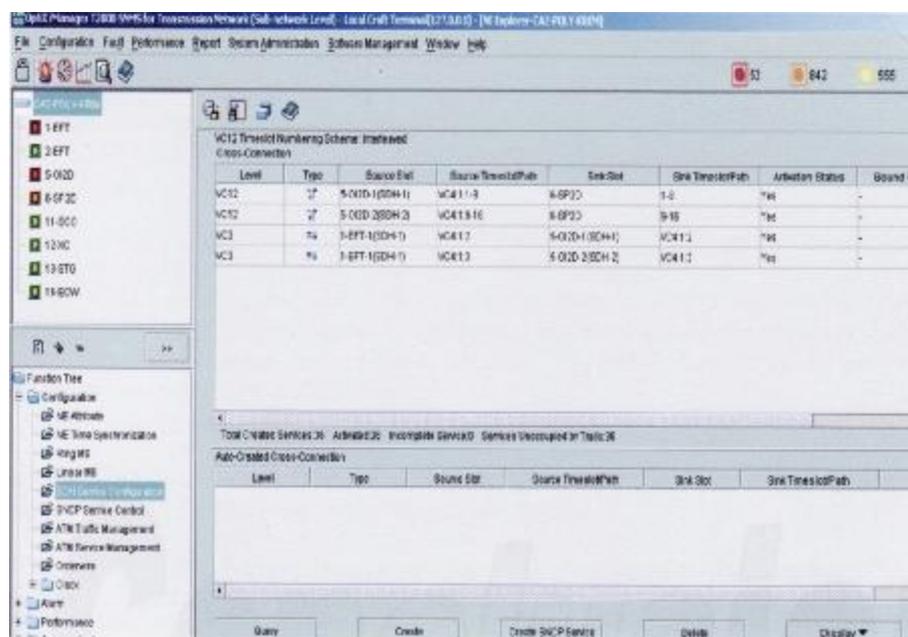


Figure V.13. Fenêtre des crosse-connexions configurées dans l'équipement CA2-POLY-KRIM.

## V.5. Test des liaisons :

### V.5.1. Les liaisons optiques :

#### V.5.1.1. Le radiomètre:

Il s'agit de l'un des appareils de test des liaisons optiques utilisé au centre CA2 d'Algérie Télécom nommé « ACTERNA OLP-55 » (Optical Power Meter-55).

Cet appareil est conçu pour tester tous les systèmes optiques dans des conditions optimales. Le fonctionnement sur batterie avec 4 piles et la conception robuste du boîtier antichoc et anti-éclaboussure garantissant une grande autonomie sur le terrain, même dans les conditions de travail les plus extrêmes. Le fonctionnement sur secteur via adaptateur AC séparé et l'interface de télécommande USB facilitent également l'utilisation de l'appareil au laboratoire.

### Ü Principe de la mesure :

Le principe de mesure de l'affaiblissement dans une fibre optique s'effectue à l'aide des appareils (Emetteur/Récepteur). Ils consistent à envoyer un signal optique d'une longueur d'onde choisie (1550 nm) avec un affaiblissement de 0 dB /Km, à l'autre extrémité (Récepteur) on récupère le signal émis avec une certaine atténuation qui sera affiché sur l'écran.

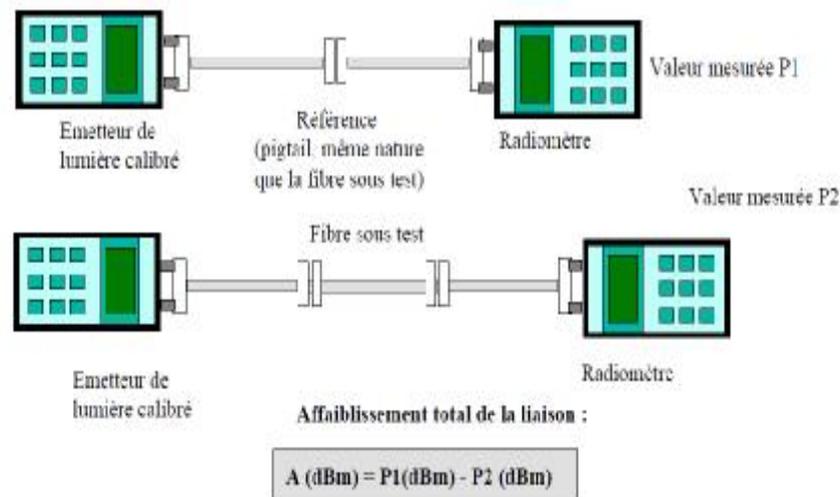


Figure V.14. Principe de la mesure avec le radiomètre.

### V.5.1.2. 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 et de calculer leur atténuation. De plus, l'appareil effectue toutes ces mesures depuis une seule extrémité ce qui permet de simplifier le test.

### Ü Principe de la mesure :

Il consiste à injecter une impulsion lumineuse à une extrémité de la fibre optique, à analyser et à observer du même endroit l'intensité optique qui permet la fibre dans le sens inverse de l'impulsion. Le signal détecté (puissance en fonction de la distance :  $(Pr = K \cdot P_0 \cdot e^{-2 \cdot \alpha \cdot L})$ ) a la forme d'une exponentielle décroissante. Elle est due au phénomène de rétrodiffusion, avec superposition des pics dus aux réflexions sur les extrémités de la fibre ou discontinuité d'indice. La mesure la puissance réfléchie vers l'émetteur est affichée ORL (Optical Return Loss) et dont l'équation de calcul est:

$$ORL = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{\text{incidente}}}{P_{\text{réfléchie \& rétrodiffusé}}} \right)$$



Figure V.15. Réponse impulsionnelle du réflectomètre.

### V.5.2. liaison électrique :

L'appareil qui permet de mesurer le taux d'affaiblissement (erreur) d'une ligne électrique est « l'analyseur de transmission ». (PF4)

#### Ü Principe de la mesure :

Le PF4 est un appareil de test du bon fonctionnement des liaisons électriques, son principe est basé sur la génération d'un signal électrique de débit allant de 2Mb/s à 140 Mb/s. Par ailleurs, le test se fait en effectuant un bouclage à la réception, ainsi on peut commencer le test en envoyant un signal électrique sans erreurs ( $E=0$ ) qu'on va récupérer à la réception avec un taux d'erreurs qui peut être :

- $E \leq 10^{-10}$  : la liaison est bonne (tolérance).
- $E = 10^{-6}$  : Indication du problème.
- $E = 10^{-3}$  : Coupure du câble.

# *Conclusion générale*

L'association des deux technologies SDH et DWDM dans le réseau national d'Algérie Telecom aura un impact considérable sur tous les aspects des services offerts à la clientèle et permettra une satisfaction totale de la demande en bande passante des abonnés et des réseaux Backbone haut-débit. Suite à une interruption de service, les réseaux en anneaux, implémentant ces deux technologies, reviennent à la normale en quelques millisecondes (inférieur à 50 ms) en cas de la coupure de câble optique ou dégradation de la qualité de service.

Le mode de transfert synchrone utilisé dans les systèmes SDH permet aux équipements ADM d'extraire le trafic dans l'anneau à fibre optique, avec une combinaison réduite au minimum de circuits électroniques et d'applications logicielles.

L'introduction de la technologie DWDM dans le réseau d'AT a permis de dépasser le débit limite de 10 Gb/s imposé par la technologie SDH et l'installation du réseau backbone 80 Gb/s tout en présentant une bonne compatibilité avec les systèmes SDH installés et optimisant l'utilisation de la fibre G.652.

Enfin, ce mémoire nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la transmission de données par voie optique et d'acquérir une expérience dans le domaine pratique, sur le fonctionnement et la mise en service des équipements de transmissions SDH via fibre optique (équipements SAGEM et HUAWEI), à l'exemple de l'ADR 155C, l'ADR 2500C, l'Optix 155/622 et l'Optix 3500. Ces derniers permettent de construire des liaisons SDH point à point ou en anneau à un débit STM-n. Le logiciel T2000 est un outil de gestion des équipements HUAWEI au niveau métropolitain qui nous a permis une configuration aisée et riche en options des différents paramètres de fonctionnement des sous-réseaux utilisant les équipements HUAWEI à l'exemple des services SDH (VC-4, VC-12,...etc.), le type de protection APS (SNCP, MSP,...etc.), et les sources de synchronisation ; permettant ainsi le transport des différents affluents (Fast-Ethernet, STM-1,...etc.) avec une grande souplesse durant l'approvisionnement des différents abonnés.

# Annexes

## La compensation de la dispersion

### **-La compensation de la dispersion chromatique et la fibre DCF :**

La fibre DCF utilisé dans les modules DCM a pour but de compenser la dispersion chromatique de la fibre de ligne. Elle compense également la pente de la dispersion chromatique, de sorte que toutes les longueurs d'onde de la fenêtre WDM subissent la même dispersion chromatique totale. Les principaux paramètres sont les suivants :

***-Une dispersion chromatique fortement négative et une faible atténuation sont bénéfiques :*** La dispersion chromatique typique est inférieure à  $-80$  ps/nm/km, tandis que l'atténuation typique est inférieure à 0,5 dB/km. En général, l'atténuation est d'environ 8 dB pour un module qui peut compenser la dispersion chromatique de 80 km de fibre G.652 standard (environ 1360 ps/nm).

***-La compensation de pente de dispersion chromatique de la fibre de ligne :*** Cette caractéristique est essentielle pour les systèmes WDM. Une fibre DCF qui compense la pente de la SSMF est maintenant disponible. La compensation de la pente de la NZDSF est plus difficile car elle nécessite un très grand rapport entre la dispersion et la pente. C'est pourquoi une fibre DCF compensant la pente de la NZDSF n'est apparue que tout récemment.

***-La PMD doit être faible car la DCF est utilisée pour les systèmes à haut débit.***

### **-Le compensateur de dispersion du mode de polarisation :**

Bien que la PMD soit soigneusement contrôlée par les fabricants de fibre, elle peut entraîner d'importantes pénalités de transmission pour un nombre relativement important des liaisons à 10 Gb/s et constituera un problème critique pour le trafic à 40 Gb/s. Le compensateur de PMD permet d'obtenir une tolérance trois fois plus grande vis-à-vis de la PMD. En outre, ce dispositif peut être utilisé à n'importe quel débit.

### Les codes correcteurs d'erreurs (FEC)

Le principe de la correction d'erreurs directe (FEC) consiste à appliquer un code spécifique aux données émises ; cela nécessite une certaine augmentation du débit. Côté réception, un décodeur peut traiter les données reçues et corriger les erreurs. On utilise couramment le code de Reed-Solomon 239/255. Côté émission, 239 octets sont codés en 255 octets – soit une augmentation de 7% du débit. Côté réception, le décodeur peut corriger les erreurs avec une efficacité impressionnante. Comme le montre la figure suivante, le TEB d'entrée, qui est égal à  $10^{-4}$ , est ramené à  $10^{-12}$  après correction. La pente de correction est très importante et un TEB de  $10^{-5}$ , après correction, est ramené à  $10^{-20}$ . Le nombre d'erreurs consécutives qu'il est possible de corriger dépend du code et du multiplexage.

Dans le cas du code de Reed-Solomon, on peut généralement corriger 512 erreurs consécutives. Les codes FEC permettent de concevoir des systèmes avec un rapport signal/bruit optique plus favorable et donc d'augmenter la longueur du système et le pas d'amplification. Le TEB dû aux dégradations de transmission est ramené par les codes FEC à une valeur négligeable ( $10^{-20}$ ) et sa qualité en est donc améliorée. Un certain nombre de systèmes à fibre optique d'Algérie Telecom mettent déjà en œuvre des codes FEC. Un système à 622 Mbit/s l'avait fait pour la première fois en 1992.

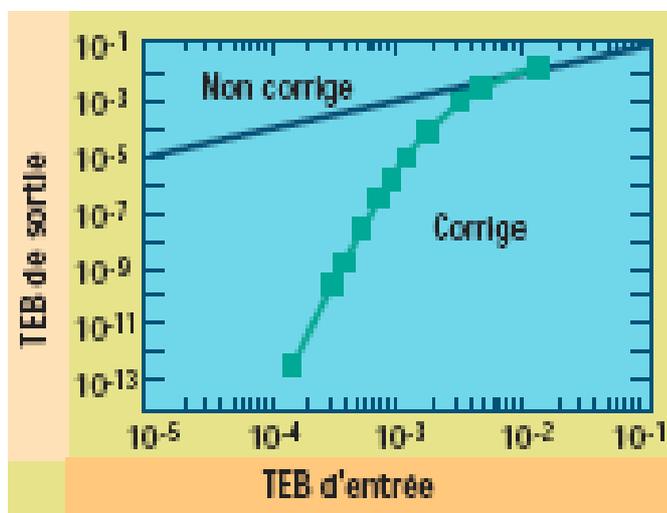


Figure A.1. Correction d'erreurs par code de Reed-Solomon 239/255

# *Bibliographie*

**BIBLIOGRAPHIE**

[1] Z.SIDI ALI MEBAREK « Télécommunications optiques », Office des Publications Universitaires, 2001.

[2] IVAN KAMINOW/TINGYE LI:

Ø « Optical fiber telecommunications IVA: Components », ACADEMIC PRESS, 2002.

Ø « Optical fiber telecommunications IVB: Systems and impairments », ACADEMIC PRESS, 2002.

[3] CARL NASSAR «Telecommunications Demystified», LLH TECHNOLOGY PUBLISHING, 2001.

[4] ANDREW LEVEN «Telecommunication Circuits and Technology», BUTTERWORTH HEINEMANN, 2000.

[5] STEPHEN BICELOW, JOSEPH CARR, STEVE WINDER: « Understanding Telephone Electronics», BUTTERWORTH HEINEMANN, 2001.

[6] JOHN PARK « Practical data acquisition», NEWNES, 2003.

[7] JOHN PARK « Practical data communication», NEWNES, 2003.

[8] La série G (réseaux de transmission) des normes de l'union internationale des télécommunications.

[9] Conception d'un réseau de transmission SDH par fibre optique pour la desserte du gazoduc HASSI R'MEL BOURDJ MENAIL, mémoire fin d'étude 2001, Etudié par : Melle SIAMER Malika, institut d'électronique, UMMTO.

[10] Etude et application de la transmission SDH via fibre optique, mémoire de fin d'étude 2009, Etudier par : Melle FERHANI Samia, Mr BOBRIK Nacer et Mr CHAMEK Said, institut d'électronique, UMMTO.

[11] Documentation d'Algérie Telecom « Nouvelles Technologies Réseaux SDH (Synchronous Digital Hierarchy) »

[12] Guide de configuration du logiciel T2000, HUAWEI Technologies, 2005.