



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Béjaïa
Faculté de technologie
Département de Génie Électrique

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de
Master 2 Académique en Electronique
Option : Télécommunications

THÈME

*Etude et optimisation des paramètres d'une liaison
optique à SONATRACH (Béjaïa)*

Présenté par :

M^{elle}. MERROUCHE Lila

Encadré par :

Mr. S. BERRAH

Mr. K. MADDI

Les membres de jury :

Mr. M. ROUHA Président du jury

Mme. MEZHOUD Examinatrice

Réalisé en collaboration avec



Année 2012 /2013

Remerciements

Au terme de ce travail effectué au sein de l'entreprise SONATRACH (Béjaïa), J'adresse mes vifs remerciements à tous le personnel et en particulier ceux du service Telecom, qui m'ont aidé durant la période du stage, et m'ont offert une agréable ambiance de travail. Afin d'effectuer ce projet dans les meilleurs conditions.

Je suis infiniment reconnaissante à Mr. MADDI.k pour son encadrement, sa disponibilité, ses conseils précieux qu'il m'a témoigné tout au long de mon stage. Je lui serai éternellement redevable.

Je tiens à remercier profondément mon encadreur de l'université Mr. BERRAH.S pour la confiance qu'il m'a accordé et ses encouragements malgré l'état de son fils. Je lui souhaite un bon rétablissement.

Qu'il me soit permis d'exprimer ma sincère gratitude à Mr. ROUHA et Mme. MEZHOUD, pour l'attention accordée à l'examinassions de ce mémoire et l'honneur qu'ils m'ont fait en venant juger ce travail.

Sans oublier l'ensemble des enseignants ayant contribué de près ou de loin à ma formation.

Enfin, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous les amis que j'ai côtoyé pendant mon cursus et en particulier : Djamel, Nawal, Nacim, Zahoua, Ryma, Lidia, Yamina, Nadjet, qui ont cru en moi, pour leurs patiences et pour m'avoir appris à lire dans le silence.

Dédicaces

*À la mémoire de mon cher Père MOULOUD
& mes chers grands-parents*

Puisse Dieu les accueillir dans son infinie Miséricorde

À mon cher oncle Hocine

Que dieu lui préserve bonne santé et lui procure longue vie

À ma chère mère Farida

Pour sa patience et ses considérables sacrifices

Que nulle dédicace ne puisse exprimer ce que je lui dois

À mon cousin Lahlou

*& mes cousines Célia, Nadjet et son mari Yazid, Sadrina et son
mari Mohamed, Kahina et son mari Kamel.*

*À mes chers petits (es) Nouna, Thelelli, Mohamed, Mélina, Elisa,
Idir, Sandra et surtout Elina*

En leur souhaitant la réussite dans leurs études et leurs vies

À tous ceux qui m'ont aidé afin de réaliser ce travail

Introduction Générale

Chapitre 1 : Système de transmission fibre optique SONATRACH Béjaïa

1. Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
1.1. Généralités sur la fibre optique	Erreur ! Signet non défini.
1.1.1. Avantages et inconvénients	Erreur ! Signet non défini.
1.1.2. Caractéristique physique	Erreur ! Signet non défini.
1.1.2.1 L'indice de réfraction	Erreur ! Signet non défini.
1.1.2.2 La loi de Descartes et Snell	Erreur ! Signet non défini.
1.1.2.3 L'ouverture numérique	Erreur ! Signet non défini.
1.1.2.4 Caractéristique de la lumière (la longueur d'onde)	Erreur ! Signet non défini.
1.1.3. Les différents types de fibre optique	Erreur ! Signet non défini.
1.1.4. Les composants d'émission/ réception	Erreur ! Signet non défini.
1.2 Présentation de l'entreprise	Erreur ! Signet non défini.
1.2.1 Historique de l'entreprise:	Erreur ! Signet non défini.
1.2.2 L'activité de Transport par canalisation (TRC) :.....	Erreur ! Signet non défini.
1.2.3 La région de transport centre Béjaïa (RTC) ou la DRGB :	Erreur ! Signet non défini.
1.2.4 La maintenance :.....	Erreur ! Signet non défini.
1.2.4.1 Le service Télécom :	Erreur ! Signet non défini.
1.3 Présentation des équipements de transmission :.....	Erreur ! Signet non défini.
1.3.1 L'ADR 2500c	Erreur ! Signet non défini.
1.3.2 Présentation de l'ADR 155C	Erreur ! Signet non défini.
1.3.3. FMX P4.3B	Erreur ! Signet non défini.
1.4. Conclusion	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre 2: Introductions aux systèmes de télécommunications optiques

2.1 Introduction	Erreur ! Signet non défini.
2.2 Système de transmission numérique	Erreur ! Signet non défini.
2.1.1 Le multiplexage	Erreur ! Signet non défini.
2.1.1.1 Spatial ou fréquentiel (FDM)	Erreur ! Signet non défini.
2.1.1.2 Temporel (TDM).....	Erreur ! Signet non défini.
2.1.1.3 Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)	Erreur ! Signet non défini.
2.1.2 Structure de trame.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1.3 La hiérarchie numérique.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1.3.1 La hiérarchie plésiochrone (PDH).....	Erreur ! Signet non défini.

2.1.3.2	La hiérarchie synchrone (SDH) [6]	Erreur ! Signet non défini.
(a)	La trame SDH.....	Erreur ! Signet non défini.
(b)	Définition des éléments de la hiérarchie synchrone	Erreur ! Signet non défini.
2.2	Le support de transmission.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2.1	Caractéristiques du canal optique de transmission	Erreur ! Signet non défini.
2.2.1.1	L'atténuation	Erreur ! Signet non défini.
2.2.1.2	La dispersion	Erreur ! Signet non défini.
a.	La dispersion chromatique	Erreur ! Signet non défini.
b.	La bande passante de la fibre monomode.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2.1.3	l'atténuation extrinsèque	Erreur ! Signet non défini.
a)	Les pertes par courbure	Erreur ! Signet non défini.
b)	Les par micro-courbure	Erreur ! Signet non défini.
c)	Les pertes par épissurage.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2.2	Les câbles à fibre optique	Erreur ! Signet non défini.
2.2.2.1	Structures d'un câble	Erreur ! Signet non défini.
2.2.2.2	Les connecteurs	Erreur ! Signet non défini.
2.2.3	Les procédures de pose de câble optique.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2.3.1	Les mesures de sécurité :	Erreur ! Signet non défini.
2.2.3.2	La méthode de pose de conduit en PEHD(polyéthylène haute densité).....	Erreur ! Signet non défini.
2.3	Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre 3: Mesures et performances d'une liaison optique

3.1	Introduction	Erreur ! Signet non défini.
3.2	Inspection et le nettoyage des fibres.....	Erreur ! Signet non défini.
3.3	Mesure de perte de puissance optique (photométrie).....	Erreur ! Signet non défini.
3.3.1	Principe.....	Erreur ! Signet non défini.
3.3.2	Analyse des résultats	Erreur ! Signet non défini.
3.4	Test de réflectométrie (OTDR)	Erreur ! Signet non défini.
3.4.1	Principe de la méthode de rétrodiffusion.....	Erreur ! Signet non défini.
3.4.1	Principe de l'OTDR :.....	Erreur ! Signet non défini.
3.4.2	Test OTDR	Erreur ! Signet non défini.
3.4.2.1	Liaison RTC-CA	Erreur ! Signet non défini.

✓ Acquisition de la trace	Erreur ! Signet non défini.
✓ Vérification de l'analyse.....	Erreur ! Signet non défini.
3.4.2.2 La liaison RTC- SBM (coupée).....	Erreur ! Signet non défini.
✓ Acquisition de la trace	Erreur ! Signet non défini.
✓ Vérification de l'analyse.....	Erreur ! Signet non défini.
3.4.2.3 La liaison RTC-SBM (Rétablie).....	Erreur ! Signet non défini.
✓ Acquisition de la trace	Erreur ! Signet non défini.
✓ Vérification de l'analyse.....	Erreur ! Signet non défini.
3.5 Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre 3

Mesures et performances d'une liaison optique

3.1	Introduction	Erreur ! Signet non défini.
3.2	Inspection et le nettoyage des fibres.....	Erreur ! Signet non défini.
3.3	Mesure de perte de puissance optique (photométrie).....	Erreur ! Signet non défini.
3.3.1	Principe.....	Erreur ! Signet non défini.
3.3.2	Analyse des résultats	Erreur ! Signet non défini.
3.4	Test de réflectométrie (OTDR)	Erreur ! Signet non défini.
3.4.1	Principe de la méthode de rétrodiffusion.....	Erreur ! Signet non défini.
3.4.1	Principe de l'OTDR :.....	Erreur ! Signet non défini.
3.4.2	Test OTDR	Erreur ! Signet non défini.
3.4.2.1	Liaison RTC-CA	Erreur ! Signet non défini.
✓	Acquisition de la trace	Erreur ! Signet non défini.

✓	Vérification de l'analyse.....	Erreur ! Signet non défini.
3.4.2.2	La liaison RTC- SBM (coupée).....	Erreur ! Signet non défini.
✓	Acquisition de la trace	Erreur ! Signet non défini.
✓	Vérification de l'analyse.....	Erreur ! Signet non défini.
3.4.2.3	La liaison RTC-SBM (Rétablie).....	Erreur ! Signet non défini.
✓	Acquisition de la trace	Erreur ! Signet non défini.
✓	Vérification de l'analyse.....	Erreur ! Signet non défini.
3.5	Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre 4

Conception et simulation d'une liaison optique

4.1	Introduction	Erreur ! Signet non défini.
4.2	Présentation du logiciel	Erreur ! Signet non défini.
4.2.1	Interfaces COMSIS	Erreur ! Signet non défini.
4.2.2	Les étapes de simulation	Erreur ! Signet non défini.
4.2.2.1	La modélisation du système	Erreur ! Signet non défini.
4.2.2.2	Les différentes analyses	Erreur ! Signet non défini.
4.3	La simulation.....	Erreur ! Signet non défini.
4.3.1	Simulation de la liaison RTC-CA	Erreur ! Signet non défini.
4.3.1.1	Analyse temporelle.....	Erreur ! Signet non défini.
4.3.1.2	L'analyse spectrale	Erreur ! Signet non défini.
4.3.1.3	La courbe de taux d'erreur	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2	Simulation de la liaison RTC-SBM	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2.1	Analyse statique	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2.2	Simulation temporelle	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2.3	Diagramme d'œil.....	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2.4	Facteur de qualité	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2.5	L'analyse spectrale	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2.6	Taux d'erreur.....	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2.7	Bilan de puissance	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2.8	Le rapport signal à bruit	Erreur ! Signet non défini.

4.4 Conclusion.....Erreur ! Signet non défini.

Introduction générale

Depuis quelques années, la fibre optique a été fortement introduite comme support de transmission incontournable sur les segments fédérateurs des réseaux LAN d'entreprise. Cette poussée a d'ailleurs été favorisée par les efforts de la normalisation tant au niveau des fibres que des composants optoélectroniques.

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés à Sonatrach (Béjaia) au sein de service telecom. Les objectifs de notre étude est de définir et d'optimiser les systèmes de transmissions par fibres optiques, qui sont particulièrement focalisés sur deux sujets de préoccupation majeur : L'augmentation possible du débit d'informations transmises et d'atténuer les principaux limitations de l'extention de la distance de transmission des signaux optiques entre les sites lointains. Conjointement représentées par les phénomènes de dispersion, d'atténuation et le nombre de répéteurs le long de la liaison.

Néanmoins, les réseaux de transmission existant sont définis par la juxtaposition de deux technologies numériques plésiochrone (PDH) et synchrone (SDH). Le débit de transmission optique, dont les niveaux organisés hiérarchiquement en STM-n, a imposé l'utilisation des recommandations du standard SDH.

Le travail, mené dans le cadre de ce projet, s'est articulé autour de quatre chapitres : le premier chapitre, on va procéder à la discrèption des notions de bases de la fibre optique et à la présentation de l'organisme d'accueil ainsi que les équipements de transmission que possède l'entreprise.

Le second chapitre présente le mécanisme d'un système de transmission numérique, ensuite on faisant le point sur les protocoles utilisés (PDH, SDH, WDM). Enfin, on aborde l'aspect théorique du support de transmission (fibre optique).

L'objectif du chapitre trois est de vérifier la performance d'une chaine de transmission à fibre optique lors de son installation. Ce chapitre s'articule autour de deux axes, la première partie est basée sur les mesures de puissance du lien RTC-CA, en utilisant un instrument de test de la perte optique (power mètre), suivie d'une analyse des résultats obtenus. Dans la seconde partie, on utilise un réflectomètre (OTDR) comme appareil de mesure, il permet de localiser les défauts

dans la fibre optique et caractériser l'affaiblissement, la réflectance de chaque élément et les pertes de connexions.

Le dernier chapitre prolonge l'analyse des mécanismes de défaillance, détectés dans le troisième chapitre, par une simulation sous logiciel numérique COMSIS. Les résultats obtenus permettent d'évaluer l'impact des phénomènes limitant la performance d'une liaison optique à grande distance (l'atténuation, la dispersion,.....).

Et enfin, on terminera ce travail par une conclusion.

Liste des abréviations

- ASE** Amplified Spontaneous Emission (Émission spontanée amplifiée).
- BER** Bit Error Rate (Taux d'erreur binaire)
- FDM** Frequency Division Multiplexing (Multiplexage à répartition fréquentielle)
- ITU** International Telecommunication Union (Union international des télécommunications)
- NRZ** No Return to Zero (Non retour à zero).
- PDH** Plesiochronous Digital Hierarchy (Hiérarchie numérique plésiochrone)
- RIN** Relative Intensity Noises (Bruit d'intensité relatif)
- SDH** Synchronous Digital Hierarchy (Hiérarchie numérique synchrone)
- SMF** Single Mode Fibre (Fibre monomode)
- SNR** Signal to Noise Ratio (Rapport signal à bruit)
- SOA** Semi-conducteur Optical Amplifier (Amplificateur optique à semiconducteur)
- SONET** Synchronous Optical Network (Réseau optique synchrone)
- TDM** Time Division Multiplexing (Multiplexage à répartition temporelle)
- WDM** Wavelength Division Multiplexing (Multiplexage à répartition de longueur d'onde)
- TEB** Taux d'erreur binaire
- DCF** Dispersion Compensation Fiber (Fibre à compensation de dispersion)
- DDP** Densité de probabilité
- DFB** Distributed FeedBack Laser (Laser à contre-réaction distribuée)
- DSF** Dispersion Shifted Fiber (Fibre à dispersion décalée)
- GVD** Group Velocity Dispersion (Dispersion de vitesse de groupe)
- O.N** Ouverture Numérique
- DEL** diodes électroluminescentes
- DL** les diodes laser
- TRC** Transport par canalisation
- RTI** Région Transport Ain-Amenas
- RTH** Région Transport Haoud El Hamra
- RTC** Région Transport Centre Béjaïa
- RTO** Région Transport Ouest Arzew
- TMB** terminal marin de Béjaïa

PABX Private Automatic Branch eXchange (Central téléphonique privé)

ADR 2500c add-drop Multiplexer 2500 Mbit/s Compact

TPI Terminal **P**ortable **I**ntelligent

SGD Système de **G**estion **D**istant

GIE gestion et interfaces d'exploitation

HDB3 haute densité bipolaire d'ordre 3

MIC modulation par impulsions codées

RNIS réseau numérique par intégration de service

OTDR Optical time domain reflectometry (réflectométrie optique)

Chapitre 1

Système de transmission fibre optique

SONATRACH Béjaïa

1. Introduction :

Dans cette première partie, on va donner une introduction sur les fibres optiques (les notions de bases, les avantages et inconvénients,...). On abordera ensuite une présentation de l'organisme d'accueil et enfin une description générale des équipements de transmissions par fibres optiques de l'entreprise.

1.1. Généralités sur la fibre optique :

1.1.1. Avantages et inconvénients : [22]

La lumière au sens large est une onde électromagnétique qui peut servir de support de transmission de l'information. Sa transmission guidée dans une fibre optique présente les avantages suivants :

- Faible pertes.
- Large bande passante.
- Insensibilité aux perturbations électromagnétiques.
- Possibilité de raccordement entre les fibres optiques.
- Robustesse, faible poids et faible encombrement.

Le tableau ci-dessous met en relief ces divers avantages par rapport aux autres supports de transmission :

Support	Câble coaxial	Ondes radio	Fibre optique
Propagation	Guidée	Libre/dirigée	Guidée
Matériau	Cuivre	/	Silice
Bande passante	MHz	GHz	THz
Atténuation	Forte avec fréquence	Variable	Très faible
Sensibilité aux perturbations EM	Faible	Forte	Nulle
Confidentialité	Correcte	Nulle	Elevée
Applications	Réseaux locaux haut débit, vidéo	Mobiles, satellites, hertzien	Haut débit longue distance, réseaux locaux.

Tab 1.1 : comparaison entre les supports de transmissions

Par contre on peut dénombrer certains inconvénients:

- le cout des équipements actifs ainsi que les équipements de tests.
- Des pertes peuvent être causées par des courbures du câble, des connecteurs mal positionnés ou sales, des inhomogénéités dans le verre de la fibre.
- Difficultés d'adaptation avec les émetteurs lasers.
- Exigences micromécaniques importantes (connexions, alignement).

1.1.2. Caractéristique physique : [28]

La fibre optique est un support de propagation de la lumière (canal de communication) dans les systèmes optiques. Il s'agit d'un guide d'onde diélectrique à géométrie cylindrique constitué au centre d'un cœur composé essentiellement de silice pure plus ou moins dopée a un indice de réfraction n_1 entouré d'une gaine d'indice n_2 légèrement inférieur à n_1 . l'ensemble est entourer par un revêtement.

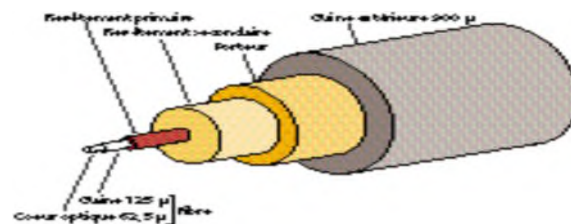


Fig1.1 : Schéma fibre optique à saut d'indice

1.1.2.1 L'indice de réfraction : [19]

L'indice de réfraction d'un milieu est défini comme étant le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (c) et la vitesse de la lumière dans le milieu considéré (c_{mat}) :

$$n = \frac{c}{c_{mat}} \quad (1.1)$$

Le tableau ci-dessous présente les valeurs d'indice de réfraction de quelques substances :

Substance	Indice de réfraction
Glace	1.31
Eau	1.33
Alcool	1.36
Glycérine	1.47
Sel	1.54
Verre flint	1.655
air	1.0002
verre crown	1.517
carbone	2.417
oxyde de titan	2.76

Tab1.2 : l'indice de réfraction des différentes substances.

1.1.2.2 La loi de Descartes et Snell : [22][8]

Le guidage du signal optique est basé sur la loi de Descartes. La lumière se propage le long de la fibre par des réflexions successives entre le cœur et la gaine.

$$n_1 > n_2 \tag{1.2}$$

Or, il est connu que lorsqu'un rayon lumineux incident passe d'un milieu d'indice n_1 à un milieu d'indice n_2 , il est réfracté avec un angle i_2 tel que :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \tag{1.3}$$

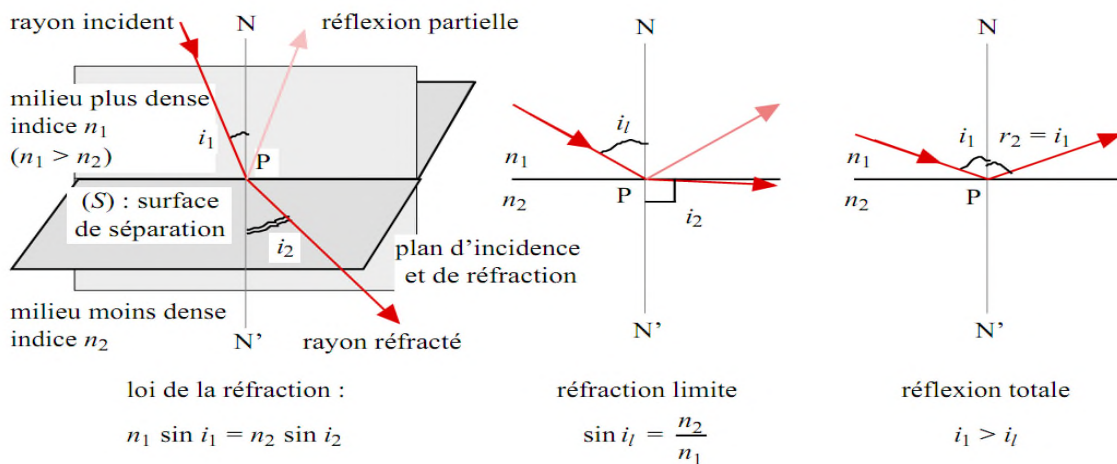


Fig1.2 : Le principe de guidage de la lumière avec les lois de la réfraction et de la réflexion de Descartes.

1.1.2.3 L'ouverture numérique : [22]

Le guidage de la lumière se fait grâce à la réflexion totale interne. Par conséquent il est nécessaire que les rayons se propageant dans la fibre soient complètement réfléchis à chaque fois qu'ils rencontrent la surface de séparation cœur-gaine. Le paramètre Ouverture Numérique (O.N) est un indice de capacité de la fibre à accepter le signal optique à l'entrée. Il permet de définir l'angle d'incidence limite, permettant le guidage du signal lumineux.

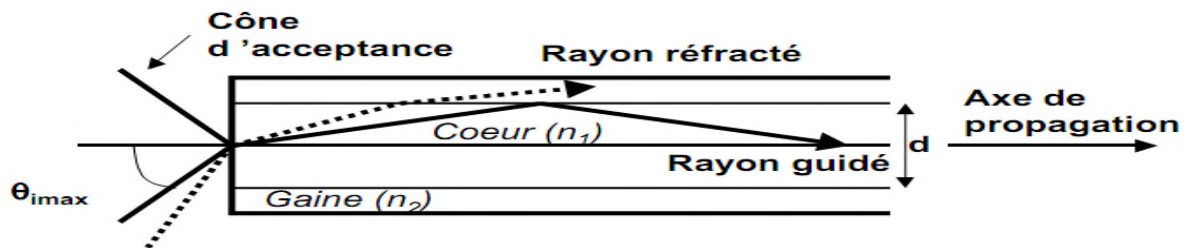


Fig1.3 : Le guidage des rayons dans une fibre optique

L'ouverture numérique est définie par :

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

$$\text{Avec } \left\{ \begin{array}{l} \theta_{imax} \text{ angle d'acceptance} \\ n_1 \text{ indice de réfraction du coeur} \\ n_2 \text{ indice de réfraction de la gaine} \end{array} \right\}$$

1.1.3. Les différents types de fibre optique: [8]

La propagation des signaux lumineux se décrit au moyen de mode de propagation. Pour un profil d'indice de réfraction donné entre le cœur et la gaine, le nombre de modes ($\frac{V^2}{2}$) dépend essentiellement du rapport entre le diamètre du cœur et la longueur d'onde. Pour cela on introduit le paramètre de fréquence normalisée V donnée par la formule :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.6)$$

Où a : représente le diamètre du cœur.

Les classifications possible d'une fibre est selon son profil d'indice (saut d'indice SI et gradient d'indice GI) et selon sa géométrie interne et la propagation (multimode ou monomode) :

- **Fibre multimode** : La fibre est dite multimode si le cœur a un grand diamètre devant la longueur d'onde. Il est de l'ordre de 50 à 200 μm pour les fibres de silice, et de 0.5 à 1 mm pour les fibres plastiques.
- **Fibre monomode** : Les fibres monomodes utilisées à la longueur d'onde 1550 nm possèdent un diamètre de cœur extrêmement fin (8 à 10 μm en général), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 microns) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée.

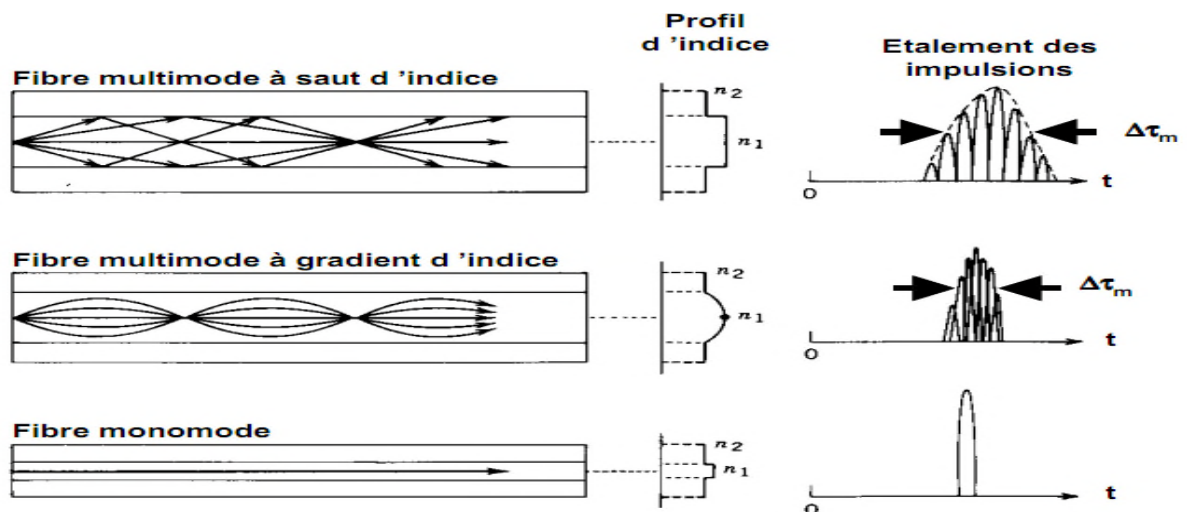


Fig 1.4 : Tracé des rayons optiques, la largeur de bande typique des 3 fibres.

Le tableau suivant compare les caractéristiques des deux familles :

Fibre monomode	Fibre multimodes
Ouverture numérique faible (connexion difficile)	Ouverture numérique forte (connexion facile)
Très faible atténuation (qlq dixième de db/km)	Faible atténuation
Faible dispersion	Forte dispersion
La bande passante supérieure à 10 GHz/km	Bande passante comprise entre 200 et 4700 MHz.km
Utilisation pour longues distances	Utilisation pour réseaux privés
injection de type LASER (VCSEL)	Généralement injection de type LED.

Tab1.3 : Caractéristiques générales des fibres optiques.

1.1.4. Les composants d'émission/ réception :

Le principe de fonctionnement de ces composants repose sur l'interaction lumière matière dans les semi-conducteurs (émission spontanée, émission stimulée et l'absorption), ainsi que sur la physique des dispositifs électroniques.

- **Composants d'émission :**

On distingue classiquement les diodes électroluminescentes (DEL) et les diodes laser (DL), Dans le cas des liaisons haut débit, seules les diodes laser nettement plus performantes.

Emetteur	DEL	Laser
Fenêtre (nm)	800 à 900, 1250 à 1350	1300 et 1550
Bande passante	< 200 MHz	> 1 GHz
Distance	Courte	Longue
Sensibilité à la température	Moyenne	Très forte
Durée de vie	Longue	Courte
Coût	Faible	Elevé

Tab 1.4 : tableau de comparaison entre les sources d'émissions.

- **Composants de réception :**

La détection est un point clef des liaisons optiques. Il est donc nécessaire que le système de détection soit sensible et rapide. Le système de détection comprend, en plus de l'élément photo-détecteur (une photodiode PIN), un ensemble de circuits électroniques.

Les principaux paramètres qui interviennent pour caractériser la détection sont :

- ✓ La longueur d'onde de coupure.
- ✓ La sensibilité du détecteur.

1.2 Présentation de l'entreprise :

1.2.1 Historique de l'entreprise:

SONATRACH « Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures S.P.A » est une entreprise publique algérienne et un acteur majeur de l'industrie pétrolière. Sa création le 31 décembre 1963, répondait au souci d'une mobilisation des ressources de la rente pétrolière, perçue très tôt comme un élément moteur dans le développement de l'Algérie. Au fil des années, elle est devenue un puissant élément d'intégration nationale et d'envergure internationale; c'est la clé de la stabilité économique et sociale. Adoptant une stratégie d'internationalisation et de partenariat, SONATRACH renforce sa position en tant qu'acteur majeur dans l'industrie pétrolière et gazière. Ses activités à l'international connaissent un développement intense qui se caractérise par une diversification aussi bien sur le

plan géographique que sur le plan des activités. Ainsi, les activités que le groupe SONATRACH développe sur le plan international sont les suivantes :

- Amont
- Transport par canalisation
- Aval
- Commercialisation des produits pétroliers
- Transport maritime

Dans ce projet, on va faire le point sur l'activité de Transport par canalisation.

1.2.2 L'activité de Transport par canalisation (TRC) :

A sa création, le 31 décembre 1963, SONATRACH s'est fixée pour missions le transport et la commercialisation des hydrocarbures extraits des gisements du Sahara par les premières compagnies étrangères opérant à l'époque en Algérie. Le premier projet lancé et réalisé par SONATRACH était l'oléoduc OZ1 reliant Haoud-El-Hamra à Arzew, en 1966.

L'activité Transport par Canalisation est regroupée en divisions :

- Division Exploitation.
- Division Maintenance.

Elle est assurée par cinq régions de transport à savoir :

- Région Transport Ain-Amenas RTI
- Région Transport Haoud El Hamra RTH
- Région Transport Centre Béjaïa RTC.
- Région Transport Ouest Arzew RTO.
- Région de transport Est SKIKDA



Fig1.5 : Réseau de transport par canalisations.

1.2.3 La région de transport centre Béjaïa (RTC) ou la DRGB :

La Région Transport Centre Béjaïa (RTC) est une des cinq régions du TRC qui assure le transport du pétrole brut et condensât à partir du terminal départ Haoud El Hamra jusqu'au terminal arrivé marin de Béjaïa afin de l'exporter vers l'étranger, ainsi que l'approvisionnement en gaz de la région centre à partir du terminal Hassi-R'mel jusqu'au terminal Arrivé Isser.

RTC se charge de l'exploitation et la maintenance des l'Ouvrages suivant :

- L'Oléoduc OB124 '' « Haoud-El-Hamra vers Terminal Marin Béjaïa », des stations de pompages principales et satellites ont irrigués le long de l'axe. On dénombre 4 stations principales et 4 stations satellites.

- Station de pompage de Haoud-El-Hamra(HEH) **SP1**.
- Station de pompage de DJAMAA **SP1 BIS**.
- Station de pompage de Biskra **SP2**.
- Station de pompage de M'SILA **SP3**.

- L'Oléoduc DOG1 16 '' alimentant la raffinerie d'Alger à partir de la station de pompage de Beni-Mansour.

- Gazoduc GG1 42 '' alimentant en gaz la région centre.

❖ Le terminal marin de Béjaïa :

Le terminal marin de Béjaïa comporte deux parcs de stockage nord et sud, les réseaux des collecteurs reliant les parcs au port pétrolier composé de sept bacs de chargement, dont trois installés récemment.



Fig1.6 : Terminal arrivé Bejaia(TMB)



Fig1.7: Le port pétrolier.

1.2.4 La maintenance :

Un département très important au sein de l'entreprise SONATRACH, il englobe des services d'entretien de la ligne de transport des hydrocarbures, il s'ajuste au premier plan par rapport à l'importance de ces activités. Ce département administre la gestion des services assurés par des branches opérationnelles tels que les directions fonctionnelles qui élaborent et veillent à l'application d'une politique et une stratégie de groupe. Elles fournissent l'expertise et l'appui nécessaire aux activités. Il est divisé en cinq services, sa structure est représentée comme suit :

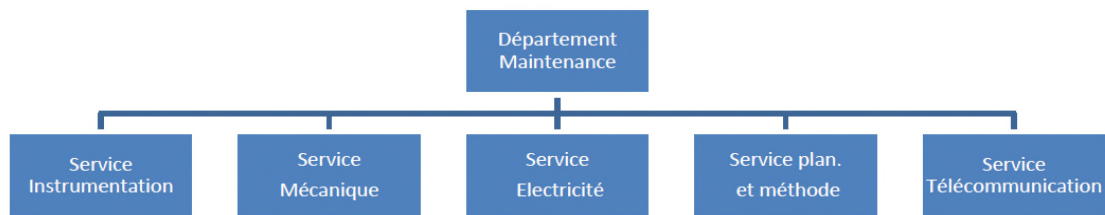


Fig1.8: Organigramme du département Maintenance.

1.2.4.1 Le service Télécom :

Afin d'assurer le transport des hydrocarbures depuis HEH jusqu'au TMB, il faut avoir une bonne transmission permanente entre les stations. Le domaine des télécommunications est vaste et varié. Le premier risque à éviter est celui de la confusion. Il est donc nécessaire d'organiser l'approche de ce domaine en utilisant des définitions et savoir mieux les acheminer.

Le terme "télécommunication" désigne l'ensemble des moyens techniques permettant l'acheminement fidèle et fiable d'informations entre deux points quelconque, elle utilise deux techniques inséparables : la **transmission** assure le transport de l'information à distance, la **commutation** est la mise en relation de deux usagers quelconques conformément à leurs ordres.

Le service télécom est indispensable dans l'entreprise SONATRACH, son rôle principale est d'assurer le bon fonctionnement des structures de la TRC ainsi que ses activités, il est chargé aussi d'une liaison permanente entre ses différents sièges, soit entre eux (les abonnés), soit entre les stations...etc.

En effet, l'arrêt des télécommunications engendre directement l'arrêt du pompage, afin d'accomplir ses missions avec succès, le service est doté de :

- **Système commutation (Alcatel-Lucent) :**



Fig1.9 : Architecture d'un système de commutation Alcatel-Lucent.

Le réseau téléphonique commuté (RTC) est le réseau de téléphone (fixe et mobile). Comme est déjà cité, la TRC est divisée en deux secteurs (nord, sud) et comme la téléphonie est la partie la plus importante, en générale elle est composée d'un autocom ou PABX (Private Automatic Branch exchange), un répartiteur, un sous répartiteur, des PC (point de concentration) et des appareils téléphoniques (post IP, post analogique, DECT).

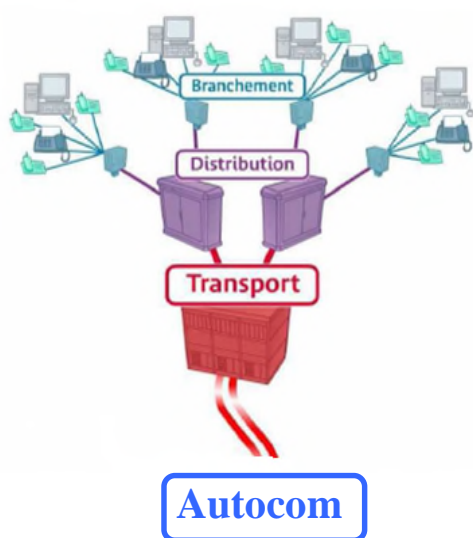


Fig1.10 : Architecture de la téléphonie. **Fig1.11 :** Les différents postes téléphoniques Alcatel.

Un PABX (Central téléphonique privé) sert principalement à relier les postes téléphoniques d'un établissement (des appels entre postes internes les 4 chiffres sans passer au réseau public) et chaque

poste interne avec le réseau téléphonique public (lignes externes). Quelque soit le nombre de postes reliés à un PABX, il est généralement supervisé par une unité centrale (CPU).

- **Réseau radio (MOTOROLA, CODAN)**

La partie téléphonie est la plus importante au sein de l'entreprise, mais il y a des situations où c'est un peu difficile d'utiliser le fil, alors on utilise la radio (wireless) qui reste un réseau indispensable pour communiquer. Elle se compose de :

- **Un réseau HF** : C'est un réseau de secours opérant dans la bande (3-30 MHz), la portée est de plusieurs milliers km, elle est directement liée à la puissance d'émission.
- **Un réseau radiocommunication VHF** : Assurant les différentes liaisons à l'intérieur de la région, un système **MOTOROLA** simplexe permettant de réaliser les liaisons point à point entre les différentes stations (mobile, portable, fixe).
- **Un réseau radiocommunication UHF** : Il assure les liaisons entre les différentes stations (mobile, portable, fixes) avec seulement 4 canaux :

- **Système SCADA (ROCKWELL, SIEMENS)**

Un système de télé-supervision et de télétransmission et télémesure, il traduit les informations transmises sous formes de données par tout le pipe (température, débit,...) qui sont acheminées vers le terminal arrivée ou elles sont traduites par un automate. Toutes les communications sont gérées à partir de la salle autocomme, elle contient des armoires avec des châssis faites spécialement pour installer tout les organes qui permet de bien gérer les communications : le processeur, carte réseau interne carte CPU, carte de signalisation(MMT), panneau de brassage (fibre optique)...etc.

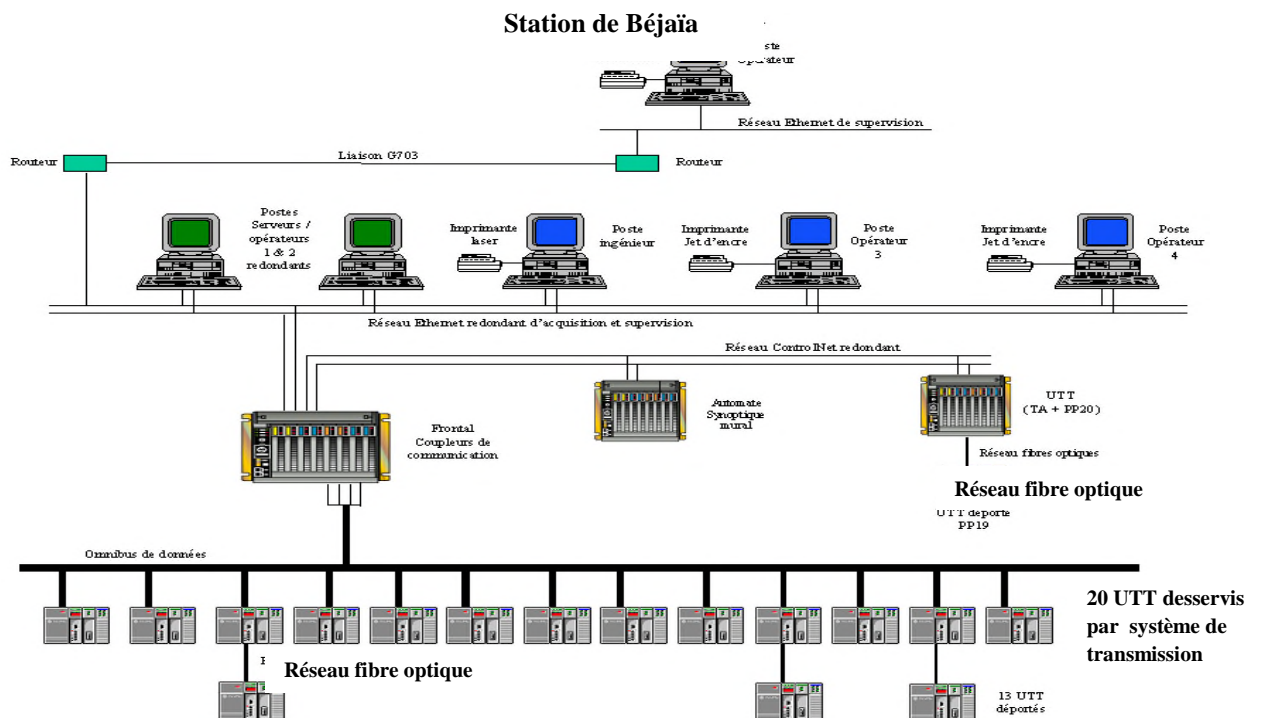


Fig1.12: Architecture du projet GGI(SCADA).

a) Système transmission par fibre optique (SAGEM, HUawei) :

La fibre est une ligne de transmission où l'information propage sous forme de faisceau de lumière modulé au lieu de signaux électrique. La fibre optique peut transmettre une très grande d'information avec une très grande vitesse. Le réseau cable à fibre optique installé par DRGB repose sur trois sites principaux : Le port de Béjaïa, le centre d'amplification CAH et vers le SP3 à travers SBM.

Les artères principales, c-à-d les terminaisons de cables à 24 brins sont représentées comme suit :

Site A	Site B	Distance (Km)	Nombre de paires	Nombre de fibres utilisées
DRGB	Port	5.5	12	4
	CAH	3.4	12	6
	SBM	96	12	4

Tab1.5 : Les artères principales du RTC.

La présentation des différents équipements de transmission sera bien détaillée dans la suite de ce chapitre.

1.3 Présentation des équipements de transmission :

Le développement des applications sur internet et l'exposition du trafic qui en résulte exigent des transmissions et des équipements de réseaux de plus en plus performants. Sagem développe des solutions de transmissions et d'accès basées sur les technologies les plus performantes (figure1.14) : transmission SDH haut débit sur fibre optique,...etc.

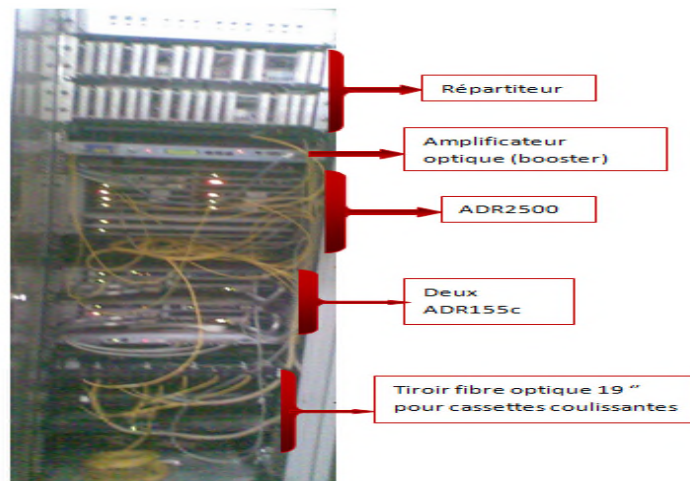


Fig1.13 : Equipements de transmissions fibre optique SAGEM.

Les paragraphes qui suivent font le point sur les divers équipements de transmission présent au sein de l'entreprise, qui conduisent à réaliser l'interconnexions entre ces champs d'intervention.

Cette interconnexion est présentée sous forme de boucle, afin d'assurer le dépannage du réseau dans le cas d'une coupure de la liaison fibre optique. La figure (1.15) montre les interconnexions entre les sites ainsi que les équipements mis en place.

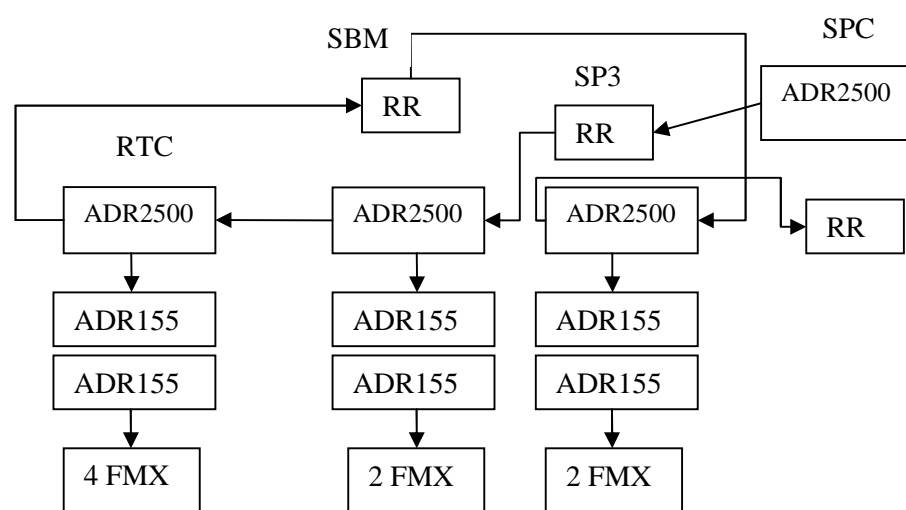


Fig 1.14 : L'organigramme des interconnexions entre les sites du RTC

1.3.1 L'ADR 2500c: [23]

L'ADR 2500c (add-drop Multiplexer 2500 Mbit/s Compact) est un multiplexeur add-drop optique STM-16 qui permet de construire des liaisons point à point STM16 (liaisons optique de la DRGB), des anneaux STM16 ou des réseaux maillés. Réalisant ainsi le transport de liaisons STM-1, STM4, STM16, pour ce dernier, il autorise des sections de régénération jusqu'à 60Km pour 1.33nm et 100Km pour 1.55nm ; s'il est associé à un amplificateur optique il peut atteindre 150Km.

a) Les caractéristiques de l'ADR2500c :

- L'association d'un coffret Mux 10000 permet une fonction de multiplexage-démultiplexage optique de 4 signaux STM16.
- L'ADR 2500c inclut une option de protection de l'alimentation et une fonction matrice de brassage.
- Propose un service de déport de flux gigabit Ethernet.

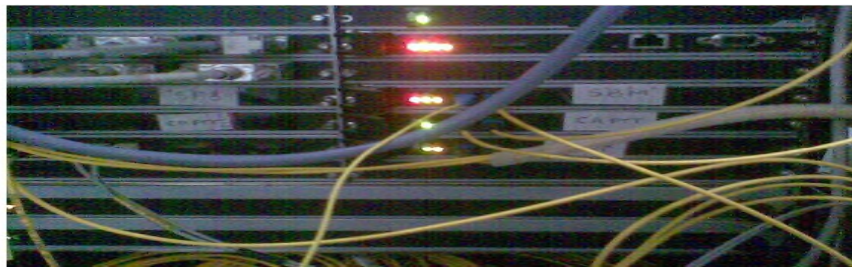


Fig1.15: L'ADR2500c avec les différentes liaisons optiques.

Les caractéristiques des différentes cartes optiques de l'ADR 2500c sont introduites dans le tableau suivant :

Type	Longueur d'onde (mm)	Atténuation (dB)	Distance (Km)
L-16.2	1550	13-27	50-100
U-16.2	1550	25-39	100-155
S-4.1	1300	0-12	0-28
L-4.1	1300	10-24	22-58
L-4.2	1550	10-24	35-92
S-1.1	1300	0-12	0-28
L-1.1	1300	10-24	22-58
L-1.1	1300	0-24	0-58

Tab 1.6 : Caractéristiques des cartes optique de l'ADR2500c.

1.3.2 Présentation de l'ADR 155C : [24]

L'ADR 155C est un multiplexeur Add-drop optique STM1, il permet de construire des liaisons :

- Point à point.
- Des anneaux STM1.
- Réseaux maillés.

Avec protection des conduits (SNC) et des lignes (MSP), l'ADR155 réalise le transport de liaisons (2Mb/s, 34Mb/s, 45Mb/s, Ethernet et STM1) comme il peut être utilisé en :

- Multiplexeur terminal STM1 avec une capacité maximal 63 VC12 et une protection (1 +1).
- Répéteur STM1, régénère 2VC4.
- Multiplexeur à insertion /extraction avec une capacité de 4 STM1 et 21VC12.
- Point d'interconnexion LAN (jusqu'à trois liaisons déportées totalisant 3VC3 utilisées).

L'ADR155 est géré à partir d'un navigateur http soit (annexe2) :

- Localement via son interface Ethernet.
- A distance par télé-exploitation.
- A partir du gestionnaire de réseau IONOS NMS avec un Protocol SNMP qui permet la supervision globale du réseau. (Cf. annexe A)

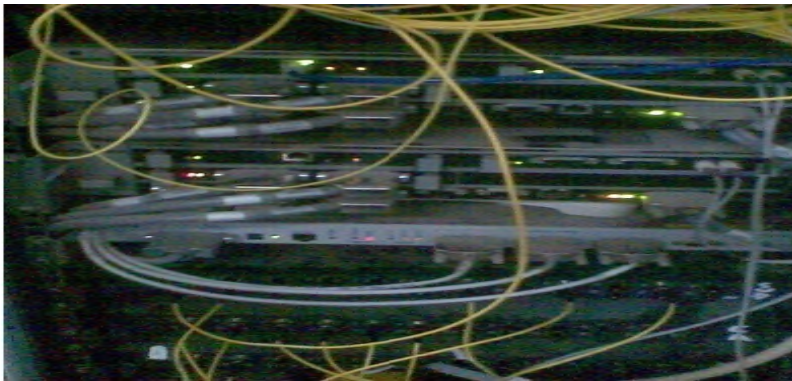


Fig1.16 : Equipement ADR155.

1.3.3. FMX P4.3B:

a) Présentation :

Brasseur multiplexeur de circuits à 64kb/s et $n \times 64kb/s$, il offre une grande variété d'interfaces normalisées et permet de raccorder de nombreux terminaux au réseau publique ou privé, FMX s'adapte facilement au changement de configuration réseau grâce au :

- ✓ Terminal Portable Intelligent (TPI).
- ✓ Système de Gestion Distant (SGD).

La numérisation complète des réseaux de transmission et l'intégration de services toujours variés appellent à utiliser des équipements de brassage numérique capable d'assurer le groupement, l'aiguillage, l'insertion/extraction et la distribution de divers informations tels :

- Voies téléphoniques et /ou audiofréquences.
- Données bas/moyens/hauts débits.
- Voies MIC à 2.048Mb/s.
- Accès RNIS (primaire ou de base).
- Accès à des régies d'abonnés pour déport de LS bas/moyen/haut débit.

FMX garantit l'optimisation des conduits 2.048Mb/s, traitement données et la signalisation.

b) Applications :

- **Voix** : { *PABX radio*
Radiomobile
PABX analogique/numérique
- **Vidéo** : *Système de visioréunion.*
- **Données** : { *centre de gestion*
terminal de données
terminaison RNIS

Le châssis :

- **Alvéole 1/2** : Réservés pour les convertisseurs (fournis à partir du 48V les bonnes tensions pour les différentes cartes).
- **Alvéole 15** : Carte GIE pour la configuration du FMX.
- **Alvéole 16/17** : (1 ou 2 COB) pour le brassage et synchronisation du FMX.
- **Alvéole 3 à 14** : 12 emplacements pour les cartes d'interfaces (d'où le nom de FMX12).
- Mode multiplexeur : le FMX reçoit, coté abonnés, des trains (ou voies) dits « affluent » auxquels sont associées des informations de signalisation et de maintenance et constitue un train unique à 2.048 Mb/s, appelé « résultant ».

- Mode brasseur : le FMX se comporte comme un réseau de connexion qui permet des échanges d'informations entre deux accès quelconques.
- Synchronisation : Le FMX est synchronisé sur une source nominale et deux sources de secours.

1.4. Conclusion :

Après avoir fait le point sur les différents équipements d'extrémité du réseau fibre optique du RTC, on va essayer dans la suite du travail de faire une étude du support de transmission à fibre optique ainsi que les différents phénomènes limitant sa performance.

Chapitre 2

*Introductions aux systèmes de télécommunications
optiques*

Sommaire

2.1	Introduction	19
2.2	Système de transmission numérique	19
2.1.1	Le multiplexage	20
2.1.1.1	Spatial ou fréquentiel (FDM)	20
2.1.1.2	Temporel (TDM)	21
2.1.1.3	Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)	21
2.1.2	Structure de trame.....	22
2.1.3	La hiérarchie numérique.....	23
2.1.3.1	La hiérarchie plésiochrone (PDH).....	23
2.1.3.2	La hiérarchie synchrone (SDH) [6]	24
(a)	La trame SDH.....	25
(b)	Définition des éléments de la hiérarchie synchrone	26
2.2	Le support de transmission.....	27
2.2.1	Caractéristiques du canal optique de transmission	27
2.2.1.1	L'atténuation	28
2.2.1.2	La dispersion	29
a.	La dispersion chromatique [7].....	29
b.	La bande passante de la fibre monomode.....	30
2.2.1.3	l'atténuation extrinsèque	30
a)	Les pertes par courbure	30
b)	Les par micro-courbure	30
c)	Les pertes par épissurage.....	31
2.2.2	Les câbles à fibre optique	31
2.2.2.1	Structures d'un câble	32
2.2.2.2	Les connecteurs	32
2.2.3	Les procédures de pose de câble optique.....	33
2.2.3.1	Les mesures de sécurité :	33
2.2.3.2	La méthode de pose de conduit en PEHD(polyéthylène haute densité).....	34
2.3	Conclusion.....	35

2.1 Introduction

Aujourd'hui, le secteur des télécommunications affiche une rapide croissance, tout particulièrement avec l'amélioration des réseaux d'accès et la disponibilité des techniques optique. Ces réseaux doivent prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission divers.

Afin de supporter cette diversité, les réseaux sont souvent équipés de carte transpondeur multi- débit universelles acceptant n'importe quel débit de 100Mb/s à 2.5Gb/s, selon le besoin de l'entreprise.

Dans ce chapitre, on aborde d'une façon théorique un système de transmission numérique. En commençant par une description du système, les différentes technologies (PDH, SDH, WDM, DWDM). Enfin, on va décrire le support fibre optique (caractéristiques, les procédures de pose de la fibre,...).

2.2 Système de transmission numérique

La transmission par modulation d'impulsion et codage (MIC) permet de transmettre sur une paire BF, un train numérique portant les signaux de la bande téléphonique et la signalisation de 30 voies de communication [6]. La transmission numérique consiste à mener une suite binaire répartie dans le temps à l'aide d'un multiplexage temporelle. Afin d'avoir un signal MIC, on suit 4 phases à savoir : L'échantillonnage, la quantification, la compression et le codage. Sa reconstitution mène des opérations inverses, comme l'indique le schéma ci-dessous (figure 2.1)

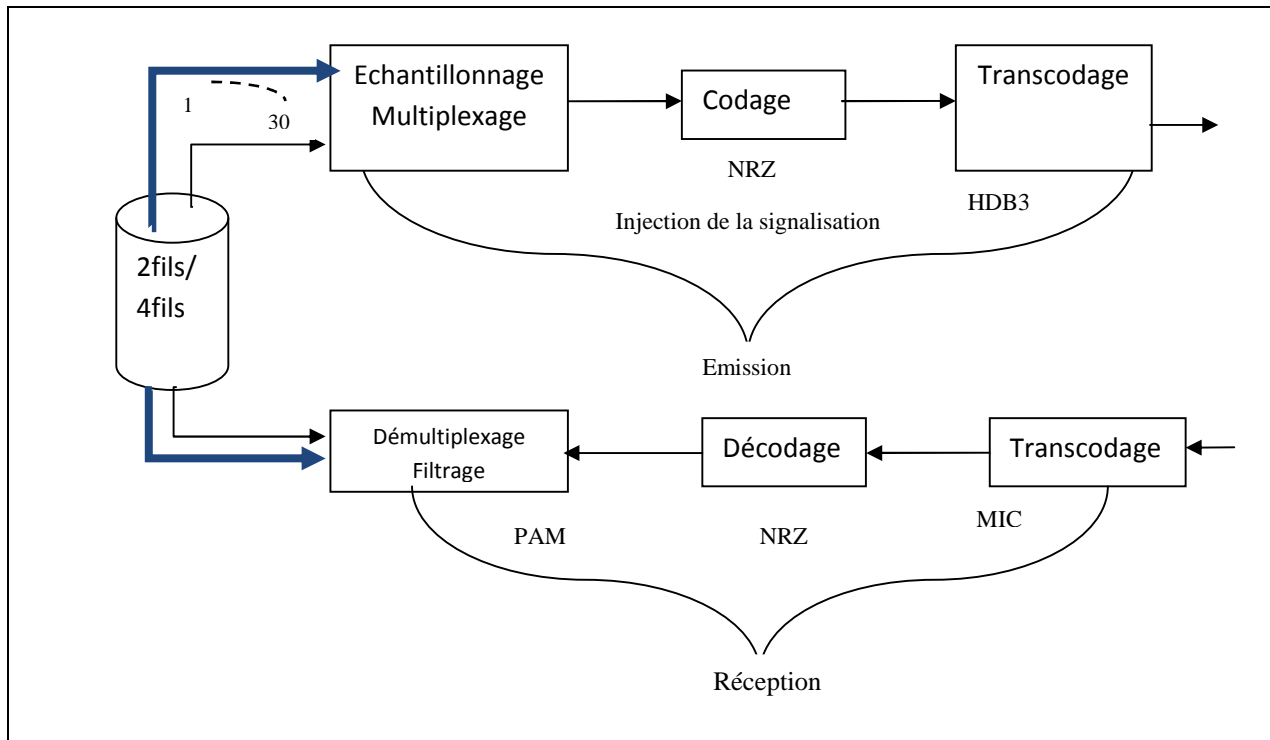


Fig2.1 : Principe de la transmission numérique.

2.1.1 Le multiplexage [6]

C'est un procédé qui permet de transmettre simultanément plusieurs informations sur le même support. Son objectif est de regrouper ces informations en provenance de voies basse vitesse (BV) sur un unique circuit à plus fort débit ou voie haute vitesse(HV), en parle de circuit composite. On distingue deux types de multiplexage :

2.1.1.1 Spatial ou fréquentiel (FDM) [22]

Le partage de la voie composite peut être un partage de la bande disponible, chaque voie dispose en permanence d'une fraction de la bande disponible. L'efficacité d'un tel système reste faible.

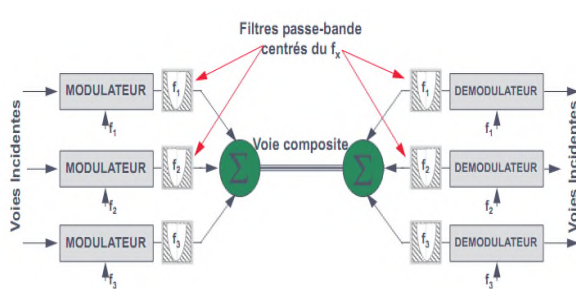


Fig2.2 : Principe du multiplexage fréquentiel.

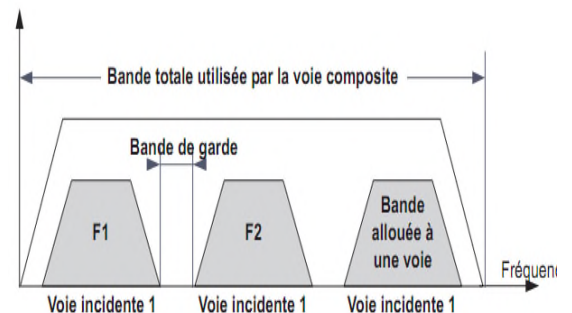


Fig2.3 : Partage de fréquence par différentes voies.

Le multiplexage fréquentiel a été utilisé pour constituer les premiers réseaux de la téléphonie analogique, l'unité de base (ou BV) a une largeur de bande de 4 KHz.

2.1.1.2 Temporel (TDM) [18]

Par contre ici, le partage de la voie composite est le partage du temps d'utilisation de celle-ci, chaque voie utilise durant un temps prédéterminé toute la bande disponible.



Fig 2.4 : Principe du multiplexage temporel.

Les multiplexeurs temporels relient une voie incidente d'entrée à une voie de sortie durant un intervalle de temps prédéterminé. Cette intervalle ou IT, réservé à un couple (émetteur/récepteur) constitue une voie temporelle.

2.1.1.3 Le multiplexage en longueur d'onde (WDM) [18]

Le multiplexage WDM repose sur une propriété physique de la lumière. Plutôt que transmettre de l'information sur une seule longueur d'onde, on va utiliser plusieurs longueurs d'ondes et multiplier d'autant le débit de la liaison. De cette façon, on peut augmenter le débit de transmission d'une fibre optique sans la remplacer. Il suffit de disposer d'émetteurs/récepteurs capables de distinguer les différentes longueurs d'ondes utilisées. La norme internationale ITU-T G692 autorise l'utilisation de longueur d'onde comprise entre 1530 et 1565nm.

Le multiplex WDM est caractérisé par l'intervalle minimum entre deux longueurs d'onde utilisables, si cet intervalle est inférieur ou égal à $0.8 \text{ nm} \cong 100 \text{ GHz}$ on parle de multiplexage DWDM.

La figure 2.5 représente un exemple d'une liaison utilisant le multiplexage WDM

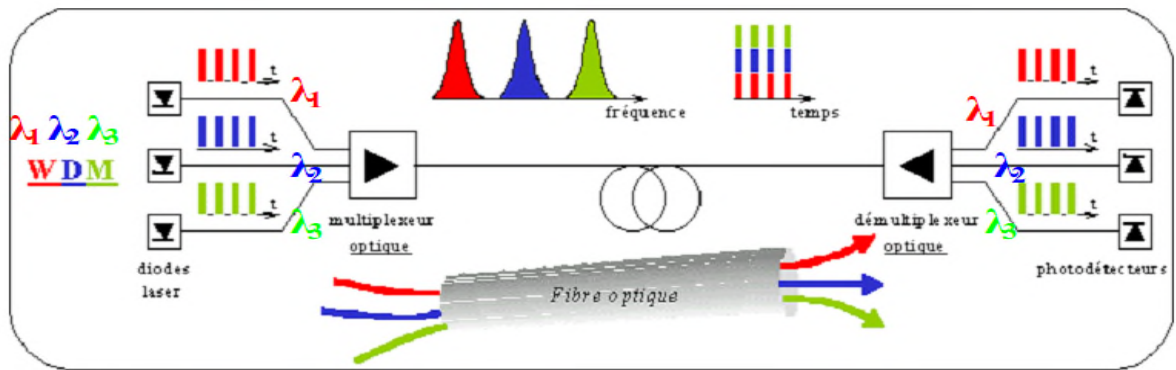


Fig2.5 : Schéma de principe du multiplexage WDM dans les communications par Fibre optique (avec 3 longueurs d'ondes.)

2.1.2 Structure de trame [6] [7]

Une trame est l'ensemble des 32 IT ou voies temporelles, sa durée est de 125 μ s. Pour un abonné, la durée de l'IT est de 3,9 μ s, dont l'affectation possède les caractéristiques suivantes :

- ✓ Nombre d'IT de voie par trame est de 32, numérotées de 0 à 31.
- ✓ Nombre d'élément binaire par IT est 8, numérotés de 1 à 8.

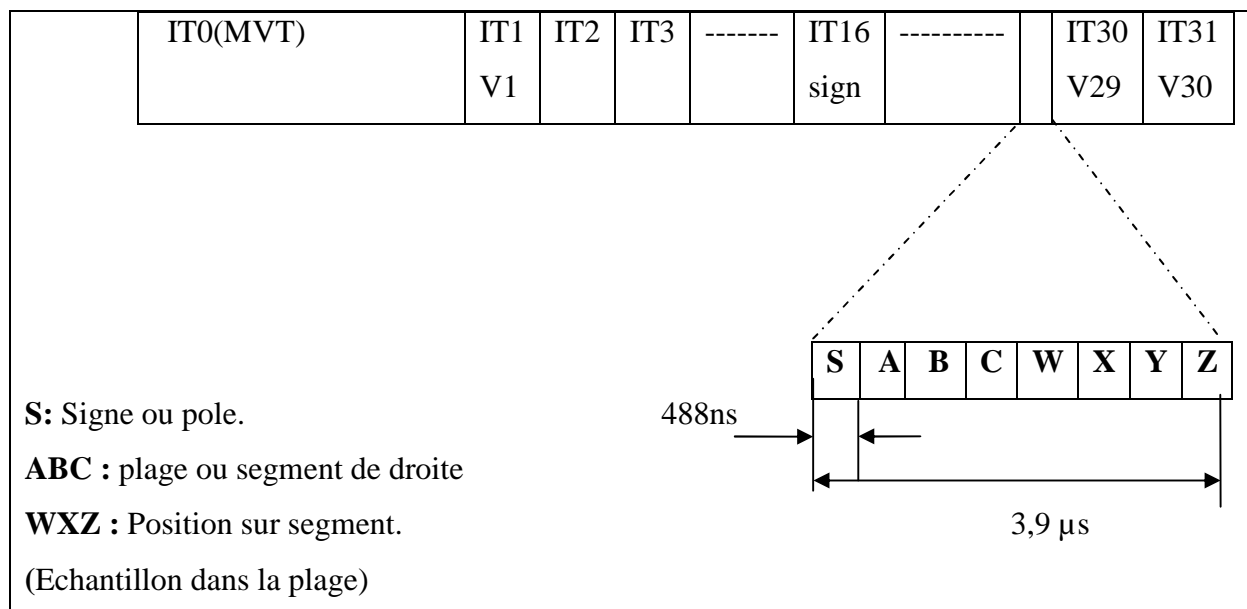


Fig II.6 : Structure d'une trame.

La trame MIC multiplexe 30 voies téléphoniques dans un conduit de 2048 Kb/s, correspondant à un multiplexage de 32 voies de 64 Kb/s.[5]

- L'IT0 ou mot de verrouillage trame (MVT).

- L'IT16 de la trame 0 contient les informations de supervision de la trame [1], il ne possède que 8bits ce qui est insuffisant pour signaler l'état des 30 voies. Donc, il est nécessaire d'utiliser plusieurs IT16 dans plusieurs trames successives (notion de multi-trames).

- L'IT16 des autres trames transporte la signalisation des communications.

- Les 4 premiers bits vont porter la signalisation des 15 premières voies (1 à 15) par ailleurs les 4 bits restant vont porter la signalisation des 15 dernières voies.



Fig2.7 : Trame MIC et information de signalisation.

2.1.3 La hiérarchie numérique [5] [7] [22]

La hiérarchie numérique consiste à regrouper des multiplex pour constituer un nouveau multiplex d'ordre supérieur et d'un débit supérieur à la somme des débits incidents. En effet, le multiplexeur insère dans la trame des informations de service et des bits de justification pour compenser les écarts d'horloge des multiplex incidents (sur débit) ce qu'on appelle la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH).

2.1.3.1 La hiérarchie plésiochrone (PDH)

Conçues à l'origine pour transporter la voie numérisée, ces trames sont multiplexées pour un transport d'un grand nombre de communications téléphoniques. Il faut noter une différence de standardisation entre l'Europe, les USA et le Japon.

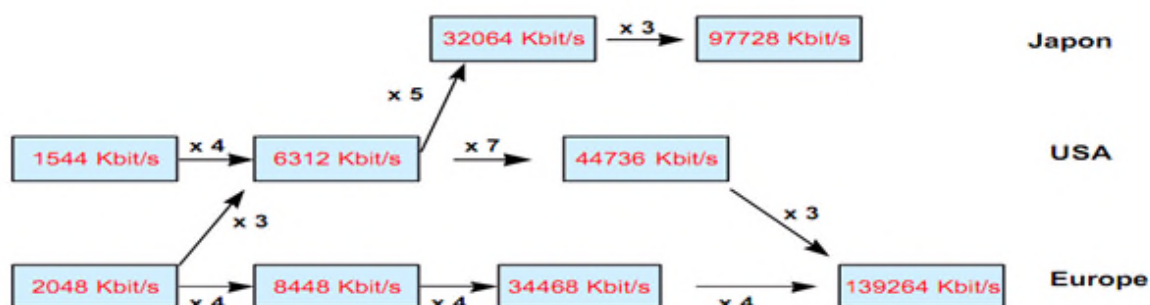


Fig2.8 : Architecture de la hiérarchie plésiochrone (PDH).

Le multiplexage successif des trames comme indiqué auparavant dans l'introduction, permet d'obtenir de hauts débits, mais ce débit n'est pas exactement nominal. C'est pour cette raison que cette hiérarchie est appelée plésiochrone. Le tableau suivant les différents niveaux de la hiérarchie PDH :

Ordre	Norme	Nombre de voie	Débit binaire en Mbits/sec
1	G732	30	2,048
2	G742	120	8,448
3	G751	480	34,368
4	G751	1920	139,264
5	G974	7680	564,992

Tab 2.1: les différents niveaux PDH.

Comme cette technologie n'est pas vraiment synchrone, il est nécessaire de démultiplexer complètement afin d'accéder à une voie, c'est l'inconvénient majeur qui a conduit à définir une autre hiérarchie synchrone.

2.1.3.2 La hiérarchie synchrone (SDH) [6] [17]

Les concepts de la SDH répondent à un certain nombre d'objectifs qui sont la flexibilité, la visibilité, la facilité d'exploitation, la prise en compte des évaluations futures vers les hauts débits et l'interconnexion des systèmes qui nécessite au-delà de la normalisation de la trame, la normalisation des paramètres optiques et des règles d'exploitation de système.

Le principe de multiplexage retenu pour SDH est le multiplexage synchrone. Ce dernier procure une visibilité directe des signaux transportés à l'intérieur d'une trame à 155 Mbit/s, on peut alors extraire ou insérer des affluents. Une série de recommandations qui sont écrites en s'inspirant du réseau optique américain (SONET) et des normes européennes, introduites dans le tableau récapitulatif des débits en SONET et en SDH.

STS : Synchronous Transport signal	
Niveau SONET	Débit (Kbit/s)
STS-1	51840
STS-3	155520
STS-12	622080
STS-48	2488320
STM : Synchronous Transport Module	
Niveau SDH	Débit (Mbit/s)
STM-1	155.52
STM-4	622.08
STM-16	2488.32
STM-64	9953.28

Tab 2.2 : Les niveaux de SDH, SONET et les débits correspondant.

(a) La trame SDH

La trame de base, appelée STM-1(Synchronous Transport Module 1) est structurée en octets et possède les caractéristiques suivantes :

- Taille : 2430 octets (organisation : 9 rangées / 270 colonnes).
- Durée : 125µs et donc un débit de 155 Mbit/s.

On distingue trois zones dévolues aux informations suivantes :

- La capacité utile (payload) qui est l’information utile.
- Les pointeurs
- Le surdébit de section (SOH) qui est réservé à l’exploitation.

Le SOH et les pointeurs occupent les 9 premières colonnes de chaque trame, soit 81 octets (il reste donc 150.34 Mb/s pour la partie utile).

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

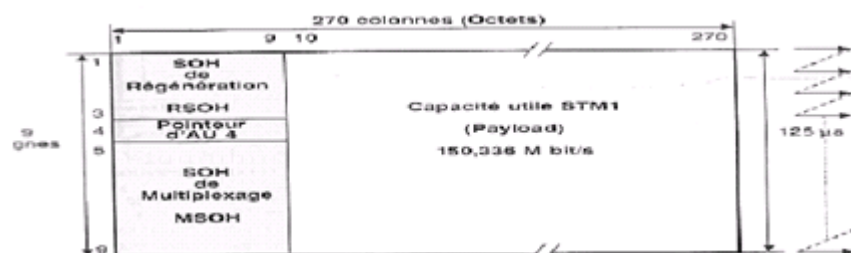


Fig2.9 : Structure d’une trame de base STM-1(SDH).

(b) Définition des éléments de la hiérarchie synchrone

✓ La notion de conteneur

Le conteneur C_n est une entité dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un des débits dans le réseau entre le point d'entrée et celui de sortie constituant ce qu'on appelle un Conduit(path). Le conteneur joue le rôle de régénération du signal plésiochrone de départ, il récupère l'horloge et transforme le code de transfert selon les débits entrants.

Des débits de gestion appelés POH (sur-débit de conduit) sont ajoutés au conteneur ; l'ensemble constitue ce qu'on appelle un conteneur virtuel (VC). On verra dans le multiplexage SDH, 2 niveaux de VC : LO-VC (low order VC) et le HO-VC (High order VC). On prend exemple, un signal 2 Mb/s synchrone (E1) est transporté dans le LO-VC appelé VC12.

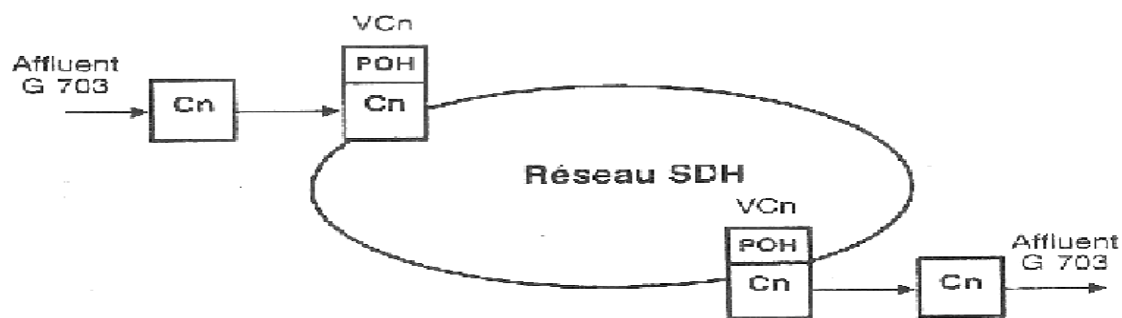


Fig II.9 : conteneur et conteneur virtuel.

✓ L'unité d'affluent TU_n

L'unité affluent TU_n (tributary unit) est composée de VC_n et d'un pointeur associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VC_n dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport.

✓ Le groupe d'unité d'affluent TUG_n

Représente une structure virtuelle de la trame permettant le multiplexage de TU_n . Il constitue un regroupement de TU_n dans un espace réservé d'une entité supérieure, et à travers on peut avoir :

- Le TUG2 regroupement 3 TU12 ou 1 TU2.
- Le TUG3 regroupement 7 TUG2 ou 1 TU3.

✓ L'unité administrative AU4 (Administrative unit)

L'unité administrative AU4 est composée du VC4 et du pointeur PTR associé. La valeur du pointeur indique le début du VC4 dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC4.

✓ Le groupe d'unité Administrative (AUG) :

Le groupe d'unité administrative n'est pas une nouvelle entité physique mais représente une structure virtuelle de la trame. L'AUG correspond à la place que doit occuper l'AU4 dans la trame de transport. Les trames de transport **STM-n** sont obtenues en multiplexant n AUG (et non n STM1) et en rajoutant un sur débit dit Sur débit de Section **SOH** (*Section OverHead*). La trame de Base STM1 (155,520Mbit/s) contient 1 AUG et son SOH, la trame STM4 (622,080Mbit/s) contenant 4 AUG et son SOH, la trame STM16 (2488,320Mbit/s) contenant 16 AUG et son SOH.

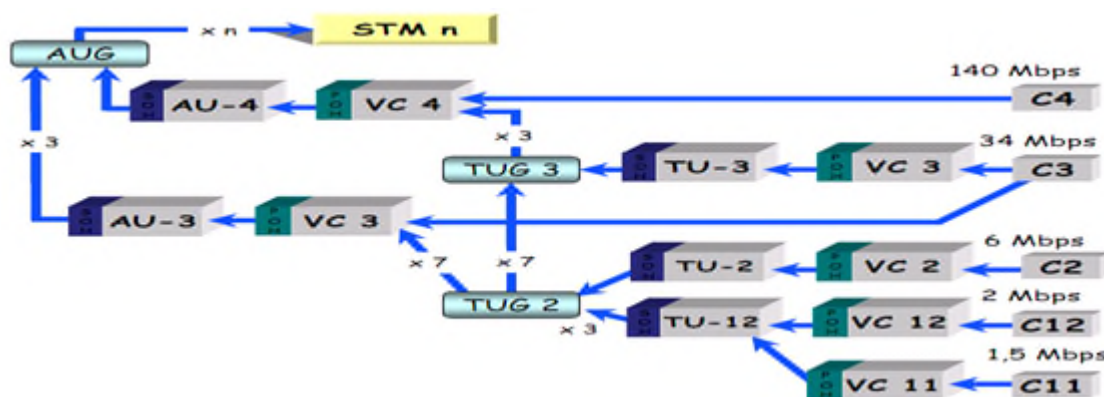


Fig2.10 : Structure du multiplexage synchrone.

2.2 Le support de transmission [15]

Après avoir décrit le système de transmission numérique ainsi que les technologies utilisées, on va présenter dans cette partie, l'utilisation des câbles à fibres optiques dans les réseaux locaux, suivant les spécifications de la standardisation internationale en matière de câblage structuré, tout en donnant les explications (théorique) de base nécessaire à la compréhension des transmissions sur fibres appropriés dans les configurations classiques des réseaux d'entreprise.

2.2.1 Caractéristiques du canal optique de transmission

Comme tout support de transmission, les fibres optiques apportent certaines distorsions aux signaux transmis, limitant ainsi la portée et la capacité de transmissions des systèmes.

- La portée est limitée par l'atténuation.

- La capacité de transmission (ou bande passante de la fibre) est limitée par la dispersion intermodale et la dispersion chromatique

Les caractéristiques de transmission optique vérifiées sur la liaison point à point sont principalement :

- L'atténuation linéique des fibres.
- L'atténuation extrinsèque (due aux raccordements et courbures).
- Le bilan de liaison.
- La régularité de la courbe de rétrodiffusion.

2.2.1.1 L'atténuation [21][11]

L'atténuation est une grandeur physique qui traduit l'affaiblissement du signal au cours de la propagation. L'atténuation dite linéaire et se traduit par une décroissance exponentielle de la puissance en fonction de la longueur de la fibre :

$$P_e = P_r \exp(-\alpha L) \quad (2.1)$$

α le coefficient d'atténuation linéique (m^{-1}), L la longueur de la fibre (km)

P_e et P_r sont respectivement les puissances d'émission et de réception.

En générale, l'atténuation des fibres est exprimée par unité de longueur (dB/km) :

$$A \left(\frac{dB}{km} \right) = \frac{A_{tot} (dB)}{L (km)} \quad (2.2)$$

A_{tot} : Représente l'atténuation total de la fibre optique.

L'atténuation dépend de la longueur d'onde de la lumière porteuse (*Fig2.11*), les meilleures fenêtres de transmission optique sont celles qui minimisent les phénomènes physiques à l'origine de l'atténuation :

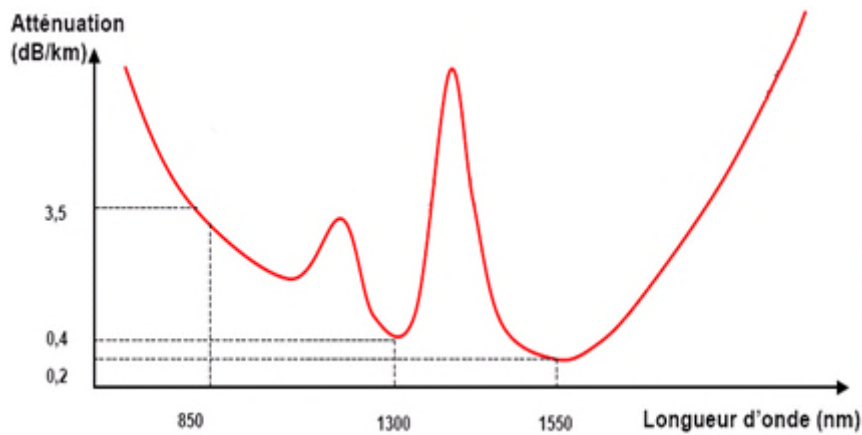


Fig2.11: L'atténuation spectrale d'une fibre en silice.

L'atténuation minimale de 0,2 dB/km n'est pas très loin du minimum théorique pour la silice. La différence s'explique par le fait que l'on ne peut pas utiliser de la silice pure. On doit doper soit le cœur, soit la gaine et cela augmente les fluctuations de composition et donc les pertes par diffusion.

2.2.1.2 La dispersion [3]

Le phénomène de dispersion se traduit par un élargissement des impulsions au cours de la propagation. Une dispersion importante peut augmenter le taux d'erreur (BER) au niveau du récepteur, donc une limitation de la bande passante. Elle dépend de la dispersion intermodale, celle du matériau et de la dispersion du guide, ces deux dernières constituent la dispersion chromatique (pour les fibres monomodes).

a. La dispersion chromatique [7]

La dispersion chromatique résulte de la différence de vitesse de groupe par rapport à la longueur d'onde. L'étalement temporel dû à la dispersion du signal s'exprime de la manière suivante :

$$\Delta t_g = D_g(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L \quad (2.3)$$

$$\text{Avec } \left\{ \begin{array}{l} \Delta\lambda \text{ largeur spectrale de la source} \\ L \text{ longueur de la fibre} \\ D_g(\lambda) \text{ coefficient de dispersion du guide d'onde} \end{array} \right\}$$

Pour une fibre monomode (G652), $D = 0$ à $\lambda = 1.3 \mu m$. Mais ce n'est pas dans cette fenêtre que l'atténuation est plus faible donc on cherche à déplacer le point dispersion nulle vers $1.55 \mu m$, on dit que ce genre de fibre (G653) est à dispersion décalée. Il existe aussi des fibres à dispersion aplatie (dispersion totale très faible). la figure (2.12) présente la courbe de dispersion de ces trois fibres [21]

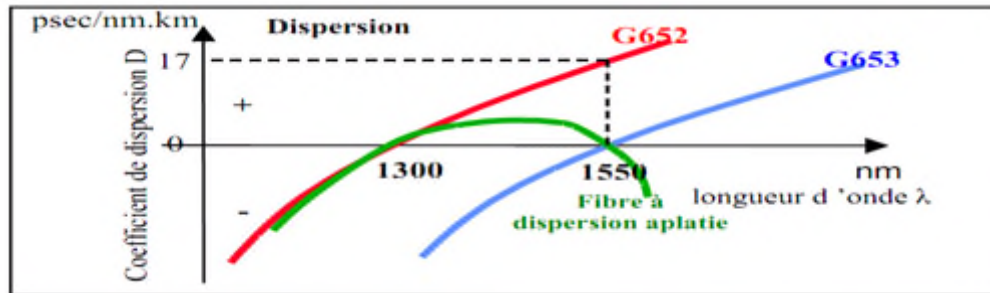


Fig2.12 : Courbe de dispersion de quelques fibres optiques.

b. La bande passante de la fibre monomode [21]

Pour la fibre monomode, la bande passante est définie par la relation (2.4), elle est inversement proportionnelle à la dispersion chromatique $D(\lambda)$, à la largeur spectrale (nm) du laser et la longueur de la fibre (km) :

$$B = \frac{0.35}{D(\lambda) \Delta\lambda L} \quad (2.4)$$

Où $\Delta\lambda$ est la largeur spectrale de la source d'émission (nm).

2.2.1.3 l'atténuation extrinsèque [21]

a) Les pertes par courbure

Du point de vue de l'optique géométrique, il y a modification des conditions de réflexion, lorsqu'on courbe la fibre, une partie de l'énergie lumineuse du mode peut échapper au guidage, et se perdre dans la gaine.

b) Les pertes par micro-courbure

Elles apparaissent lors de la fabrication des câbles où les contraintes mécanique provoquent des micros déformation de la fibre qui entraînent des pertes de la lumière. Elles

sont à peu près indépendantes de la longueur d'onde et dépendent aussi bien de la fibre elle-même que du revêtement. Elles augmentent très vite lorsque le diamètre de la fibre diminue.

c) Les pertes par épissage

C'est actuellement l'une des sources les plus importantes des pertes d'une ligne de fibre optique monomode. Telles qu'illustrées sur la figure 2.13, les causes de pertes lors d'une connexion bout-à-bout sont :

- La séparation longitudinale D ,
- Le désalignement angulaire θ ,
- Le désalignement radial d ,
- L'excentricité des cœurs e_1 ,
- L'ellipticité des cœurs e_2 .

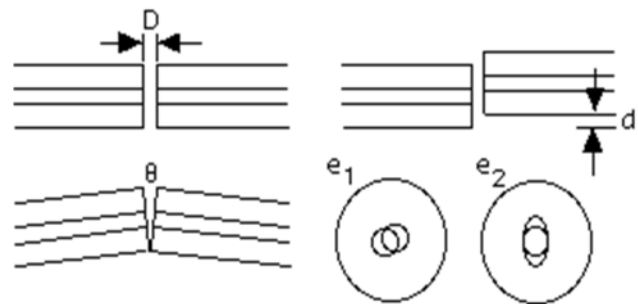


Fig2.13: les défauts de connexion lors de l'épissage de deux fibres.

2.2.2 Les câbles à fibre optique [15] [19] [22]

Le plan de câblage d'une entreprise est capital pour la bonne marche des réseaux que l'on souhaite y implanter. De divers paramètres de câblage interviennent quant au choix des composants d'un système de câblage, tels le coût, l'environnement, la fiabilité, l'évolutivité,... etc. La structure du câble dépend :

- Du nombre de fibres.
- Des contraintes mécaniques (écrasement, rayon de courbure minimum,...).
- De la gamme de température de fonctionnement.
- Des performances demandées en fonction des contraintes (affaiblissement en particulier).

Le plus souvent dans les réseaux locaux d'entreprise, le câble à fibres optiques est composé de 6 à 24 fibres, en fonction des besoins.

2.2.2.1 Structures d'un câble

En général, les câbles optiques sont à structure dite « libre » ou « serrée » (figure (2.14)):

- **La structure serrée :** Une gaine plastique est appliquée directement sur la gaine optique. Ce type de structure renforce mécaniquement la fibre, et lui apporte la souplesse nécessaire à la réalisation des cordons de brassage ou des câbles à l'intérieur des bâtiments.

- **La structure libre :** Une ou plusieurs fibres sont placées librement à l'intérieur d'un tube. Ce type est particulièrement utilisé pour les liaisons inter bâtiment.



Fig2.14 : La structure libre (a), la structure serrée (b) d'un câble à fibre optique

2.2.2.2 Les connecteurs [22]

Lors de la pose d'une liaison optique, il faut équiper la fibre d'un connecteur aux extrémités, permettant ainsi le raccordement, à l'aide de cordons de brassage, aux appareils actifs (commutateurs, routeurs,...).

Les instances de normalisations (EIA-568 et ISO/IEC 11801) ont défini un standard commun appelé standard 2.5 mm, la technique utilisée est basée sur l'utilisation d'un embout optique (fêruler) présentée dans la figure (2.15). Cet embout a un diamètre de 2.5mm, percé en son centre et permet la fixation de la fibre.

Les connecteurs, les plus utilisés dans les réseaux locaux, sont les interfaces ST et SC (figure 2.16).



Fig2.16 : Les types de connecteur, (a) connecteur SC,

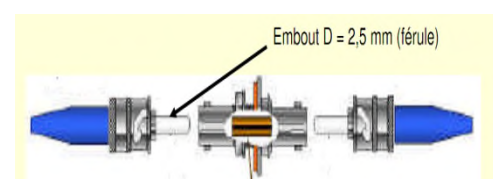


Fig2.15 : L'embout optique.

(b) connecteur ST.

Il existe deux finitions pour les fibres monomodes :

- **Finition PC (physical contact)** : lors du raccordement, les extrémités optiques des embouts doivent être en contact l'une avec l'autre, on parle alors de connectique PC.
- **Finition APC (Angled physical contact)** : Dans cette version, les faces optiques sont polies avec un angle de 8° ou 9° ce qui permet d'obtenir une meilleure réflectance.

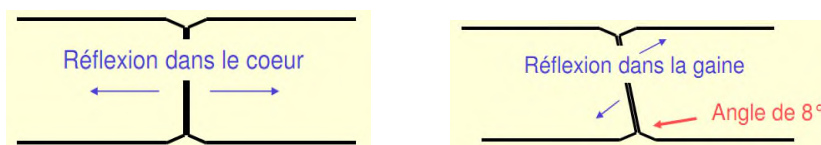


Fig2.17 : Les types de connectique (PC et APC).

2.2.3 Les procédures de pose de câble optique [29]

La pose correcte d'un câble à fibres optiques est primordiale dans les performances d'une liaison. Les carences lors de cette phase auront inévitablement des répercussions négatives au niveau des communications.

Il existe Plusieurs techniques, la pose s'effectue sur le chemin de câble, sous tubes ou non, en caniveaux, ou enterré. Si les distances sont importantes, on utilise la technique par soufflage à l'air ou à l'eau (voir annexe).

2.2.3.1 Les mesures de sécurité

Les travaux de pose et d'essai de câble à fibre optique sont effectués en respectant le plan de management de l'environnement, donc il faut :

- S'assurer le maintien en bon état de propreté du site.
- Nettoyer le site chaque fois que les conditions du terrain l'exigent.
- Le déroulage ne doit être effectué que si la température est dans la portée recommandée par le fabricant (-5°C à $+5^\circ\text{C}$), il convient de maintenir le câble à 20°C au minimum pendant 24 heures préalable au soufflage.
- Vérifier et prévoir l'emplacement des chambres en fonction du plan de pose de pipe.

- Effectuer une reconnaissance de cheminement du câble (parcours et emplacements des raccordements). Afin de planifier les travaux et emplacements des joints d'épissurage et la position des manchons du conduit PEHD. Ainsi que les points intermédiaires de soufflage.

2.2.3.2 La méthode de pose de conduit en PEHD (polyéthylène haute densité)

La procédure de pose de gaine en PEHD doit être achevée en quatre étapes :

a) Vérification de la tranchée : Vérifier si la profondeur respectée, la tranchée nettoyée, le lit de sable posé, la présence de fourreaux en acier dans les zones comme (la traversée d'autoroute, voies ferrées, oued, pont,...etc.), organisation des points intermédiaires pour le soufflage chaque 1 Km, installation des boites de jonction chaque 3.8 Km.

b) Préparation de la dérouleuse : On charge le rouleau de la gaine en PEHD sur la dérouleuse, ensuite on place la dérouleuse chargée en bordure de la tranchée et on enlève le feuillard qui attache la gaine.

c) Le déroulement de la gaine : On prend le bout supérieur de la gaine et on se met à tirer jusqu'au déroulement totale de la gaine. On pose la gaine dans la tranchée et on vérifie si la gaine est bien tendue. On place les manchons de raccordement entre les différentes longueurs et on exerce un bon serrage.

d) Raccordement de la gaine et marquage : On ferme les deux extrémités de la gaine posée par des bouchons adéquats, on repère la position des manchons à l'aide de piquets, les positions des points de soufflage, des chambres (de soufflage et d'épissurage) et des boites de jonctions.

e) Test de la gaine en PEHD : La gaine sera nettoyée, on test l'étanchéité et le calibrage du tube, et enfin, on procède à une opération de lubrification du tube PEHD.

Les deux figures suivantes sont deux exemples de pose de câbles à fibre optique

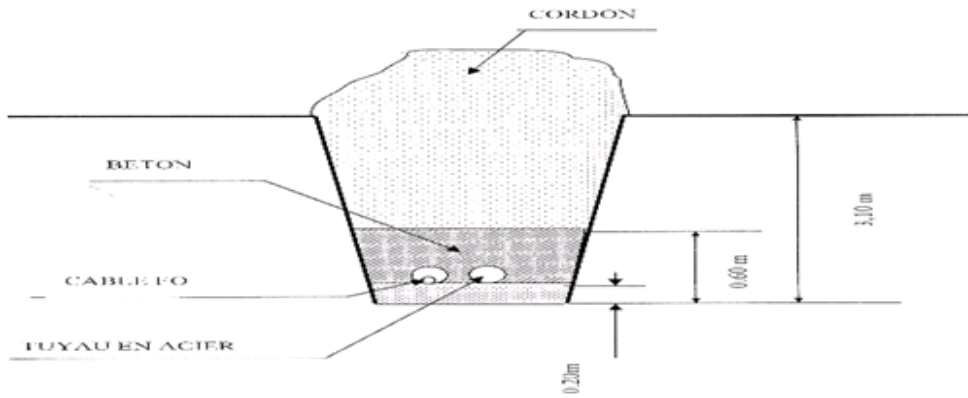


Fig2.18 : Exemple de la traversée d'Oued.

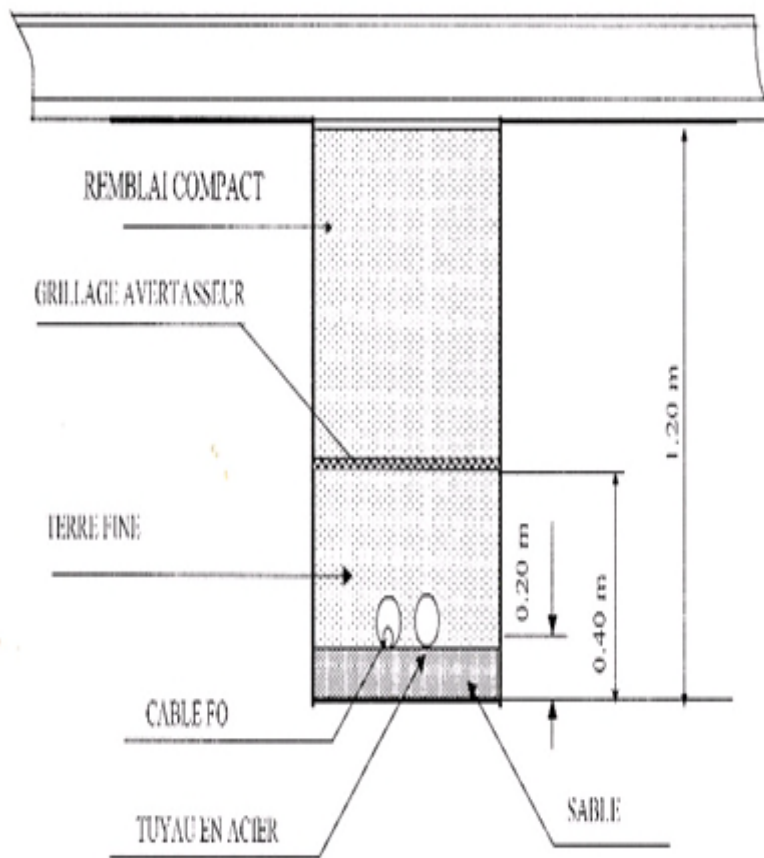


Fig2.19 : La traversée d'une voie Ferre.

2.3 Conclusion

On a présenté dans ce chapitre les différents phénomènes qui limitent la transmission dans une liaison optique. Dans ce cadre, on a détaillé les règles d'installation du câble. Afin de garantir une bonne installation du réseau fibre optique.

Chapitre 3

Mesures et performances d'une liaison optique

3.1 Introduction

En tant que canal de transmission, la fibre optique est soumise à des déperditions de puissance du signal optique. Pour cette raison, il faut s'assurer lors de l'installation d'un réseau fibre optique que :

- Les performances de chacun des constituants (l'affaiblissement dB/Km, connecteurs, épissures, perte en dB) correspondent bien aux valeurs imposées dans le cahier des charges.
- En fonction de la longueur de la liaison que le câble ne supporte aucune contrainte sur son parcours (courbure, écrasement, reprise d'humidité...).

Nous allons décrire dans la suite de ce chapitre les trois étapes à suivre afin d'évaluer ces performances :

- L'inspection et le nettoyage des fibres.
- Le test de la longueur et de la perte des fibres optiques (photométrie).
- La caractérisation et le dépannage du réseau (réflectomètre).

3.2 Inspection et le nettoyage des fibres [20]

Le nettoyage et l'inspection s'appliquent avant chaque connexion de fibres, vu que les extrémités sales constituent la cause principale des défaillances des liaisons optiques mais également la plus facile à éviter.

En optique, la propreté des connecteurs est un point critique. On peut spécifier trois types de problèmes sur les connecteurs : La poussière, l'huile ou la graisse et l'eau. En effet, la moindre poussière peut perturber les mesures. Les différentes conséquences de la saleté peuvent être l'augmentation des pertes d'insertion, du return-loss...ect.

- **La 1^{ère} étape :** le nettoyage à l'alcool Isopropylique (sauf pour le VF45), on tamponne l'extrémité contaminée à l'aide d'une lingette, pour un nettoyage efficace sans résidus [2].
- **La 2^{ème} étape :** « le nettoyage sec », après avoir utilisé l'alcool, on procède au nettoyage mécanique (sans alcool et anti poussière). On frotte l'extrémité de la fibre à

la perpendiculaire contre une lingette sèche jusqu'à élimination de toute contamination.

3.3 Mesure de perte de puissance optique (photométrie)

3.3.1 Principe

Cette première catégorie de mesure consiste à injecter un rayonnement lumineux de 4dBm par une source laser de longueur d'onde 1550nm, dans une fibre standard G652(SMF) de longueur de 3.4161Km et déterminer la qualité de lumière sortant de la fibre, la différence entre la valeur initialement injectée et celle transmise donne l'atténuation engendrée par la fibre et par tout ce qui y est raccordé jusqu'à l'extrémité. Cette procédure est requise par des normes internationale (TIA-568-C, ISO-11801) afin de garantir une installation de qualité.

On utilise des instruments de test de la perte optique (power-mètre). On connecte les unités principales et distantes aux deux extrémités de la liaison optique à tester, le principe est indiqué dans la figure 3.1.

Dans notre cas, il s'agit de tester la liaison entre la RTC et CA de Béjaïa. On note que les pertes par connecteur est de 0.4dBm. Les résultats de mesure sont présentés dans le tableau suivant :

La fibre N°	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Puissance à la réception (dBm)	2.73	1.88	2.94	2.94	2.66	2.79	2.85	2.93	2.30	2.8	2.33	2.34	2.30
Affaiblissement (dB/km)	0.13	0.38	0.07	0.07	0.15	0.12	0.10	0.07	0.25	0.117	0.25	0.251	0.26

Tab 3.1 : Résultats de mesures de power- mètre de la liaison optique TRC-CA.

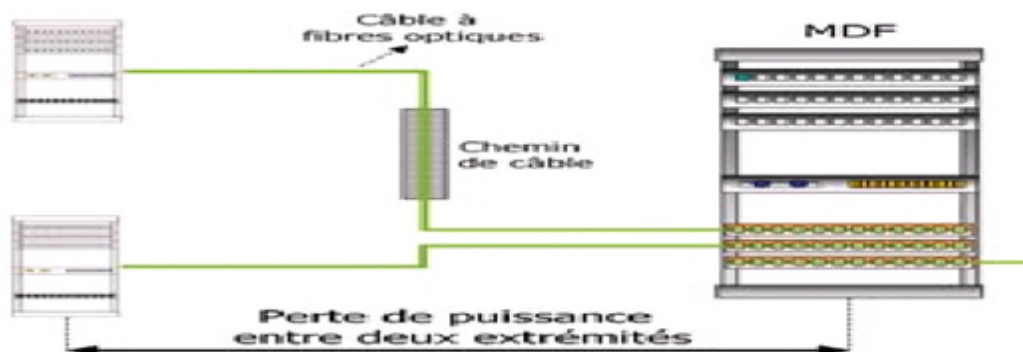


Fig3.1 : Principe de test de perte de puissance.

3.3.2 Analyse des résultats

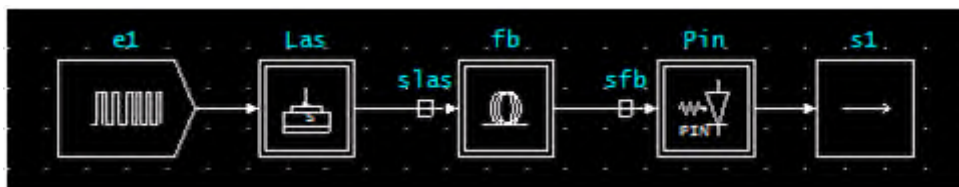


Fig 3.2 : schéma bloc de la liaison point à point mono-longueur d'onde.

L'ensemble des analyses présentées ci-dessous sont faites pour étudier l'influence des pertes optiques le long de la liaison sur la qualité de signal à la réception, en utilisant le simulateur COMSIS (exposé dans le chapitre suivant). La modélisation de la fibre se fait en utilisant le schéma bloc d'une liaison point à point mono-longueur d'onde présenté dans la figure (3.2). Elle a été menée avec trois fibres (8, 9, 15) issus des résultats de mesure de power mètre (figure 3.4).

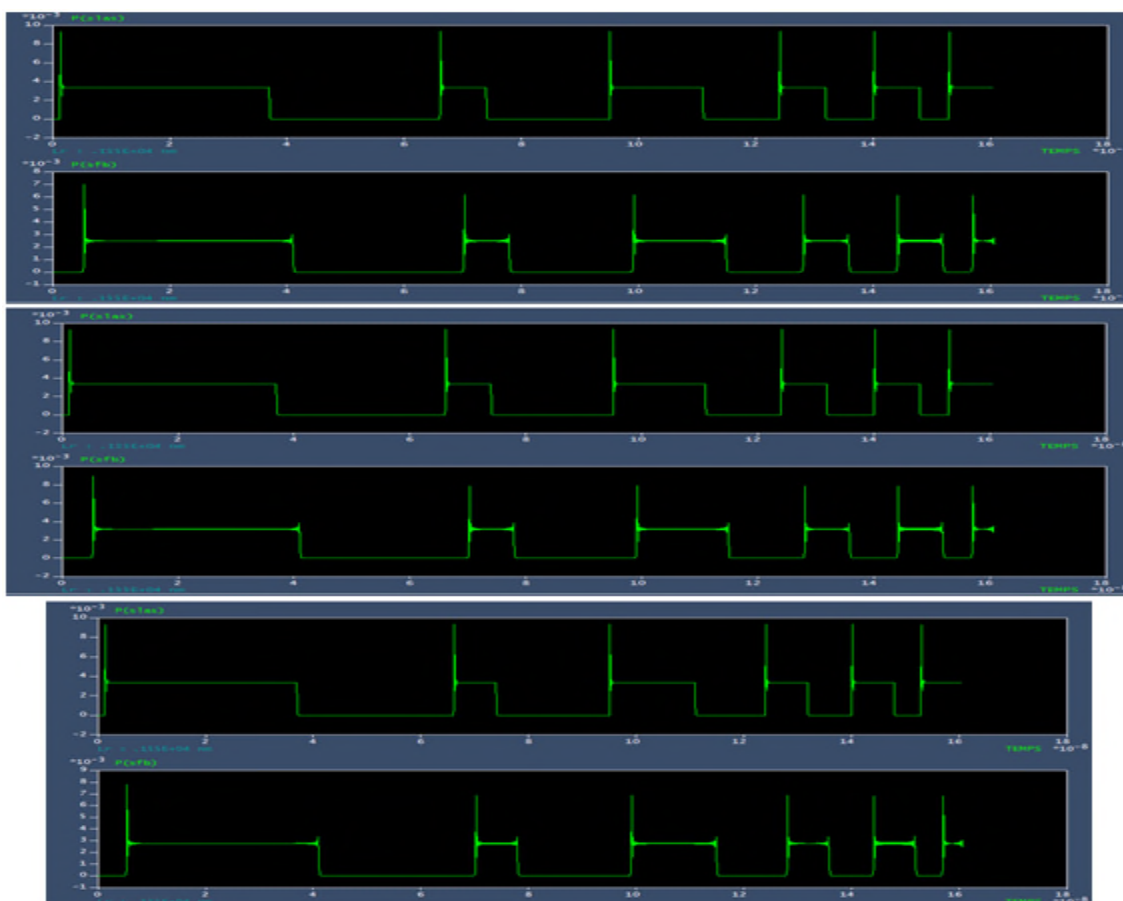


Fig3.2 : Forme temporelle des impulsions de lumière après propagation dans la fibre optique.

On peut conclure des résultats de cette simulation, l'envoi d'une impulsion de lumière de grande puissance dans une fibre, on constate que la puissance transmise en sortie est plus faible que celle d'entrée pour les grandes atténuations du signal. Pour la fibre standard monomode la valeur de cette atténuation est de 0.02dB/Km pour une longueur d'onde de 1550nm.

On conclue de cette étape de test de câble à fibre optique que :

- La réalisation d'une mesure de puissance (dBm) est le moyen de valider la puissance émise par l'émetteur.
- Mesure de l'affaiblissement permet de déterminer la perte total de la liaison, donc s'assurer que les équipements actifs et les récepteurs fonctionne correctement.

3.4 Test de réflectométrie (OTDR)

3.4.1 Principe de la méthode de rétrodiffusion

Cette méthode consiste à injecter des impulsions de lumières calibrées à l'entrée d'une fibre optique et à observer depuis cette extrémité, l'intensité optique qui parcourt la fibre dans le sens inverse de la propagation des impulsions émises. Cette diffusion a lieu dans toutes les directions de l'espace :

- Une partie de l'énergie diffusée continue à se propager dans le sens direct.
- Une partie continue dans l'angle solide limité par l'ouverture numérique de la fibre, se propage au sens inverse du sens de l'émission d'où le nom de rétrodiffusion.
- Une 3^{ème} partie, est perdue par propagation à travers la gaine optique.

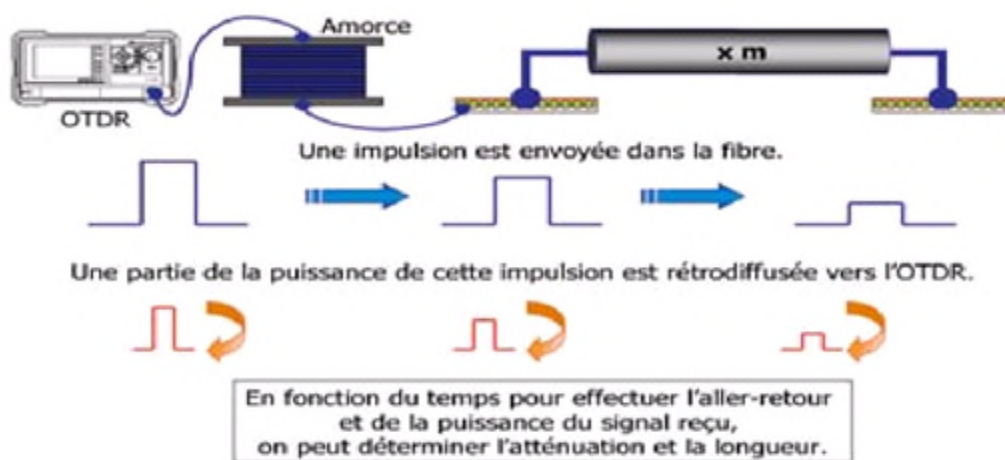


Fig 3.3 : Principe de rétrodiffusion dans l'OTDR.

3.4.1 Principe de l'OTDR :

Le schéma du principe commun à tous les OTDR, représenté sur la figure (3.4) comprend trois sous ensembles : Un émetteur, un coupleur directif et un module détecteur associé à un ensemble d'acquisition et de traitement du signal ainsi qu'à un dispositif d'observations. L'émetteur optique (diode laser de longueur d'onde 1550 nm), modulé à quelques KHz par un générateur, délivre des impulsions lumineuses à la fibre par l'intermédiaire d'une entrée du coupleur directif.

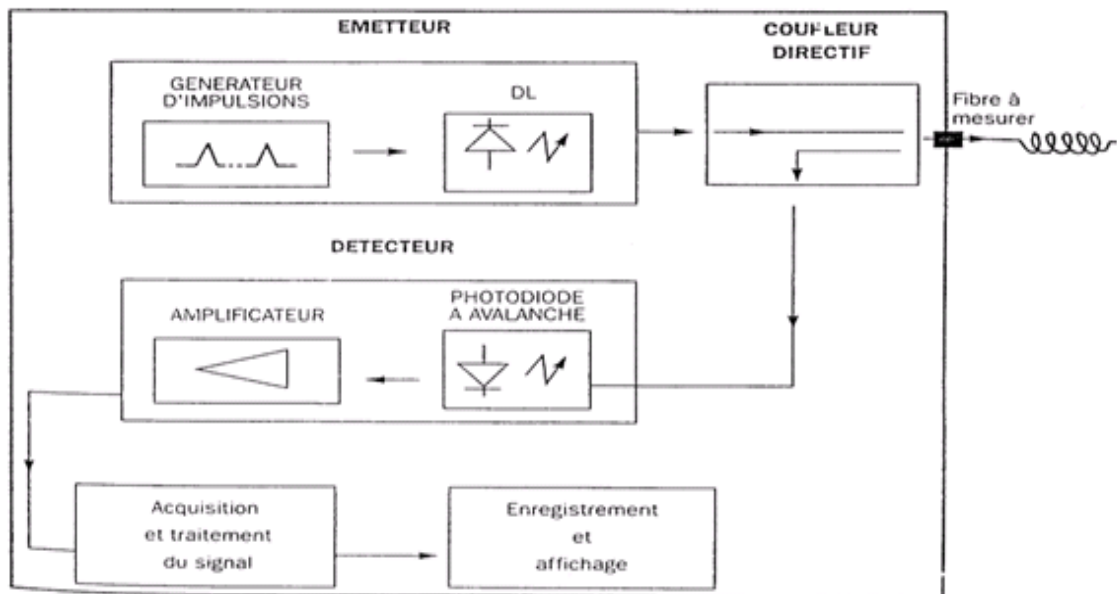


Fig 3.4 : Principe de l'OTDR.

Au cours de la propagation la puissance lumineuse des impulsions subit une atténuation due aux pertes par absorption et diffusion du cœur de la fibre. Le signal obtenu après traitement donne une cartographique complète de la liaison testée.

3.4.2 Test OTDR

Dans cette seconde étape, l'équipement de mesure utilisé est l'OTDR. Il permet de localiser les défauts dans la fibre et caractériser l'ensemble des éléments constitutifs de la liaison optique, le calcul de l'affaiblissement, la réflectance de chaque élément et les pertes de connections.

Dans le but d'évaluer l'effet de ces différents paramètres, on va tester dans cette partie deux liaisons, à savoir :

- La liaison RTC- CA.
- La liaison RTC –SBM.

Avant de procéder au test de ces fibres, on va suivre les étapes ci-dessous :

- Configuration des tests et câbles.
- Acquisition de la trace.
- Vérification de l'analyse.
- Sauvegarde de la trace.

3.4.2.1 Liaison RTC-CA

Pour commencer ce test, on choisit un mode d'utilisation « le mode avancé » qui permet de définir un grand nombre de paramètres (IR, distance, la largeur d'impulsion,...). Les résultats de test sont plus précis avec ce mode.

✓ Acquisition de la trace

Le tableau ci-dessous définit les paramètres estimés pour cette liaison :

Longueur d'onde	1550nm (SM-9 μ m)	Temps d'acquisition	15 s
plage	5 Km	Largeur d'impulsion	1 μ s
Indice de réfraction	1.468325	Seuil perte d'épissure	0.02 dB
Diffusion Rayleigh	-81.87	Seuil réflectance	-72 dB

Tab 3.2 : Configuration test de la liaison optique RTC-CA.

Une fois que tous les paramètres de test ont été choisis, on appuie sur début pour acquérir la trace de la liaison (figure 3.5). Une fois la trace acquise, le logiciel OTDR analyse automatiquement la trace et crée un tableau des événements.



Fig 3.5 : Trace OTDR de la liaison RTC-CA.

✓ Vérification de l'analyse

Le tableau des événements compile les résultats d'analyse de la trace. Cette information peut être comparée à des standards connus, grâce à elle, il est possible de déterminer si la fibre est acceptée ou non.

N°	Position (Km)	Type d'événement	Perte (dB)	Réf. (dB)	Atté. (dB/Km)	Cumul. (dB)
1	0	Niveau d'injection	-----	-38.8		0.000
		Segment de fibre (3.4173 Km)	0.658		0.193	0.658
2	3.4173	Défaut réfléchissant	-----	-30.5		0.658

Tab 3.3 : Tableau des événements de la trace RTC-CA.

3.4.2.2 La liaison RTC- SBM (coupée)

Dans cette partie on va tester une liaison optique coupée qui relie les deux sites SBM et TRC. On suit les mêmes étapes que celles de la liaison précédente.

✓ Acquisition de la trace

Longueur d'onde	1550nm (SM-9 μ m)	Temps d'acquisition	5 mn
plage	20.9319 Km	Largeur d'impulsion	1 μ s
Indice de réfraction	1.466600	Seuil perte d'épissure	0.2 dB
Diffusion Rayleigh	-82.10	Seuil réflectance	-52 dB

Tab 3.4 : Configuration test de la liaison coupée RTC-SBM.

Pour cette liaison optique, on a choisit une plage de 20.9319 km, puisque la liaison est coupée aux environs de OUED-GHIR (à 10 km du RTC). La trace de cette liaison est représentée dans la figure (3.6).

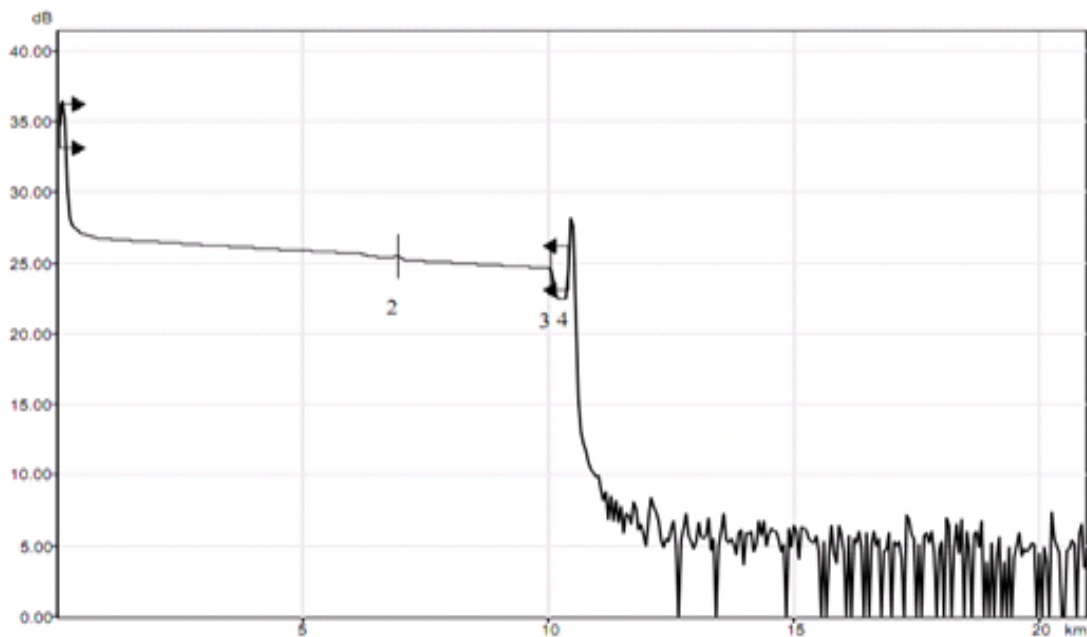


Fig 3.6 : Trace de la liaison optique coupée RTC-SBM.

✓ Vérification de l'analyse

N°	Position (Km)	Type d'événement	Perte (dB)	Réf. (dB)	Atté. (dB/Km)	Cumul. (dB)
1	0	Niveau d'injection	0.00	33.7		0.000
		Segment de fibre (6.9168 Km)	1.764		0.255	1.764
2	6.9168	Défaut réfléchissant	0.254			2.018
		Segment de fibre (3.0943 km)	0.542		0.175	2.559
3	10.0111	Défaut non réfléchissant	2.140			4.699
		Segment de fibre (0.3654 km)	0.117		0.320	4.816
4	10.3765	Défaut réfléchissant	12.116	40.4		4.816

Tab 3.5 : Tableau des événements de la trace RTC-SBM (coupée).

3.4.2.3 La liaison TRC-SBM (Rétablie)

Après rétablissements de la fibre qui relie les deux sites, on ajoutant des joints de raccordement à chaque coupure de la fibre. Le nombre total de joints le long de cette liaison optique est de 70 joints ce qui est important par rapport l'atténuation due aux raccordements des fibres optique. L'OTDR va nous permettre de visualiser ces défauts ainsi que l'atténuation résultante. Pour cela, on va procéder à un test OTDR dans les deux sens de la liaison (RTC-SBM et SBM-RTC).

✓ Acquisition de la trace

Le tableau suivant représente la configuration des paramètres pour chaque extrémité :

Longueur d'onde	1550nm (SM-9 μ m)	Temps d'acquisition	30 s
plage	160 Km	Largeur d'impulsion	20 μ s
Indice de réfraction	1.468330	Seuil perte d'épissure	0.02 dB
Diffusion Rayleigh	-81.87	Seuil réflectance	-72 dB

Tab 3.6 : configuration test de la liaison SBM-RTC (rétablie).

Les deux figures suivantes représentent respectivement les traces de la liaison SBM-RTC et RTC-SBM :

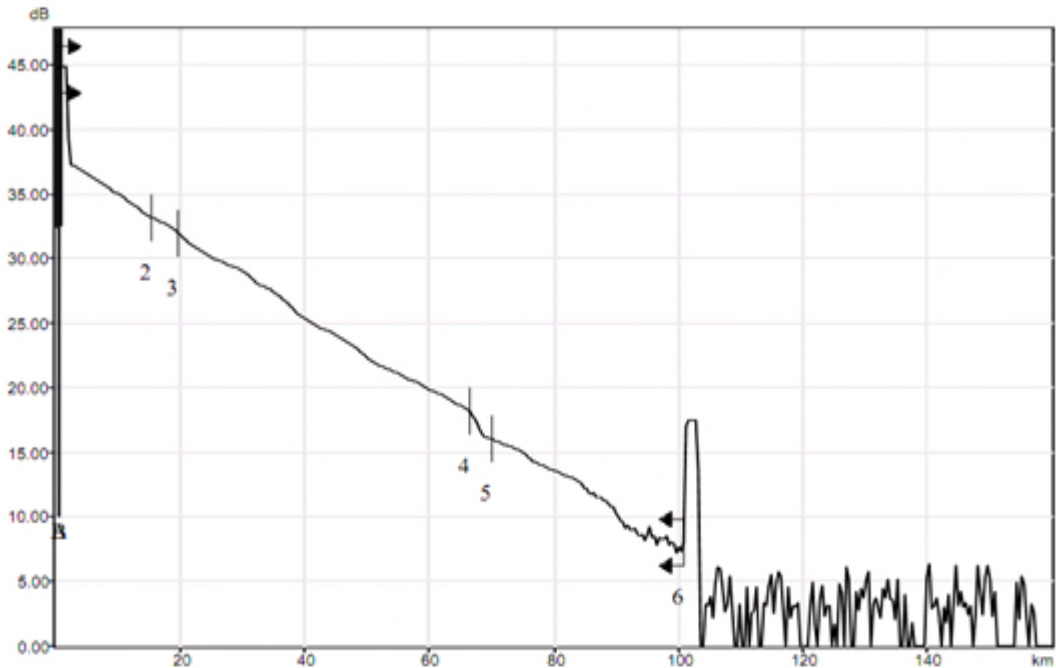


Fig 3.7 : Trace OTDR de la liaison rétablie (SBM-RTC).

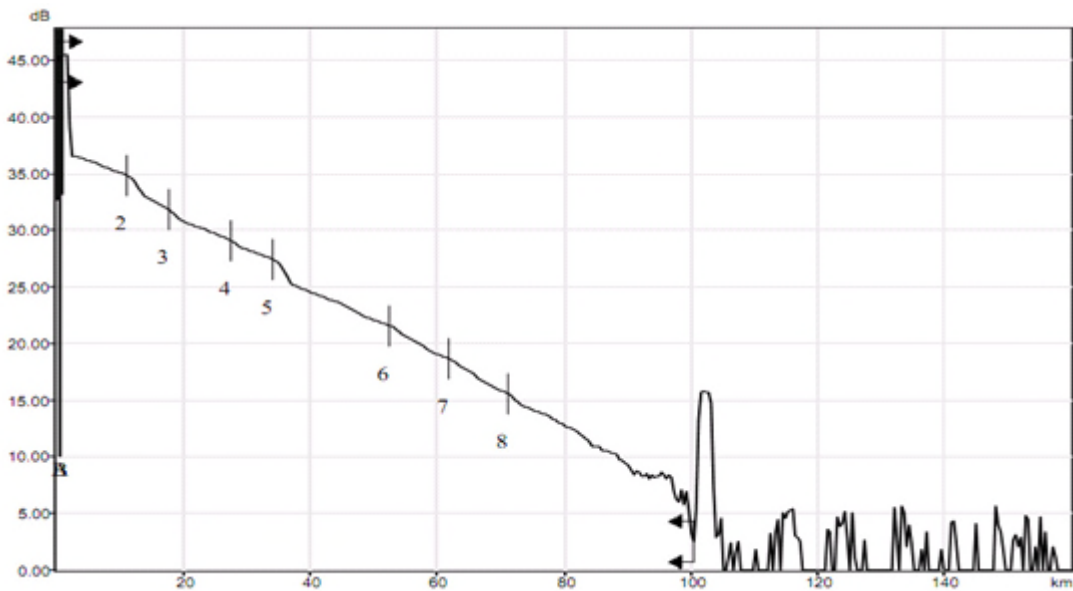


Fig 3.8 : trace OTDR de la liaison rétablie (RTC-SBM).

✓ Vérification de l'analyse

N°	Position (Km)	Type d'événement	Perte (dB)	Réf. (dB)	Atté. (dB/Km)	Cumul. (dB)
1	0.000	Niveau d'injection	----	-25.4		0.000
		Segment de fibre (15.221 Km)	4.958			0.326
2	15.2211	Défaut positif	-0.278			4.681
		Segment de fibre (4.3080 km)	1.350			0.313
3	19.5291	Défaut non réfléchissant	0.366			6.397
		Segment de fibre (46.929 km)	13.967			0.298
4	66.4581	Défaut non réfléchissant	1.472			21.836
		Segment de fibre (3.4352 km)	0.674			0.196
5	69.8933	Défaut positif	-0.365			22.145
		Segment de fibre (31.1057 km)	9.675			0.311
6	100.999	Défauts réfléchissant	----	-18.8		31.820

Tab 3.7 : tableau des événements de la trace SBM- RTC.

N°	Position (Km)	Type d'événement	Perte (dB)	Réf. (dB)	Atté. (dB/Km)	Cumul. (dB)
1	0.000	Niveau d'injection	----	>-25.4		0.000
		Segment de fibre (11.290 Km)	2.430			0.215
2	11.2907	Défaut non réfléchissant	1.079			3.509
		Segment de fibre (6.3344 km)	1.858			0.293
3	17.6252	Défaut non réfléchissant	0.510			5.877
		Segment de fibre (9.6982 km)	2.108			0.217
4	27.3234	Défaut non réfléchissant	0.340			8.324
		Segment de fibre (6.9010 km)	1.364			0.198
5	34.2244	Défaut non réfléchissant	1.642			11.33
		Segment de fibre (18.3449 km)	4.464			0.243
6	52.5693	Défauts non réfléchissant	0.856			16.649
		Segment fibre (9.1980km)	1.877			0.204
7	61.7673	Défauts non réfléchissant	0.786			19.312
		Segment de fibre (9.5349km)	2.121			0.222
8	71.3021	Défauts non réfléchissant	0.437			21.870
		Segment de fibre (29.0078km)	9.759			0.336
9	100.309	Défauts réfléchissant	----	-17.1		31.629

Tab 3.8 : Tableau d'événements de la trace RTC-SBM.

3.5 Conclusion

Les différents tests sur les fibres présentés dans ce chapitre impliquent une rigueur dans la qualité des équipements. Il est également important de veiller à la propreté des connecteurs optique, qui doivent comporter un capuchon, en cas de non utilisation.

En principe, les tests précédents suffisent pour la majorité des installations. Néanmoins, certains problèmes peuvent quelque fois ne pas être localisés par les mesures d'affaiblissements (power mètre).

Alors on utilise un OTDR, qui reste le moyen unique pour la détection et localisation précise d'un défaut sur un câble à fibres optiques.

Chapitre 4

Conception et simulation d'une liaison optique

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, on va proposer une étude et une simulation des résultats de mesures exposés dans le chapitre précédent, afin d'aboutir à la réalisation et l'optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique haut débit.

Pour cela, on va utiliser un simulateur système COMSIS, qui va nous maintenir une prévision des résultats attendus expérimentalement. Il permet non seulement de visualiser mais aussi de mesurer la qualité de transmission tout en optimisant les performances de la liaison.

Ce chapitre sera divisé en deux parties, la première sera consacrée à la description du simulateur COMSIS ainsi que ces différents outils de test.

La seconde portera sur une simulation du système décrit dans le chapitre précédent. Cette simulation se fera en plusieurs étapes, dont chacune introduira de nouveaux éléments qui rendront le système simulé le plus proche de la réalité.

4.2 Présentation du logiciel : [1] [2]

COMSIS (Communication System Interactive Software) est un logiciel de simulation système de télécommunication développé par la société IPSIS, qui permet de modéliser, simuler et analyser des modules allant du simple dispositif au plus complexe.

Ce logiciel (version 8.7.3) offre la possibilité de constituer des bibliothèques (figure 4.1) à partir de programmes externes ou par association de modèles standard. Elles englobent tout types de modèles qui permettent de réaliser les différents schémas blocs : entrées, régénérateurs, codeurs, modulateur, filtres, composants optiques,...etc.

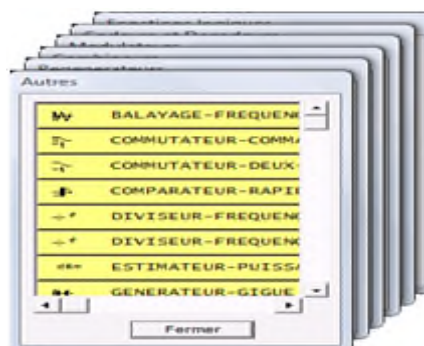


Fig4.1 : La bibliothèque de COMSIS.

4.2.1 Interfaces COMSIS [3]

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

- La première rassemble les deux types de fonctions, celles d'édition de schémas- blocs et les fonctions de traitement. La conception est assez simple, il suffit de sélectionner les composants disponibles dans la bibliothèque à l'aide de la souris et les déposer dans l'édition schémas-blocs (figure 4.2).
- La seconde est utilisée au lancement d'une analyse pour insérer des paramètres de simulation ou pour afficher l'ensemble des messages ou informations éditées par le logiciel au cours de son exécution (figure4.3).

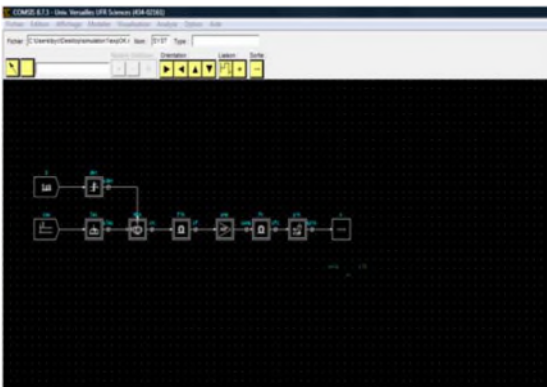


Fig 4.2 : Editeur de schémas blocs.

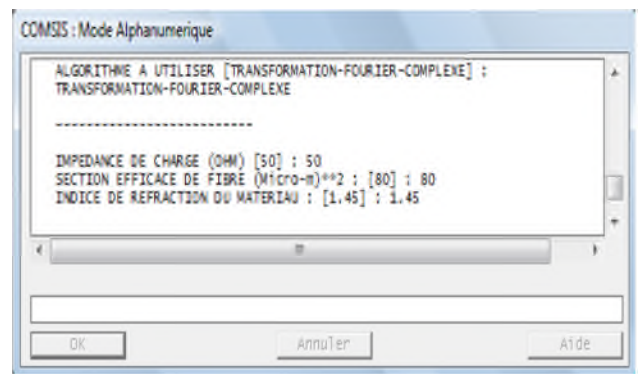


Fig 4.3 : Mode alphanumérique.

4.2.2 Les étapes de simulation

La simulation d'un système sous COMSIS se déploie en 3 phases : la modélisation du système, suivie d'une analyse de la liaison et enfin les résultats de la simulation.

4.2.2.1 La modélisation du système

L'approche de modélisation d'un système de transmission est capable de décrire les différents modules d'une liaison caractérisés par une grandeur de sortie dépendant de celle d'entrée.

COMSIS propose trois types de signaux à traiter : continue, discret et échantillonné. La nature de ces signaux implique l'utilisation des systèmes continus.

4.2.2.2 Les différentes analyses

Une fois la conception du schéma-bloc est terminée, COMSIS fournit plusieurs types d'analyses, afin de déterminer les caractéristiques d'un composant isolé (analyse statique) ou visualiser les performances d'une liaison (simulation temporelle).

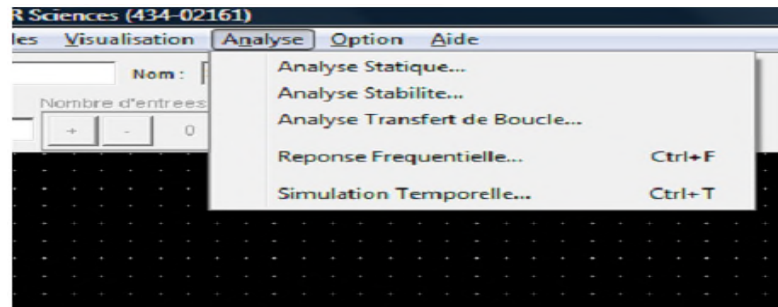


Fig 4.4 : Le menu d'analyses COMSIS.

- **Analyse statique**

Cette étape préliminaire, avant la simulation de la liaison complète, permet de s'assurer que les principales notions relatives aux différentes fonctions optiques mise en jeu (émission, propagation, amplification, détection) sont maîtrisées, ainsi que le fonctionnement des composants associées.

A titre d'exemple, on utilise une source d'émission prise de la bibliothèque optique, un laser système (fig4.5)



Fig4.5 : Un laser système.

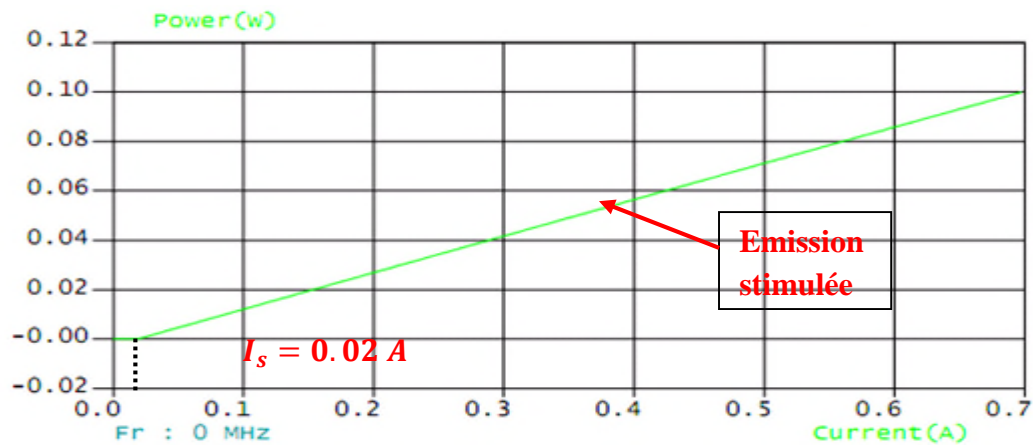


Fig 4.6 : Puissance optique en fonction du courant de laser (analyse statique).

L'analyse statique du laser système permet de visualiser les caractéristiques de celui-ci (fig 4.6). On constate que la puissance du signal de sortie dépend du niveau de courant de commande du laser. D'après ce graphe, on peut déterminer les paramètres suivants :

- Le courant de seuil ($I_s=0.02$ A).

- Le rendement électro-optique (η).
- La puissance optique de saturation ou puissance maximale (P_{max}).
- Le courant de saturation (I_{sat}).

- **Analyse de stabilité : [3]**

Cette commande permet de calculer la réponse en fréquence et les marges de stabilité d'un sous système linéaire, à partir de la représentation en diagrammes de Bode (amplitude et phase), Black et Nyquist.

- **Analyse de transfert de boucle : [26]**

Elle permet d'obtenir les mêmes résultats que l'analyse en stabilité mais pour des systèmes en boucles (asservissement).

- **La réponse fréquentielle :**

COMSIS permet de calculer la réponse fréquentielle (en amplitude, en phase et en temps de propagation de groupe) d'un opérateur de filtrage, elle vérifie toujours la cohérence du schéma.

- **La simulation temporelle :**

Cette commande permet de déterminer la réponse de tout un système à des signaux dans le domaine temporel. Cette dernière catégorie sera la principale utilisée dans ce travail, puisqu'on cherche à évaluer le comportement de notre système de transmission optique.

La simulation temporelle permet d'exploiter les résultats en proposant un certain nombre de possibilités, répertoriées dans la fenêtre « Evaluation des performances ».

- **Sauvegarde des résultats de simulation :**

Chaque variable simulée peut être stockée dans un fichier binaire contenant les caractéristiques du signal sauvegardé, pour cela il faut activer la commande Sortie Fichier.

Les résultats de simulation sauvegardés peuvent être ré-exploités dans COMSIS ou réinjectés dans une autre application.

4.3 La simulation :

Cette partie montre que la construction d'une liaison longue distance nécessite la compensation des phénomènes d'atténuation et la dispersion chromatique,...etc. cela demande une connaissance des différents mécanismes et éléments des liaisons optique (émetteur, amplificateur optique, détecteurs,...).

L'outil de simulation utilisé permet d'appréhender l'ensemble des phénomènes séparément sans approximation et sans calcul analytique.

Tout d'abord, on va simuler la liaison RTC-CA (en bonne état) ensuite on la compare à la liaison coupée celle de RTC-SBM.

4.3.1 Simulation de la liaison RTC-CA

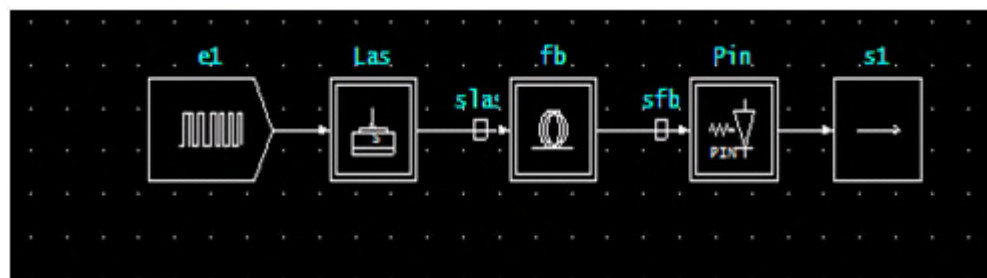


Fig 4.7 : schéma bloc de la liaison RTC-CA simulée

La figure (4.7) représente le schéma de simulation sous COMSIS de la liaison fibre optique RTC-CA. Ce système comporte un générateur de bits permet de commander une diode laser par une succession d'impulsions de courant dont on règle les niveaux haut et bas, ainsi que le débit binaire. Un laser système dont la longueur d'onde $\lambda = 1550nm$, émet dans une fibre monomode (notée fim) à laquelle on introduit les caractéristiques résumées dans le tableau (4.1). La liaison est terminée par une photodiode PIN pour la récupération sous forme électrique des informations.

La longueur de la liaison(Km)	3.4161
Le coefficient d'atténuation (dB/Km)	0.192
La dispersion chromatique (ps/nm/Km)	17.0805
Effet Kerr	non
Effet Raman	non

Tab 4.1 : Paramètres de la liaison RTC-CA.

4.3.1.1 Analyse temporelle

La liaison est analysée temporellement afin d'évaluer la qualité de récupération de l'information. La forme temporelle des impulsions doivent être identique à la succession des bits d'informations pilotant le circuit de commande en courant (figure4.8). Par contre, on

remarque que plus le débit binaire est élevé, la durée des impulsions successives est courte. la figure 4.9 représente les résultats de simulation de la liaison optique RTC-CA comparée à d'autres simulations avec variation de débit.

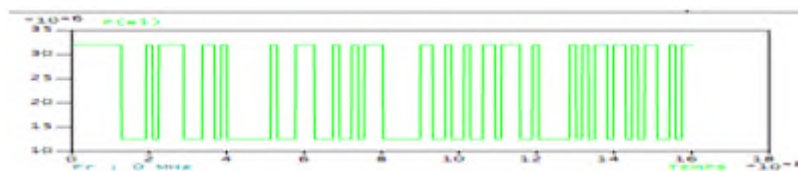
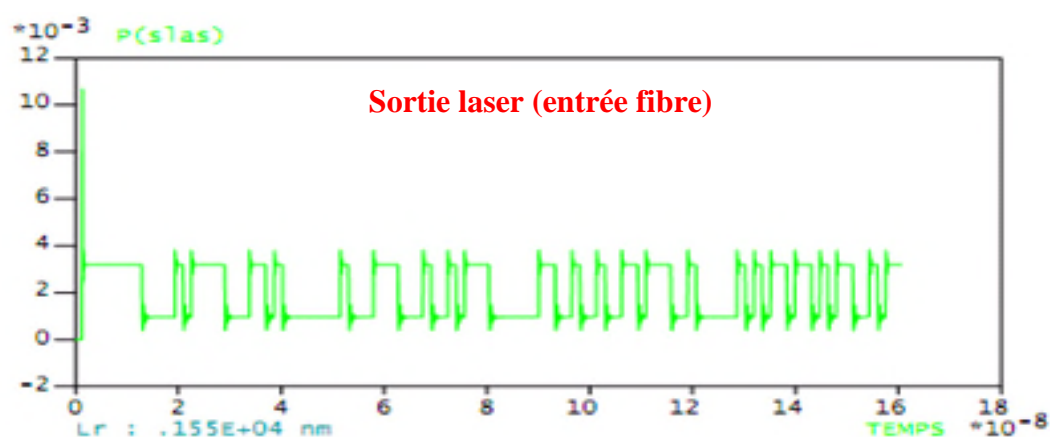


Fig 4.8 : La forme des impulsions du circuit de commande du laser système.



Débit=622Mb/s

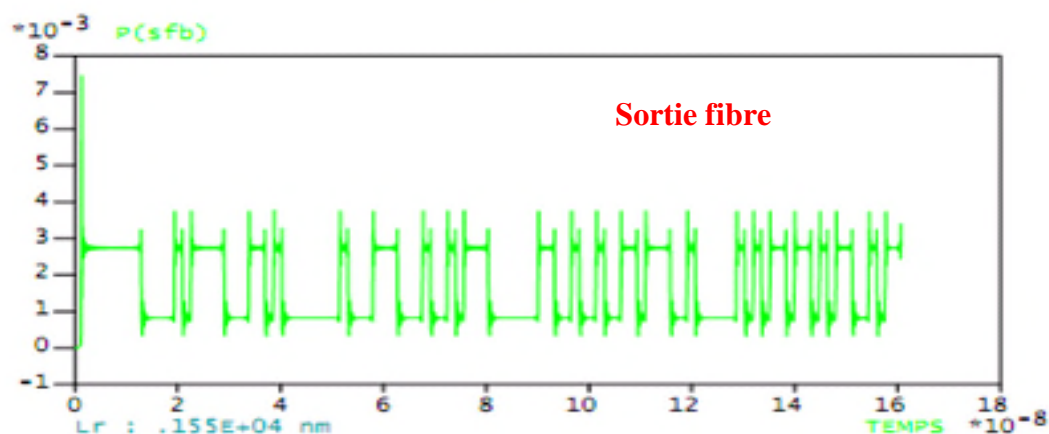


Fig4.9 : Puissance optique d'entrée/ sortie de la fibre reliant RTC au CA.

On fait varier le débit de la liaison pour constater l'effet de celui-ci sur la forme des impulsions de sortie de la fibre monomode. Les résultats obtenus dans la figure (4.10).

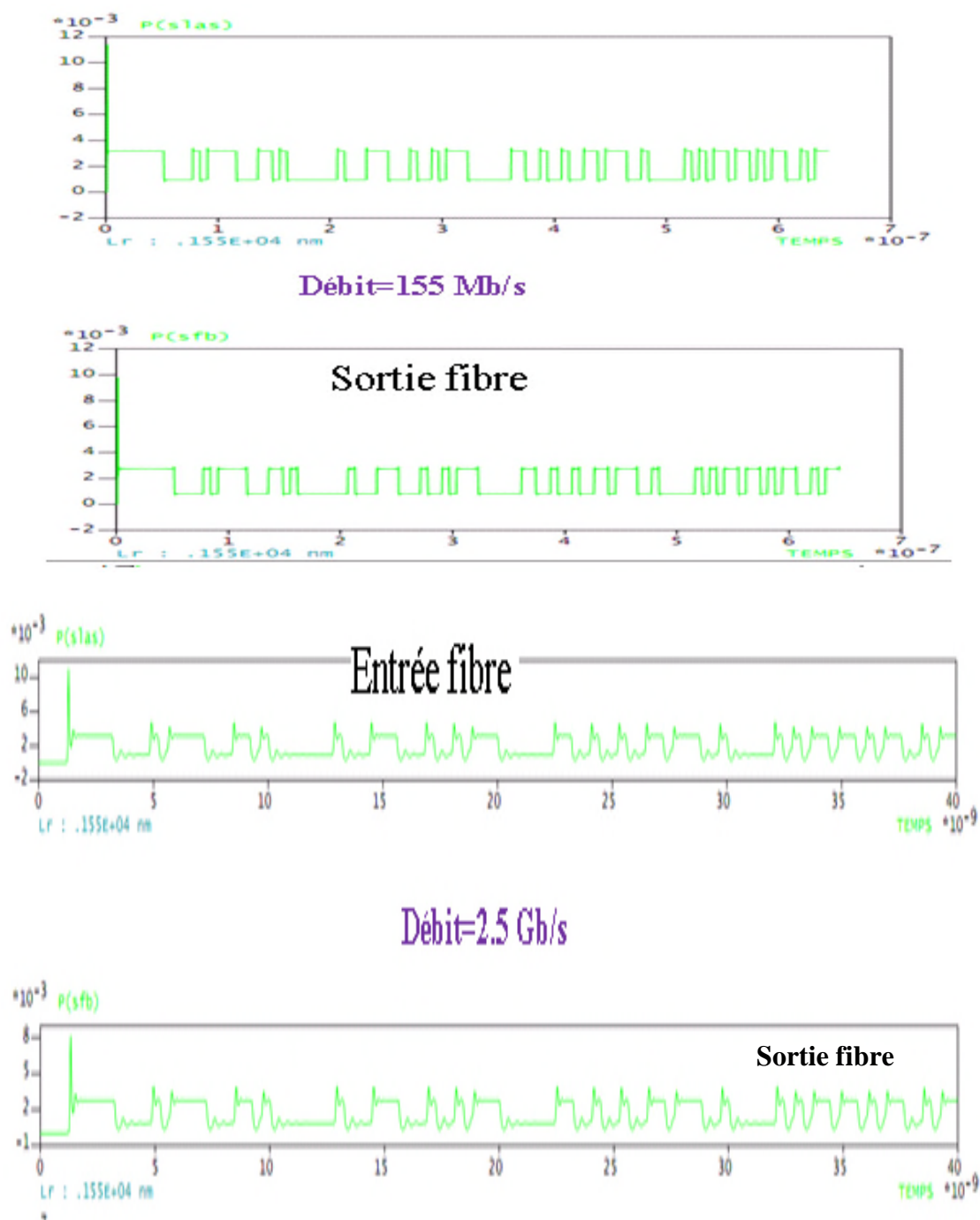


Fig 4.10 : La puissance optique en fonction du débit de la liaison.

On note l'effet des oscillations de relaxation dès que le débit binaire dépasse 1Gb/s avec le modèle de diode laser utilisé. Les impulsions sont alors loin d'être idéales.

L'impact de la déformation engendrée à tel ou tel débit ne peut être évalué qu'en analysant globalement la liaison au moyen d'un diagramme de l'œil (figure 4.11).

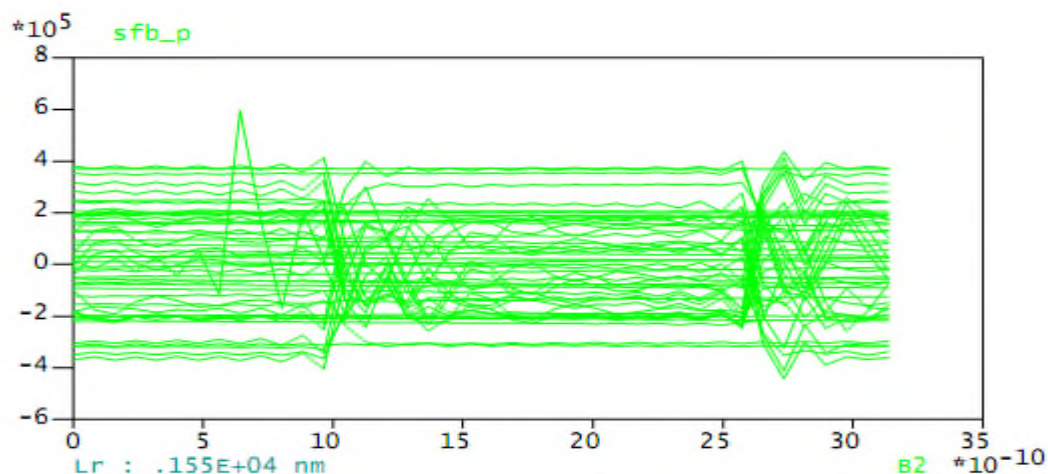


Fig4.11 : Diagramme de l'œil de la fibre monomode

4.3.1.2 L'analyse spectrale

Tout comme l'analyse temporelle, l'analyse spectrale ou la densité de probabilité spectrale (DSP) permet d'évaluer la qualité de récupération des informations. La figure (4.12) montre l'allure de la DSP de la fibre testée.

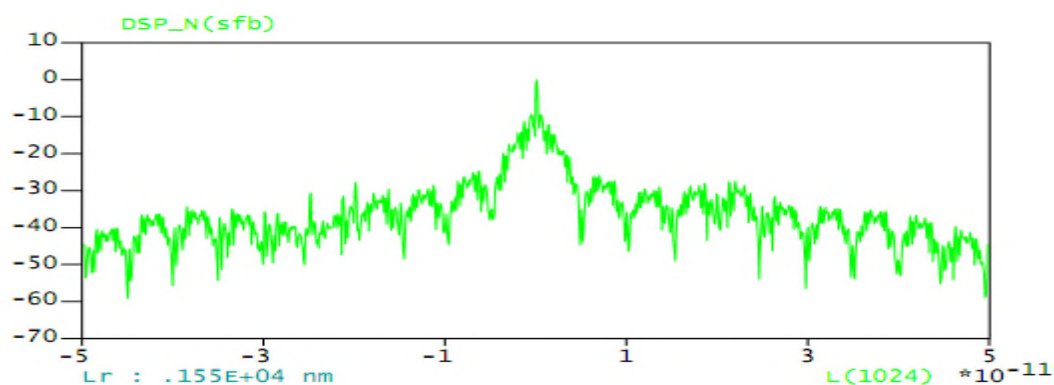


Fig 4.12 : La DSP de la fibre monomode sous COMSIS.

4.3.1.3 La courbe de taux d'erreur

Afin de calculer le taux d'erreur, COMSIS propose trois méthodes d'évaluation des performances à savoir:

- La méthode de Monte-Carlo pour l'estimation de TEB.
- L'extrapolation de la queue de distribution
- L'estimation basée sur la théorie de la valeur extrême pour l'estimation de TES (taux d'erreur par symbole).

Dans notre simulation, on utilise la méthode de Monte-Carlo afin d'estimer la TEB (figure 4.13)

Dans cette méthode la probabilité d'erreur est une moyenne statistique identique au taux d'erreur binaire.

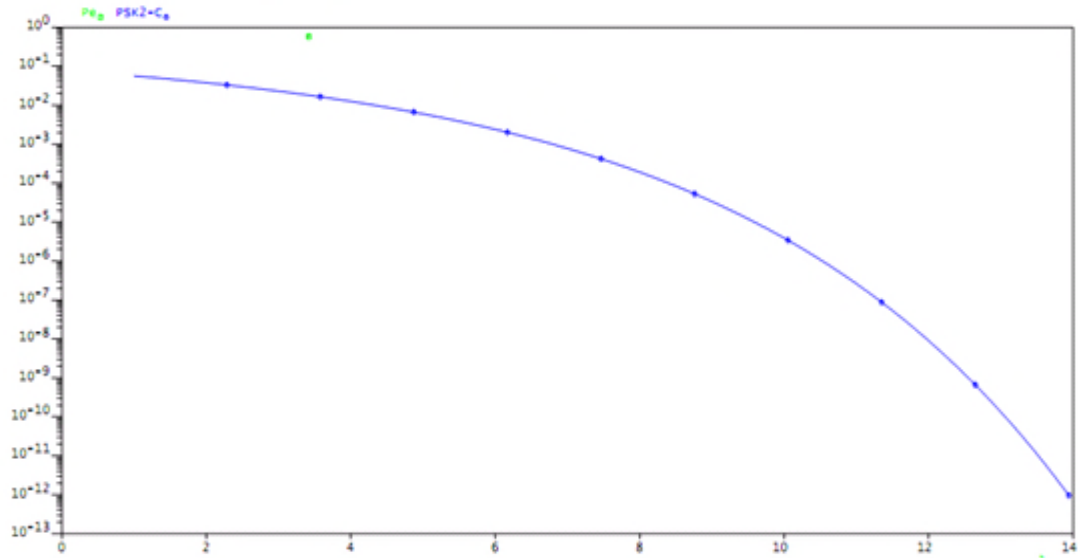


Fig.4.13 : courbe de TEB avec la méthode de Monte-Carlo

On remarque à partir des résultats du TEB que le minimum correspondant au seuil de décision qu'on appelle le seuil optimal.

On peut constater que les résultats obtenus en simulation correspondent aux résultats théoriques, donc on peut valider la chaîne comme étant idéale.

4.3.2 Simulation de la liaison RTC-SBM

Les résultats obtenus lors du rétablissement de la liaison à fibres optiques reliant les deux sites vont être simulés dans cette partie, pour mieux concevoir l'effet des différents phénomènes (perte par atténuation, dispersion et les joints placés le long de la liaison).

Le bloc qui va permettre de simuler cette liaison optique est présenté sous la forme suivante :

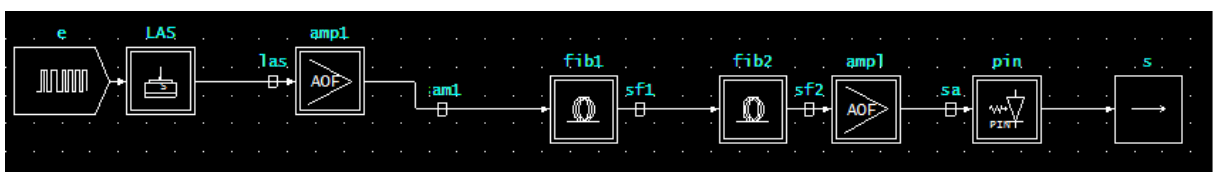


Fig 4.14 : Synoptique de la liaison point à point mono-longueur d'onde traitée sous COMSIS.

La spécification de ce schéma par rapport à celui de l'étape précédente est la grande distance qui sépare les deux sites, donc la liaison nécessite un amplificateur optique (booster) placé directement à l'entrée de fib1, dans le but d'injecter le signal maximum de la fibre optique.

4.3.2.1 Analyse statique

Tout d'abord, on va procéder à une analyse statique de l'amplificateur (Cf. annexe B) pour visualiser ses caractéristiques fonctionnelles qui relient principalement la puissance de pompe P_p et la puissance à amplifier P_{in} au gain G de l'amplificateur.

Les résultats obtenus par cette analyse sont schématisés dans les figures suivantes :

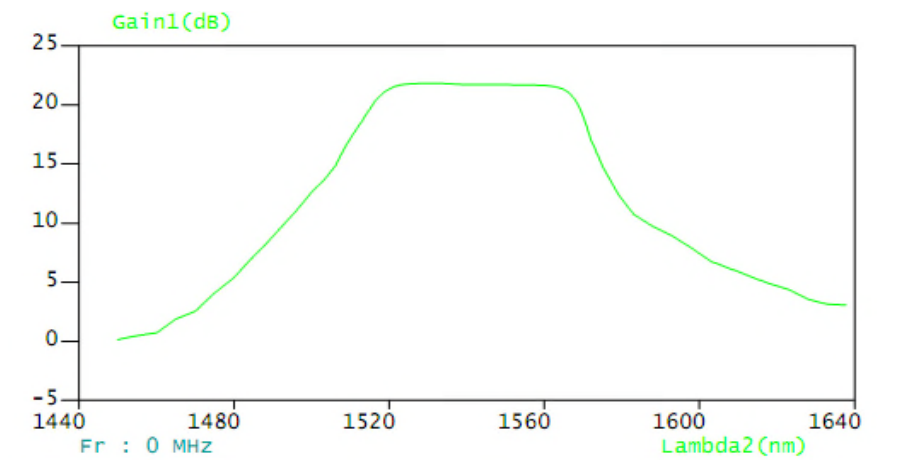


Fig4.15 : Courbe de gain de l'amplificateur optique.

La figure 4.15 montre la courbe de gain de l'amplificateur quand le signal est de faible puissance quelque mW. Dans ce cas, le signal de pompe est peu consommé et le gain optique obtenue dans la bande de 1520 nm jusqu'à 1560 nm est élevé (de l'ordre de 20 dB).

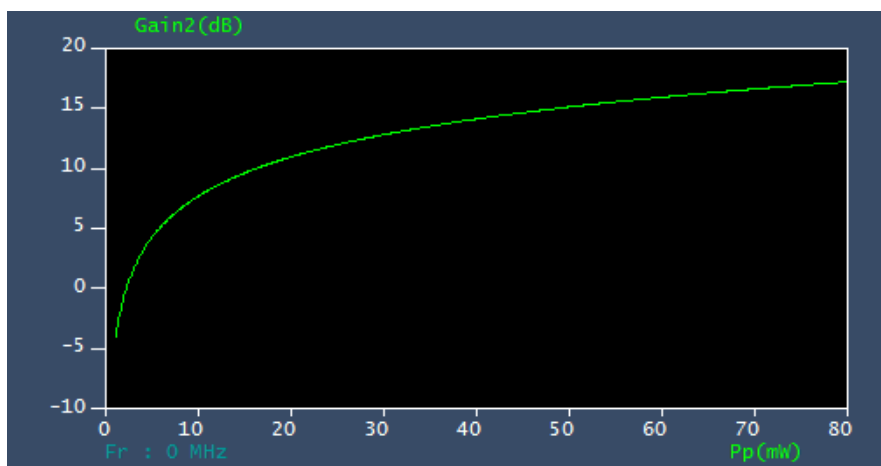


Fig4.16 : Effet de la puissance de pompe seule sur le gain de l'amplificateur.

Cette figure montre l'effet de la puissance de pompe seule sur le gain relatif au signal à amplifier. On note que si la puissance de pompe est insuffisante, le gain de l'amplificateur tend vers zéro. En revanche, le gain se sature quand P_p devient suffisante pour ne pas être entièrement consommée par le signal à amplifier. Dans ce cas, La P_p nécessaire est supérieur à 50mW.

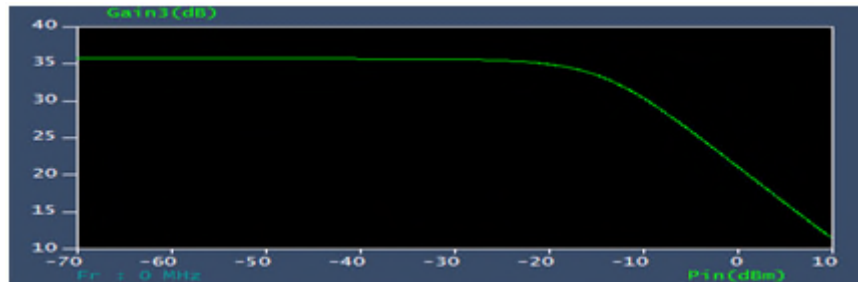


Fig 4.17 : Effet de la puissance P_{in} sur le gain de l'amplificateur.

On remarque à travers la figure 4.17, que le gain décroît lorsque la puissance P_{in} est trop forte. On parle de saturation du gain de l'amplificateur. Tant que le signal à amplifier est de faible puissance, l'inversion de population reste peu affectée. Quand celle-ci augmente l'inversion de population diminue donc le gain également. On évalue là aussi le niveau du signal que l'amplificateur peut amplifier de manière suffisante.

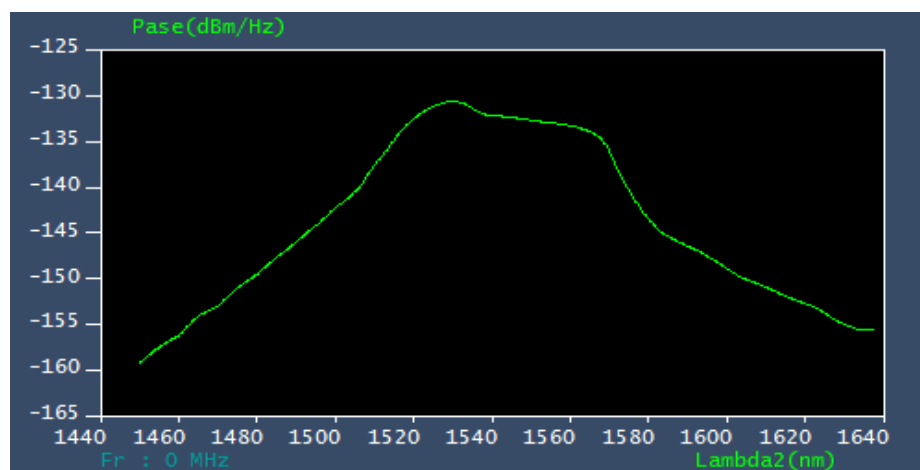


Fig4.18 : Densité spectrale de puissance de bruit par amplification de l'émission spontanée(ASE).

La figure 4.18 présente la densité spectrale de puissance de bruit par amplification de l'émission spontanée (ASE), qui est la principale source de bruit des amplificateurs. On note que la forme générale de la courbe est la même que celle du gain de l'amplificateur. Compte tenu du débit de la liaison, il est possible d'estimer l'ordre de la grandeur de la puissance de bruit. Le niveau moyen étant de -130dBm/Hz. Il faut veiller à ce que le signal à

amplifier ne sature pas l'amplificateur, mais ne tombe pas non-plus en-dessous de ce niveau de puissance car l'information risque d'être altérée.

4.3.2.2 Simulation temporelle

L'étude du système complet commence avec l'analyse temporelle. On s'est servi d'une configuration initiale des valeurs de tous les paramètres introduits, comme point de référence, et faire varier les valeurs d'autres paramètres afin d'en observer les conséquences sur la qualité de la liaison.

Le tableau suivant montre les valeurs injectées afin de tester la liaison optique RTC-SBM :

Caractéristiques	RTC-SBM	SBM-RTC
Longueur de la fibre (Km)	100.309	100.99
Coefficient d'atténuation (dB/Km)	0.315	0.315
Longueur d'onde (nm)	1550	1550
Débit binaire (Mb/s)	622	622
Dispersion chromatique (ps/nm/Km)	17	17

Tab 4.2 : configuration des paramètres de la liaison RTC-SBM.

La figure (4.19) montre que le signal qui se propage s'affaiblit puisque une partie de ce signal sous forme de lumière est perdue (atténuation). On peut aussi remarquer que le signal s'élargit, donc la forme des impulsions du signal à la sortie est déformée par rapport au signal émis cela est due à dispersion chromatique.

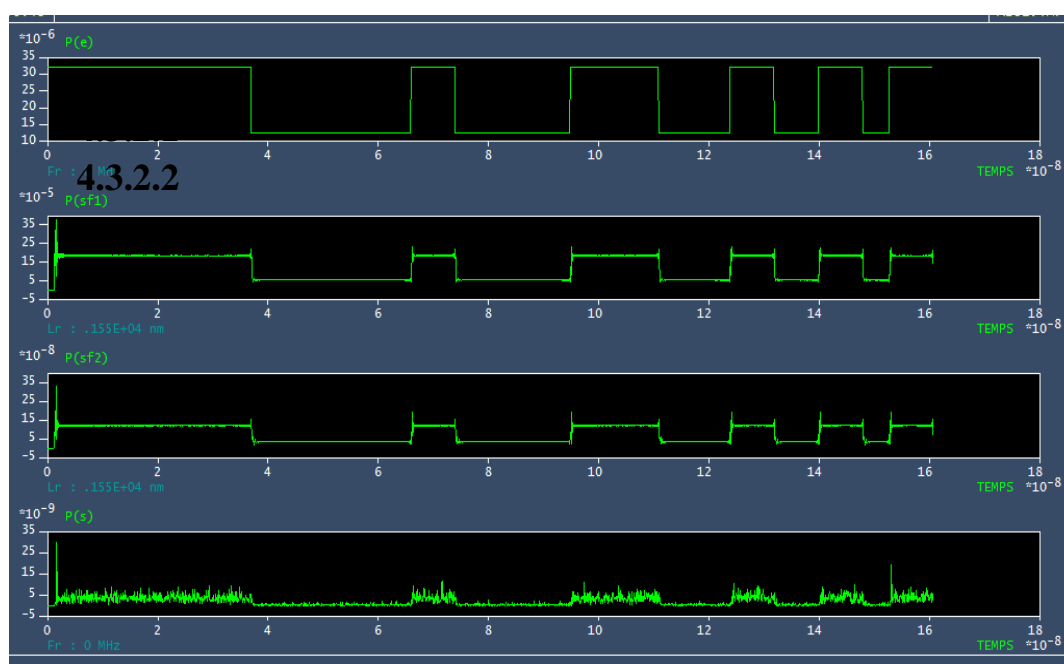


Fig4.19 : Forme temporelle des signaux optiques en sortie de chaque composant.

4.3.2.3 Diagramme d'œil

La figure 4.20 représente le diagramme de l'œil regroupant sur une durée de 2 bits les changements d'amplitude pour une suite de symboles « 1 » et « 0 ». Il consiste à superposer sur une période temporelle donnée le signal obtenu en bout de la liaison, afin d'observer toutes les transitions logiques possibles.

L'ouverture renseigne sur la qualité de la liaison, on peut dire que l'ouverture de l'œil caractérise le bruit dû à tous les éléments de la chaîne optoélectronique (source, canal de propagation, détecteur, amplificateur,...) et les distorsions apportées par la chaîne de transmission.

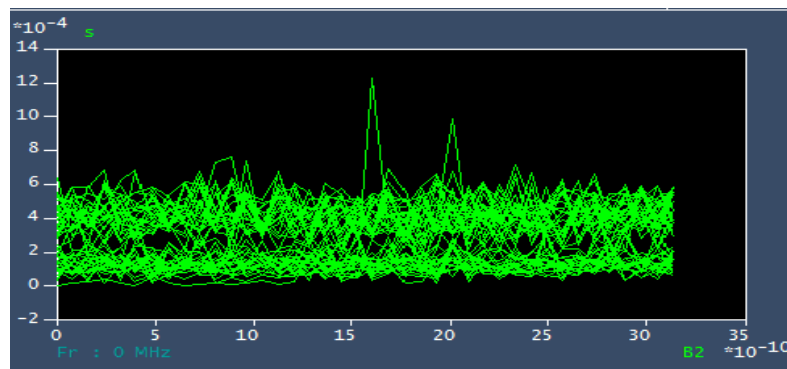


Fig 4.20 : Diagramme de l'œil de la liaison RTC-SBM sous COMSIS.

Dans la configuration choisie, l'œil présente une ouverture trop ferme suite à la grande atténuation du signal (0.315 dB/Km) par rapport à la valeur optimale qui est de 0.2dB/Km.

4.3.2.4 Facteur de qualité

COMSIS offre la possibilité de faire des mesures quantitatives sur le diagramme de l'œil (facteur de qualité Q). Il suffit de calculer dans un interval encadrant les niveaux moyens du signal bruité I_i et les écarts- types σ_i sur la transmission des niveaux hauts et des niveaux bas (figure 4.2)

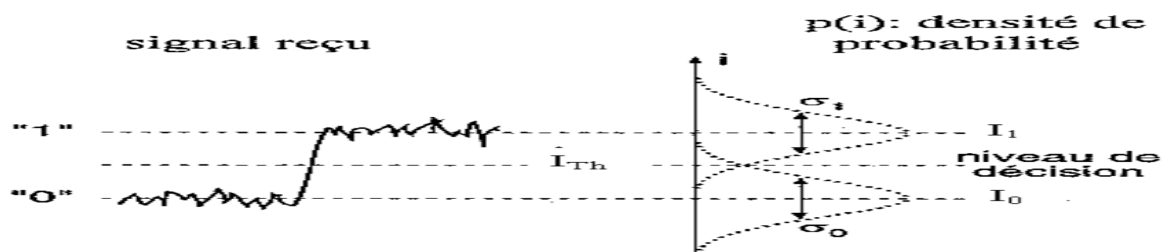


Fig 4.21 : Présentation de l'effet du bruit d'amplitude sur une séquence et le diagramme de l'œil correspondant.

Le facteur Q est défini par la relation suivante :

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (4.1)$$

(σ_1, σ_0) Désignent les écarts-types.

(I_1, I_0) les niveaux des signaux associés aux deux états logiques.

Le critère qui quantifie le mieux cette qualité de transmission est le taux d'erreurs binaire (TEB) qui représente la probabilité d'une prise de décision erronée sur un élément binaire. Il est défini comme suit :

$$TEB \approx \frac{\exp(-\frac{Q^2}{2})}{Q\sqrt{2\pi}} \quad (si \ Q > 3) \quad (4.2)$$

4.3.2.5 L'analyse spectrale

La densité spectrale de puissance d'un signal donne une idée de la largeur de bande nécessaire pour la transmettre. Elle permet également d'apprécier l'efficacité de certaines fonctions et d'évaluer les différents types de brouillage. La figure (4.21) présente la densité spectrale des signaux de sortie (fib1, fib2, ampl1, ampl).

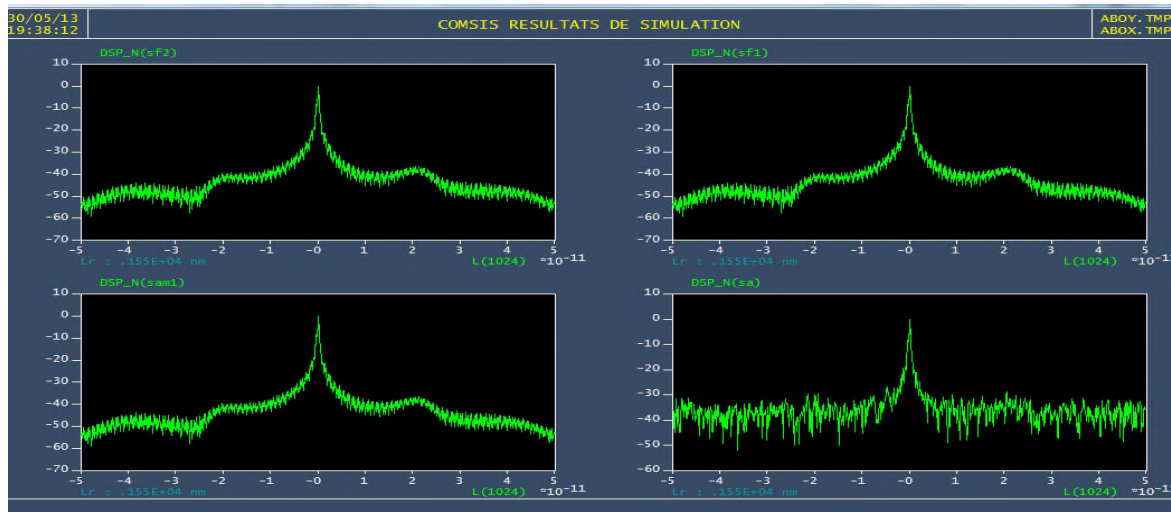


Fig4.22 : La densité spectrale des signaux de sortie (fibres et amplificateur).

4.3.2.6 Taux d'erreur

Après la simulation de la chaîne de transmission RTC-SBM, on trouve que le signal reçu est d'un niveau très faible par rapport au signal injecté à l'entrée donc il est important de s'intéresser au bruit présent en chaque point de la chaîne de réception.

Pour cela, on utilise la méthode de Monte-Carlo qui permet une visualisation graphique de la répartition des erreurs ainsi que la courbe correspondante à la probabilité d'erreur par rapport à la longueur de la liaison optique utilisée. Le TEB de cette liaison est de l'ordre de 10^{-12} pour une distance $L < 20\text{Km}$.

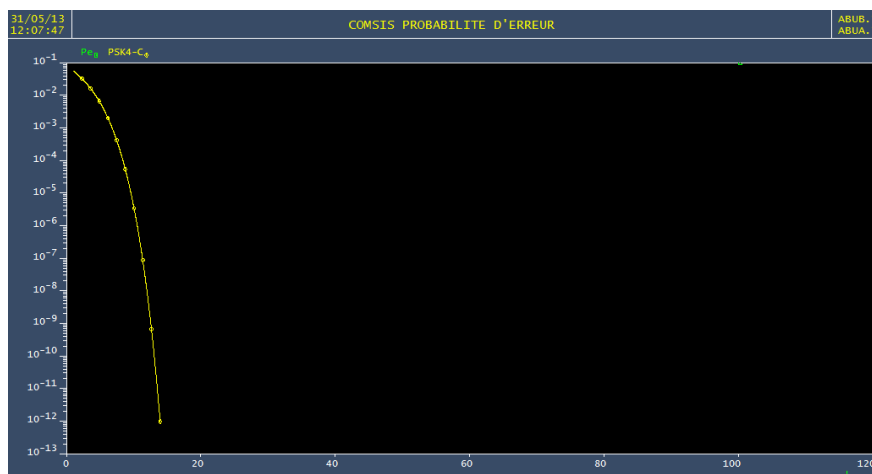


Fig 4.23 : la probabilité d'erreur par rapport à la longueur de la section.

4.3.2.7 Bilan de puissance

La puissance est une grandeur essentielle pour caractériser le niveau des signaux émis et reçus. Avec la commande puissance globale, pour chaque variable, COMSIS calcule la puissance moyenne en chaque point de simulation. Cette puissance est donnée en dBm (décibels relatif à 1 mW).

La puissance de chaque paramètre du schéma bloc est représentée dans le tableau (4.3)

La puissance globale (dBm)	
L'entrée (e)	-16.413
Laser système (slas)	3.25
Booster (sam1)	22.5
Fibre optique (sf1)	-9.07
Fibre optique (sf2)	-40.89
Booster (sa)	-5.013
La sortie (s)	-56.60

Tab 4.3 : Estimation de la puissance de chaque paramètre dans une liaison optique.

4.3.2.8 Le rapport signal à bruit

Puisque le bruit varie à tout moment de façon imprédictible, on préfère l'analyser par le biais de sa puissance moyenne. C'est ainsi que l'on introduit la notion du rapport entre la puissance moyenne du signal et celle du bruit.

La méthode de calcul est basée sur une deuxième simulation du système qui a pour objectif d'isoler, soit la contribution du bruit, soit celle du signal utile. La validité de cette méthode impose qu'il n'y ait aucune corrélation entre les signaux utiles et les signaux brouilleurs.

Paramètre de système	Signal utile (dB)	Contribution du bruit (dB)
La sortie (s)	11.31	-46.7

Tab.4.4 : la contribution du signal utile et du bruit de la chaîne optique.

4.4 Conclusion

L'étude de ces deux liaisons nous a permis de tirer des conclusions sur la démarche à mettre en œuvre afin de réaliser des liaisons optiques à longue distance.

En effet, l'atténuation de la fibre doit être compensée périodiquement par des amplificateurs optiques. De plus, la dispersion chromatique doit être minimisée.

Par ailleurs, COMSIS nous a permis de séparer les différents phénomènes mis en jeu et modifier facilement des grandeurs (longueur de la liaison, coefficient de dispersion chromatique,...).

Conclusion générale

Le but de cette étude, mené au sein de l'entreprise publique SONATRACH (Béjaïa), est d'analyser les mécanismes de défaillance et d'estimer la fiabilité des systèmes de transmissions optiques à grandes distances. Afin d'assurer une bonne qualité de transmission et l'interconnexion entre ces différents champs d'intervention.

Cependant, les performances de ces systèmes dépendent de celle des dispositifs utilisés pour la double conversion (optique/électrique/optique), des amplificateurs misent en ligne, de la qualité de la fibre optique monomode et finalement, de la topologie choisie pour réaliser le système complet.

On a commencé ce travail, par une étude théorique sur la fibre optique dont laquelle on a décrit les différents types de la fibre optique, ses caractéristiques physiques, son intégration dans le réseau dorsal de l'entreprise ainsi que les différents équipements constituant ce réseau.

Le second chapitre a été dédié à la description générale d'un système de transmission numérique ainsi que l'utilisation des recommandations du standard SDH pour les niveaux du débit organisés en STM-n. Cette partie est complétée par une étude qui concerne l'aspect technique de la fibre optique (ses caractéristiques, les paramètres limitant sa performance, les techniques de raccordements et les procédures de pose de celui-ci).

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de deux liens optiques différents, en faisant une série de mesures permettant d'évaluer leurs performances. En commençant, par la mesure de la puissance (photométrie) d'une liaison adéquate (RTC-CA), les résultats obtenus sont conformes avec les recommandations d'installation. La seconde partie, est assimilée à des mesures faites avec un réflectomètre afin d'évaluer la défaillance de la liaison grande distance RTC-SBM et de localiser l'endroit exacte de coupure de cette liaison, qui va permettre le dépannage de ce lien. La troisième partie est agrée pour une suite de mesures faites après la réparation de la liaison en ajoutant des joints de raccordement le long du lien.

La liaison conçue présente des inconvénients qui peuvent affecter la propagation du signal le long de la fibre. Ce sont les paramètres dus à ce nombre important de joints (atténuation, perte de raccordement, pertes par épissure,...) qui doivent être limités. A la fin on peut notée, que l'emplacement des boosters en parallèle (en début et à la fin de la ligne de transmission optique) autorisent la faisabilité d'un débit plus important d'informations acheminées.

Conclusion générale

Notre approche de simulation sous COMSIS, nous a permis de décrire les paramètres principaux d'une liaison optique ainsi que celles de ses différents composants. Mais les résultats obtenus ne sont pas encore satisfaisants en ce qui concerne les grandes distances.

En perspective de ce travail, on compte étudier l'augmentation des capacités de transmission pour atteindre les grandes distances, avec l'introduction d'une nouvelle technologie WDM (multiplexage en longueur d'onde). Cette technique va permettre d'augmenter les tendances de transmission par un canal de longueur d'onde avec l'augmentation des débits permettant plus de service avec moins d'équipements.

Annexe A : (Compléments des équipements de transmission SAGEM).

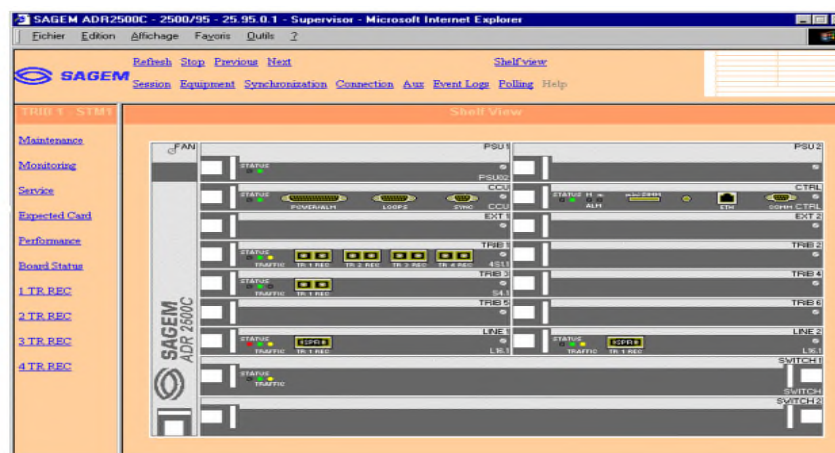
L'annexe A décrit le système de gestion de réseau IONOS NMS. C'est la plate forme de gestion conçue et développée par SAGEM, afin de fournir :

- La configuration des éléments de réseau à distance.
- La collecte en temps réel des alarmes et des performances.
- Un accès centralisé à toutes les fonctions d'analyse d'erreurs et de gestion.
- Les meilleurs niveaux de service automatisés.
- Les extensions du réseau grâce à une architecture modulaire (client-serveur).
- La facilité d'intégration dans les plates formes de gestion existant en disposant d'interface ouvertes.

IONOS NMS est l'interface de gestion des réseaux à base de produit SAGEM :

- Réseau SDH intégrant les équipements de la famille SAGEM (ADR155c, ADR2500).
- Multiplexeur TDM basé sur les équipements FMX.

La figure (A.1) suivante montre un exemple de configuration d'un ADR2500 sous le gestionnaire IONOS NMS :



FigA.1 : Interface de Configuration de l'ADR2500.

Annexe B : (Les amplificateurs optiques)

Le choix d'un amplificateur optique doit se faire en fonction de son rôle. Ils sont destinés à amplifier les signaux optiques sans recourir à des solutions optoélectroniques basée sur la double conversion (optique/électrique/optique). Les amplificateurs peuvent servir d'amplificateur de puissance en émission

(booster) présentés dans la figure (A.2). De préamplificateur en réception (figure (A.3)) ou d'un amplificateur en ligne, figure (A.4).

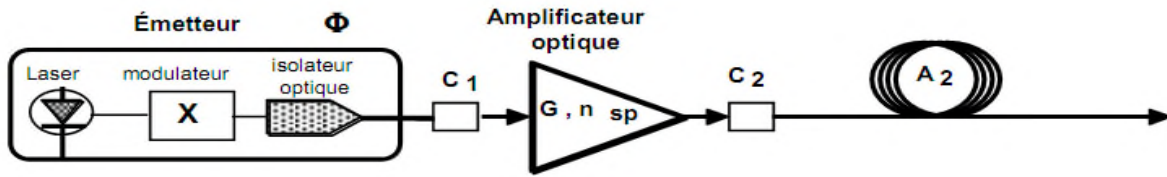


Fig A.2 : Amplificateur de puissance (booster).

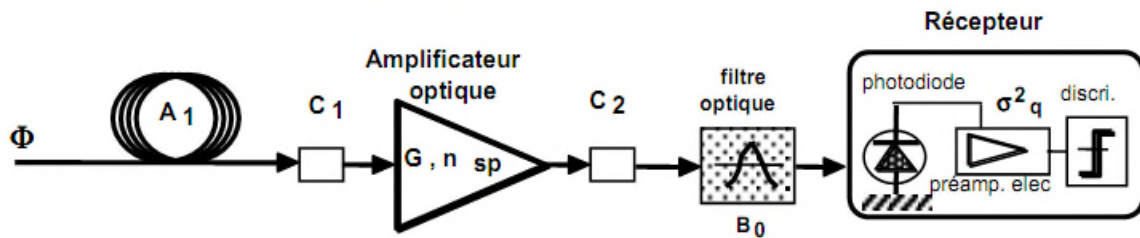


Fig A.3 : préamplificateur en réception .

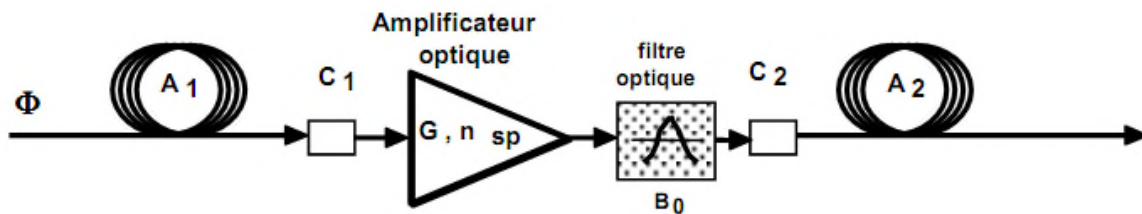


Fig A.4 : Amplificateur en ligne.

Bibliographie

- [1] T. PFEU, S. HOFMANN, O. ADAMCZYK, R. PEVELING, V. HERATH, M. PORRMNNE, and R.NOE, «*Coherent optical communication: Towards real-time systems at 40 Gb/s and Beyond* », Opt. Express, vol. 16, pp. 866–872, 2008.
- [2] P. AGRAWAL « *Fiber-Optic Communications Systems* », Third Edition, 2002 John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Jean –Louis VERNEUIL « *Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s* », Université de limoges, pp. 134-136, novembre 2003.
- [4] BOUDAUD Radhawane - «*Contribution à l'étude des performances et limitation d'une liaison CDMA optique haut débit* », université A.BELKAID, Tlemcen, 2010.
- [5] A. GLAVIEUX, M. JOINDOT, « *Communication numérique* », Masson 1996.
- [6] BENHADJA Ahmed, « *Système de transmission numérique* », ITO, Nov.2007.
- [7] « *Télécommunication Transmission numérique -I-* », Centre de perfectionnement de l'entreprise SONATRACH.
- [8] Z.TOFFANO, « *Composants photoniques et fibre optique* », Ellipses.Technosup, 2001
- [9] F.CERF, « *Composants Optoélectroniques* », Hermes Sciences, 2000.
- [10] K.MERZOUK, « *Etude d'un système bas coût de transmission optique par multiplexage temporel* », Institut Polytechnique de Grenoble, 2008.
- [11] D.KOUADRI, D-M.KADDOUR, « *La transmission par Solitons dans une liaison optique à haut débit* », ITO.
- [12] J.C SIMON, « *Les amplificateurs optiques pour les télécommunications* », 2005.
- [13] TN .Nguyen, « *Etude de composants optiques à base de fibre optiques non linéaires* », université de Rennes, 2008.
- [14] J.MAURY, « *Etude et caractéristiques d'une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique* », université de Limoges, 2003.
- [15] I. JOINDOT, M.JOINDOT, « *Les télécommunications par fibre optique* », Paris, Dunod, 1996.
- [17] I. KESTETOOT, S.RZETELNY, E.JULIEN, «*Nouvelle technologies Réseaux* ».
- [18] F.LUSTEAU, « *Technique de codage sur lien optique ou paire torsadée* », Déc.1999.
- [19] J.BLANC, « *La fibre optique* », Lycée Antoine Bourdelle.

- [20] Guide de poche, « *Meilleures pratiques pour le test des fibres optiques* », FLUKE NETWORKS, 2010.
- [21] Cours B11, « *Transmission des télécommunications* », Partie 2, Chapitre5.
- [22] C.SERVIN, « *Réseau et Télécoms* », Edition Dunod, 2008.
- [23] Guide d'installation et d'utilisation, « *ADR2500c* », SAGEM, Mars 2004.
- [24] Guide d'installation et d'utilisation, « *ADR155c* », SAGEM, Mars 2002.
- [25] Support de stage de formation, « *IONOS NMS* », SAGEM, Fév.2004.
- [26] IPSIS, « *Manuel d'utilisation du logiciel COMSIS* », Version 8.7.3, Mai 2002.
- [27] Article « *Evaluation de l'effet handicap de la PMD sur les transmissions optiques à longues distances et à haut débit* », Communication Science et Technologie (COST), N°9 Janvier2011.
- [28] A.DUPRET, A.FISCHIER, « *cours des télécommunications* », Dpt.Génie Télécom et Réseaux, IUT de Villetaneuse.
- [29] SONATRACH/TRC, « *procédure de pose et d'essais du câble à fibre optique* », Juil.2010.

Liste des tableaux

Tab 1.1 : Comparaison entre les supports de transmission.....	2
Tab1.2 : l'indice de réfraction des différentes substances	4
Tab1.3 : Caractéristiques générales des fibres optiques.....	6
Tab 1.4 : tableau de comparaison entre les sources d'émission.....	7
Tab1.5 : Les artères principales du RTC.....	13
Tab 1.6 : Caractéristiques des cartes optiques de l'ADR2500c.....	15
Tab 2.1: les différents niveaux PDH 1	24
Tab 2.2 : Les niveaux de SDH, SONET et les débits correspondants	25
Tab 3.1 : Résultats de mesures de puissance de la liaison optique RTC-CA.....	38
Tab 3.2 : Configuration test de la liaison optique RTC- CA1.....	42
Tab 3.3 : Tableau des événements de la trace RTC-CA	43
Tab 3.4 : Configuration test de la liaison coupée RTC-SBM	44
Tab 3.5 : Tableau des événements de la trace RTC-SBM (coupée)	45
Tab 3.6 : configuration test de la liaison SBM-RTC 1.....	45
Tab 3.7 : tableau des événements de la trace SBM- RTC	47
Tab 3.8 : Tableau d'événements de la trace RTC-SBM	47
Tab 4.1 : Paramètres de la liaison RTC-CA	53
Tab 4.2 : Configuration des paramètres de la liaison RTC-SBM	60
Tab 4.3 : Estimation de la puissance de chaque paramètre dans une liaison optique	63
Tab 4.4 : La contribution du signal utile ainsi que du bruit de la chaîne optique.....	64

Liste des figures

Fig1.1 : Schéma fibre optique à saut d'indice	3
Fig1.2 : Le principe de guidage de la lumière avec les lois de la réfraction et de la réflexion de Descartes	4
Fig1.3 : Le guidage des rayons dans une fibre optique	5
Fig1.4 : Tracé des rayons optiques	6
Fig1.5 : Réseau de transport par canalisations	8
Fig1.6 : Terminal arrivé Bejaia (TMB)	9
Fig1.7: Le port pétrolier.	9
Fig1.8 : Organigramme du département Maintenance	10
Fig1.9 : Architecture d'un système de <i>commutation Alcatel-Lucent</i>	11
Fig1.10 : Architecture de la téléphonie	11
Fig1.11 : Les différents postes téléphon 1	11
Fig1.12 : Architecture du projet GG1(SCADA)	13
Fig1.13 : Equipements de transmissions fibre optique SAGEM.....	14
Fig 1.14 : L'organigramme des interconnexions entre les sites du RTC	14
Fig1.15: L'ADR2500c avec les différentes liaisons optiques	15
Fig1.16 : Equipement ADR155.....	16
Fig2.1 : Principe de la transmission numérique	20
Fig2.2 : Principe du multiplexage fréquentiel	20
Fig2.3 : Partage de fréquence par différentes voies	20
Fig 2.4 : Principe du multiplexage temporel	21
Fig2.5 : Schéma de principe du multiplexage WDM dans les communications par fibre optique	22
Fig II.6 : Structure d'une trame	22
Fig2.7 : Trame MIC et information de signalisation.....	23
Fig2.8 : Architecture de la hiérarchie plésiochrone (PDH).....	24
Fig2.9 : Structure d'une trame de base STM-1(SDH)	25
Fig II.9 : conteneur et conteneur virtuel	26
Fig2.10 : Structure du multiplexage synchrone	27
Fig2.11: L'atténuation spectrale d'une fibre en silice.....	29
Fig2.12 : Courbe de dispersion de quelques fibres optiques.....	30
Fig2.13: les défauts de connexion lors de l'épissage des deux fibres	31
Fig2.14 : La structure libre (a), la structure serrée (b) d'un câble à fibre optique	32
Fig2.16 : Les types de connecteur, (a) connecteur SC, (b) conncteurs ST	32
Fig2.15 : L'embout optique.....	32
Fig2.17 : Les types de connectique (PC et APC).....	33
Fig2.18 : Exemple de la traversées d'Oued	35
Fig2.19 : La traversée d'une voie Ferre.	35
Fig3.1 : Principe de test de perte de puissance	38
Fig 3.2 : schéma bloc de la liaison point à point mono-longueur d'onde	39

Fig3.2 : Forme temporelle des impulsions de lumière après propagation dans la fibre optique	39
Fig 3.3 : Principe de rétrodiffusion dans l'OTDR	40
Fig 3.4 : Principe de l'OTDR	41
Fig 3.5 : Trace OTDR de la liaison RTC-CA	43
Fig 3.6 : Trace de la liaison optique coupée RTC-SBM	44
Fig 3.7 : Trace OTDR de la liaison rétablie (SBM-RTC).....	46
Fig 3.8 : trace OTDR de la liaison rétablie (RTC-SBM)	46
Fig4.1 : La bibliothèque de COMSIS	49
Fig 4.2 : Editeur de schémas blocs	51
Fig 4.3 : Mode alphanumérique.	51
Fig 4.4 : Le menu d'analyses COMSIS	51
Fig4.5 : Un laser système	51
Fig 4.6 : Puissance optique en fonction du courant de laser (analyse statique)	51
Fig 4.7 : schéma bloc de la liaison RTC-CA simulée	53
Fig 4.8 : La forme des impulsions du circuit de commande du laser système.....	54
Fig4.9 : Puissance optique d'entrée/ sortie de la fibre reliant RTC au CA	54
Fig 4.10 : La puissance optique en fonction du débit de la liaison	55
Fig4.11 : Diagramme de l'œil de la fibre monomode	56
Fig 4.12 : La DSP de la fibre monomode sous COMSIS.....	56
Fig4.13 : Estimation du TEB avec la méthode de Monte-Carlo	57
Fig 4.14 : Synoptique de la liaison point à point mono-longueur d'onde traitée sous COMSIS	57
Fig4.15 : Courbe de gain de l'amplificateur optique.....	58
Fig4.16 : Effet de la puissance de pompe seule sur le gain de l'amplificateur	58
Fig 4.17 : Effet de la puissance P_{in} sur le gain de l'amplificateur	59
Fig4.18 : densité spectrale de puissance de bruit par amplification de l'émission spontanée(ASE).....	59
Fig4.19 : Forme temporelle des signaux optiques en sortie de chaque composant.....	60
Fig 4.20 : Diagramme de l'œil de la liaison RTC-SBM sous COMSIS	61
Fig 4.21 : Présentation de l'effet du bruit d'amplitude sur une séquence et le diagramme de l'œil correspondant	61
Fig4.22 : La densité spectrale des signaux de sortie (fibre et amplificateur).....	62
Fig 4.23 : la probabilité d'erreur par rapport à la longueur de la section.....	63