

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ DE BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT D'AUTOMATIQUE, TÉLÉCOMMUNICATION et
D'ÉLECTRONIQUE



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du Diplôme MASTER en TELECOMMUNICATION

Thème

**Implantation de la fibre optique dans les réseaux mobiles
GSM & UMTS.**

Présenté par :
M^r SALHI Sofiane

Soutenu le : 21/06/2015

Devant Le Jury Composé De :

Président :	<i>M^r KHIREDDINE</i> Abdelkarim	Université de Bejaia.
Promoteur :	<i>M^r BERRAH</i> Smail	Université de Bejaia.
Examineur :	<i>M^r MAKHMOUKH</i> Abdenour	Université de Bejaia.

Promotion 2015

Remerciements

Avant tout, je remercie le BON DIEU de m'avoir aidé à réaliser ce présent travail.

J'adresse tout particulièrement à Mr : BERRAH Smail, de l'Université De Bejaia, mes sincères reconnaissances et mes remerciements les plus vifs, de m'avoir dirigé et guidé tout le long de ce travail. Ses critiques constructives, remarques et précieux conseils ont contribué à faire progresser mes recherches.

J'exprime ma gratitude à Mr : KHIREDDINE Abdelkarim, de l'Université Bejaia, qui a bien voulu me faire l'honneur de présider le jury.

Je tiens à exprimer également mes remerciements à Mr : MAKHMOUKH Abdenour, de l'Université de Bejaia, d'avoir bien voulu accepter d'être membre de jury.

Mes respectueux remerciements vont à Mr : DERRAA Karim, Senior Manager à Optimum Telecom Algerie d'avoir accepter de m'encadrer pendant mon stage, et à ses collaborateurs : Mr :MAKHLOUFI Mouhamed , Mr :MADJBER Foudil et Mme :DRIR Nadia .

Enfin, j'adresse mes remerciements les plus distinguées à ma famille et mes amis qui m'ont soutenu et toute personne qui m'a aidé de près ou de loin à concrétiser ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A Mon Cher Père et Ma Chère Mère.

A Ma Petite Soeur : Cylia.

A Mes Frères : Nadjib, Djaafar et Houssam.

A Mes Chères Tantes : Nadjet et Ferrodja.

A Mon Cher Ami d'enfance : AFFOUN Halim qui m'a accompagné pendant mon séjour à Alger.

A Monsieur : BENNOUR Karim qui m'a soutenu pendant mon stage à DJEZZY.

A Madame : HADJERIOUA Hamida qui m'a encouragé et aussi pour ses précieux conseils.

A Tous Mes Amis Qui Me Sont Chers .

A Tous Mes Collègues De La Promo TELECOM 2015.

Sofiane SALHI .

Table des matières

0.1	Introduction Générale	2
1	Systèmes de télécommunications faisceau hertzien	3
1.1	Un bref historique des télécommunications	3
1.2	Faisceau hertzien	4
1.2.1	Introduction	4
1.2.2	Principe d'une liaison hertzienne	4
	Mode de propagation :	4
1.2.3	Modulation	4
	Modulation d'amplitude AM	5
	Modulation de fréquence FM	5
	Modulation de phase PM	5
1.2.4	Le spectre radioélectrique	5
1.2.5	Les antennes	6
	Propagation :	6
1.3	Les avantages du faisceau hertzien	8
1.4	Limite du faisceau hertzien	8
2	Étude et présentation de la fibre optique	9
2.1	Introduction	9
2.2	Fibre optique	9
2.2.1	Description	9
2.2.2	Principe de fonctionnement	10
2.2.3	Les différents types de fibre optique	11
	Fibre multimode à saut d'indice :	11
	Fibre multimode à gradient d'indice :	11
	Fibre monomode :	12
2.2.4	Caractérisation de la fibre	12
	Atténuation :	12
	Dispersion :	13
	La dispersion chromatique :	13
	Dispersion modale (ou intermodale) :	14
	Effets de la dispersion modale et chromatique :	15
	Bande passante	16
2.3	Liaison Fibre Optique	17
2.3.1	Introduction	17

2.3.2	Module d'émission	17
	Diode Electroluminescentes (LED, Light Emission Diode)	18
	Lasers	18
	Absorption et émission d'un photon	19
2.3.3	Modulation des Données	20
	Modulation directe	20
	Modulation externe	20
2.3.4	Module de Réception	21
	Le photodétecteur	21
	Caractéristiques du photodétecteur	21
	Photodiode PIN :	22
2.3.5	Avantage d'un système de transmission optique	23
2.3.6	Application de la fibre optique	23
3	Faisceau hertzien dans les réseaux (GSM & UMTS) et simulation d'une liaison faisceau hertzien avec PATHLOSS	24
3.1	Les Réseaux Hertiens	24
3.2	Introduction	24
3.2.1	Réseau Mobile de deuxième génération GSM	25
	Principales caractéristiques du GSM :	25
	Le faisceau hertzien dans le GSM	25
	Avantages et inconvénients du GSM :	26
3.2.2	Réseau 2.5G "GPRS"	26
3.2.3	Réseau mobile de troisième génération UMTS	27
	Le Node B	27
	Le RNC (Radio Network Controller)	27
	Avantages et Inconvénients de L'UMTS :	28
3.3	Implémentation d'une liaison Faisceau Hertzien en utilisant le logiciel PATHLOSS	29
3.3.1	Introduction à PATHLOSS	29
3.3.2	Création d'une liaison (A42T003-A42X066)	29
3.3.3	Etude du Profil de la liaison	33
3.3.4	Etude de la Distance	34
3.3.5	Etude de l'entourage	35
3.3.6	Bilan de liaison	36
4	Étude pratique Fibre Optique et Simulation d'une liaison avec OptiSystem	37
4.1	Etude Pratique de la Fibre Optique	37
4.1.1	Réaliser une soudure fibre optique	37
	Sécurité	37
	Préparer la fibre	37
	Dénuder	37
	Nettoyage	37
	Soudure	38
	Evaluation de la qualité de la soudure	39

4.1.2	Rétreint de la protection d'épissure	40
4.1.3	Bilan de liaison	40
4.1.4	Test Reflectrometrique	41
4.1.5	Effectuer des mesures avec OTDR	42
	Manipulation	42
	Résultats avec OTDR	43
	Cas de mesure sur une Distance de 10 Km	45
	Cas de mesure sur une longue Distance de 80 Km	45
	Commentaires	46
4.2	Simulation (Dimensionnement D'une Liaison Optique Monomode)	46
4.2.1	Présentation du logiciel OptiSystem	46
4.2.2	Introduction à la simulation	46
4.2.3	L'interface de travail sur OptiSystem	47
4.2.4	Manipuler sous optisystem	47
	Les composantes de la librairie	48
4.2.5	Dimensionnement d'une liaison optique Monomode	48
	Les Paramètres	48
4.2.6	Simulation	50
	Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 3.767 km	50
	Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 60 km	52
	Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 80 km	54
	Liaison Monomode avec une fibre SMF de Longueur = 125 km	56
	Liaison Monomode NZ-DSF, DCF, Longueur = 125 km	57
4.2.7	Résultats et Discussions	60
4.3	La fibre optique dans les réseaux mobiles	61
4.3.1	Dans le réseau GSM	61
4.3.2	Dans le réseau UMTS	61
4.3.3	Utilisation des architectures réseaux existantes	61
4.3.4	Migration vers le tout IP	62
	Rappels sur les couches basses du Modèle OSI	62

Liste des tableaux

- 1.1 Spectre ondes électromagnétiques. 5
- 3.1 Avantages et inconvénients du **GSM**. 26
- 3.2 Avantages et inconvénients de **PUMTS**. 28
- 4.1 Test Reflectrometrique(TEST FINAL). 41
- 4.2 Résultats de mesures effectués sur 2 fibres avec les deux fenetres de transmission 1310nm 1550nm. 42

Table des figures

1.1	Aspect global d'une transmission FH.	4
1.2	Ellipsoïde de Fresnel	6
1.3	Ellipsoïde de Fresnel	7
2.1	Fibre Optique	10
2.2	Réflexion interne total dans une fibre optique	10
2.3	la fibre multimode à saut d'indice	11
2.4	la fibre multimode à gradient d'indice	11
2.5	Fibre monomode	12
2.6	Atténuation spectrale d'une fibre en silice pour les télécommunications	12
2.7	Réflexion du signal à l'intérieur de la fibre	14
2.8	Dispersion modale	15
2.9	Dispersion chromatique	16
2.10	Synoptique général d'un système de communication par fibre optique.	17
2.11	LED caractéristiques spectrales	18
2.12	caractéristiques de la diode laser.	19
2.13	Schéma des processus (a)d'émission spontanée , (b) d'absorption et (c) d'émission stimulée	20
2.14	Structure d'une Photodiode PIN.	22
3.1	La partie BSS de l'architecture du réseau GSM .	25
3.2	Architecture réseau GPRS .	26
3.3	Réseau d'accès UTRAN UMTS	27
3.4	La liaison à créer.	29
3.5	Le site A42X066.	30
3.6	Le site A42T003.	31
3.7	Liaison entre les deux sites à savoir A42T003 ET A42X066.	32
3.8	Le profil de la liaison	33
3.9	Distance.	34
3.10	Entourage.	35
3.11	Bilan de liaison.	36
4.1	Protection d'épissure « Smoooves »	38
4.2	Matériel requis : pince à dénuder.	38
4.3	Fibre à dénuder.	39
4.4	Manipulation de clivage	39

4.5	Evaluation de la qualité de soudure.	40
4.6	Evaluation de la protection d'épissure.	40
4.7	Le Long de la liaison.	41
4.8	Mesure de la liaison Fibre 1(1310 nm) Avec OTDR.	43
4.9	Mesure de la liaison Fibre 1(1550 nm) Avec OTDR.	43
4.10	Mesure de la liaison Fibre 2(1310 nm) Avec OTDR.	44
4.11	Mesure de la liaison Fibre 2(1550 nm) Avec OTDR.	44
4.12	Mesure de la liaison (1550 nm) Avec OTDR.	45
4.13	Mesure de la liaison (1550 nm) Avec OTDR.	45
4.14	L'interface graphique de l'utilisateur	47
4.15	Manipuler avec les différents composants de librairie Optisystem.	47
4.16	La fenêtre de la librairie	48
4.17	Bloc d'émission	48
4.18	Les Propriétés du modulateur (Mach-Zehnder) MMZ	49
4.19	Les propriétés de la fibre.	49
4.20	Les propriétés de la Photodiode PIN.	50
4.21	Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 3.767 km	50
4.22	Diagramme de l'oeil pour une Fibre SMF à 3.767 km	51
4.23	Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 60 km	52
4.24	Diagramme de l'oeil pour une Fibre SMF à 60 km	53
4.25	Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 80 km	54
4.26	Diagramme de l'oeil pour une Fibre SMF à 80 km	55
4.27	Diagramme de l'oeil pour une fibre SMF à 125 Km.	56
4.28	Liaison Optique avec une Fibre de compensation DCF à 3.04 km	58
4.29	Diagramme de l'oeil de la Liaison Optique avec une Fibre de compensation DCF à 3.04 km	59
4.30	Diagramme de l'oeil de la Liaison Optique avec une Fibre de compensation DCF à 2.5 km	60

0.1 Introduction Générale

De nos jours, le domaine des télécommunications a connu un essor considérable vis à vis des services déployés aux utilisateurs, et ceci grâce aux moyens et aux supports de transmissions mise en oeuvre dans les liaisons et qui permettent de couvrir des zones pratiquement difficiles d'y accéder, à savoir le faisceau hertzien qui est une liaison non filaire qui permet la transmission des données via des ondes radioélectriques grâce à des antennes directives. Ces émissions sont spécifiquement sensibles aux obstacles et masquages (relief, végétation et bâtiment.....), des efforts ont été déployés pour trouver d'autres supports de transmissions qui permettent l'envoi des données volumineux sur de longues distances avec moins de pertes et plus de sécurité, c'est l'ère de la fibre optique, grâce à ces avantages qu'elle présente, la fibre optique est devenue le support privilégié pour interconnexion entre différents équipements.

Vu l'utilité de transmettre les données, le principe est d'utiliser un support de transmission, un ensemble de questions se posent donc :

- Pourquoi transmettre les données par faisceau hertzien ou par fibre optique ?
- Quelle sont les différents avantages que le faisceau hertzien et la fibre optique représentent pour la transmission des données ?

Les réseaux mobiles, se sont basés au début sur Les faisceaux hertziens à tous les niveaux, afin d'améliorer la qualité de service, la fibre optique a connue sa première introduction dans les réseaux mobiles, dans ce mémoire, le but est de donner un aperçu sur deux supports de transmission c'est-à-dire : le faisceau hertzien et la fibre optique ainsi leur combinaison dans les réseaux mobiles GSM & UMTS.

Ce présent travail est organisé en cinq chapitres :

- Dans la première partie on'a introduit le principe de système de transmission à base du faisceau hertzien.
- Le chapitre 2 décrit d'une manière détaillée la liaison à base de la fibre optique, dans ce cadre, les différents types de fibres ainsi le module émetteur et le récepteur sont présentés.
- La partie suivante du travail a été dédiée à la simulation d'une liaison faisceau hertzien avec PATHLOSS.
- Dans le quatrième chapitre, nous nous sommes intéressés en premier lieu à des mesures pratiques sur la réflectométrie optique (OTDR) pour les deux fenêtres 1310 nm et 1550 nm, dans la seconde partie de ce chapitre, une simulation d'une chaîne de télécommunication optique a été réalisée sous OptiSystem.
- La dernière partie du travail est consacrée à l'implantation de la fibre optique dans les réseaux mobiles.

Chapitre 1

Systemes de télécommunications faisceau hertzien

1.1 Un bref historique des télécommunications

La transmission à distance de l'information a toujours été une préoccupation humaine importante.

Dans l'antiquité, des messagers parcouraient à pied la distance entre l'émetteur et le récepteur du message. A cette époque, l'information ne se déplaçait pas à la vitesse de la lumière et on ne connaissait pas les autoroutes de l'information.

Plus tard, l'homme a utilisé des liaisons optiques. D'abord rudimentaires (signaux de fumée, feu pour avertir d'un danger), elles ont été améliorées plus tard : le télégraphe de Claude Chappe permettait de transmettre des messages en utilisant des signaux optiques à l'aide de sémaphores.

En 1832, Samuel Morse inventa le télégraphe. C'est le premier système de transmission utilisant des signaux électriques se propageant sur une ligne.

Ce système était très intéressant mais il nécessitait un support physique (une ligne électrique) entre l'émetteur et le récepteur.

A la fin du 19eme siècle, les physiciens ont mis en évidence les ondes électromagnétiques (Maxwell, Hertz). Guglielmo Marconi, un physicien italien réalise en 1895 la première transmission radio (on parlait alors de TSF : Télégraphie sans fil) sur une distance de 1,5 km.

1.2 Faisceau hertzien

1.2.1 Introduction

Les faisceaux hertziens désignent les liaisons hertziennes point à point entre deux stations équipées d'antennes directives. C'est un système de transmission aujourd'hui pratiquement numériques, il utilise le support d'ondes radioélectriques.

1.2.2 Principe d'une liaison hertzienne

Une liaison hertzienne permet de relier deux sites géographiquement fixes distants, c'est une alternative à un réseau filaire.

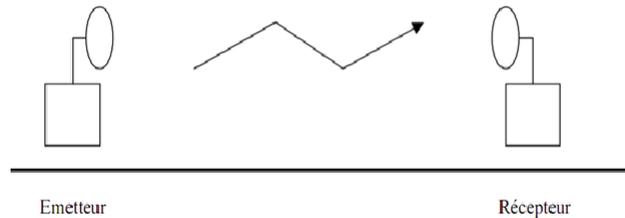


FIGURE 1.1 – Aspect global d'une transmission FH.

Mode de propagation :

En espace libre, les ondes radioélectriques qui se propagent entre les antennes, doivent être dégagées de tout obstacles, c'est une liaison à visibilité directe :

- Les antennes sont installées sur des points hauts, tours ou pylônes.
- Les liaisons sont effectuées en un ou plusieurs bonds.

1.2.3 Modulation

Étant donné que les signaux à transmettre sont des signaux numériques, les ondes radio sont des ondes sinusoïdales, les modulations possibles sont des modulations : d'amplitude, de fréquence et de phase.

L'opération de modulation a pour objet de traiter le signal, lui fournir à chaque niveau du signal un état d'amplitude, de fréquence ou de phase d'une onde porteuse sinusoïdale, l'encombrement spectral autour d'une fréquence porteuse après modulation dépend du débit d'informations à transmettre et du type de modulation choisi.

Modulation d'amplitude AM

Le principe de la modulation AM, consiste à faire varier l'amplitude d'un signal de fréquence élevée(signal porteur) en fonction du signal basse fréquence(celui qui contient l'information à transmettre).

Modulation de fréquence FM

En modulation de fréquence, le signal modulant (l'information) est porté par une modification de la fréquence de porteuse.

Modulation de phase PM

La modulation de phase (PM) est très identique à la modulation de fréquence (FM). tandis que, dans la modulation de phase, la tension instantanée du signal modulant fait varier la phase du signal modulé.

1.2.4 Le spectre radioélectrique

Le spectre radioélectrique est organisé pour :

- Transmettre le maximum d'information.
- Avoir une bande la plus étroite possible.
- Obtenir des brouillages acceptables.

[1] [2]

Appellation	Longueur d'onde	Fréquence
Rayon gamma	<10 pm	> 30 EHz
Rayon X	10 pm - 10 nm	30 EHz - 30 PHz
Ultraviolet	10 nm - 390 nm	30 PHz - 750 THz
Visible	390 nm - 750 nm	770 THz - 400 THz
Infrarouge	750 nm - 0.1 mm	400 THz - 3 THz
Térahertz / submillimétrique	0.1 mm - 1 m	3 THz - 300 GHz
Micro-Ondes	1 mm - 1 m	300 GHz - 300 MHz
Ondes radio	1 m - 100.000 Km	300 MHz - 3 Hz

TABLE 1.1 – Spectre ondes électromagnétiques.

1.2.5 Les antennes

L'antenne a un rôle très important dans les liaisons hertziennes : elle est comme l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation. Une antenne est un dispositif réciproque :

- **En émission** : l'antenne reçoit un courant et une tension, elle génère un champ électrique et un champ magnétique.
- **En réception** : l'antenne reçoit un champ électrique et un champ magnétique, elle génère une tension et un courant.

Les caractéristiques d'une antenne sont les mêmes si l'antenne est utilisée en émission ou en réception.

Propagation :

Les ondes radioélectriques des faisceaux hertziens se propagent d'une antenne à l'autre. Il faut que les antennes soient en visibilité directe et que le premier Ellipsoïde de Fresnel soit dégagé.

Ellipsoïde de Fresnel :

On'a un ellipsoïde comme le montre la Figure 1.2, ayant E et R comme sources et un cercle de rayon A,B. Celui-ci est maximum lorsque le point A se trouve à mi-chemin entre E et R.

Soient E un émetteur et R un récepteur, et considérons deux différents trajets possibles pour une onde, soit en direct de E à R, soit avec réflexion en un point de l'ellipsoïde. Avec un signal ayant une longueur d'onde λ

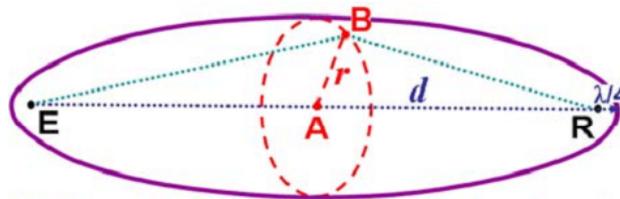


FIGURE 1.2 – Ellipsoïde de Fresnel

On peut déterminer une dimension (A,B) telle que la différence de trajet soit égale à $\frac{\lambda}{2}$. Cette dimension correspond à un ellipsoïde de Fresnel d'ordre 1.

On peut déterminer une autre dimension de (A,B) pour avoir une différence de trajet de $\frac{2*\lambda}{2}$ est un ellipsoïde d'ordre 2.

Reprenons un autre cas de figure :

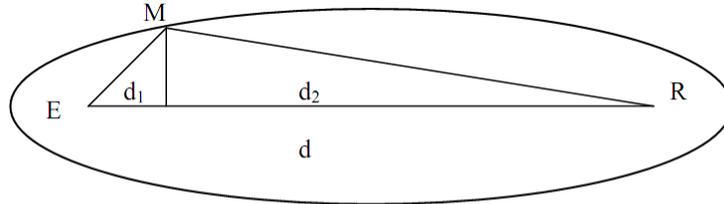


FIGURE 1.3 – Ellipsoïde de Fresnel

La plus grande partie de l'énergie issue de l'émetteur est contenue à l'intérieur du premier ellipsoïde, définie par :

$$EM + MR = d * \frac{\lambda}{2} \quad (1.1)$$

Plus la fréquence est faible, plus l'ellipsoïde sera grand.

1.3 Les avantages du faisceau hertzien

- Moins affectés par les catastrophes naturelles.
- Les liaisons entre les montagnes et par delà les rivières moins chères qu'avec les autres technologies.
- Un seul point d'installation et de maintenance.
- Ils sont déployés rapidement.

1.4 Limite du faisceau hertzien

- Les ondes sont sensibles à l'activité électromagnétique naturelle (orages, activité solaire).
- Les micro-ondes utilisées dans les faisceaux hertziens sont bloquées par les obstacles, les émetteurs et récepteurs doivent donc être en vue directe l'un de l'autre. Plus la distance est importante, plus ils doivent se situer hauts.
- Allocation de la bande passante est extrêmement limitée.
- Effets atmosphériques peuvent être importants voire couper la communication : pluie ou neige dense.
- Ne garantit pas la confidentialité de transmission entre l'émetteur et le récepteur.
- Lorsqu'une onde se propage dans l'atmosphère, elle subit 4 formes de perturbation :
 - **Réflexion** : une onde change de direction en fonction du milieu rencontré (l'onde rebondit).
 - **Réfraction** : changement de direction et de vitesse, en fonction de la densité du milieu traversé.
 - **Diffraction** : Lorsqu'une onde rencontre l'angle d'un obstacle (bâtiment ...) elle peut suivre un côté de l'angle. La diffraction diminue avec la fréquence.
 - **Diffusion** : Phénomène complexe qui est d'autant plus important que la fréquence est élevée. L'onde peut changer complètement de nature et se retrouver propagée dans toutes les directions.

Chapitre 2

Étude et présentation de la fibre optique

2.1 Introduction

La possibilité de transporter de la lumière le long de fines fibres de verre fut exploitée au cours de la première moitié du XXe siècle. En 1927, Baird et Hansell tentèrent de mettre au point un dispositif pour le transport d'images de télévision à l'aide de fibres. Quelques années plus tard, soit en 1930, Heinrich Lamm réussit à transmettre l'image d'un filament de lampe grâce à un assemblage rudimentaire de fibres de quartz.

La première application fructueuse de la fibre optique eut lieu au début des années 1950, lorsque le fibroscope flexible fut inventé par VANHeel et Hopkins. Cet appareil permettait la transmission d'une image le long de fibres en verre.

Les télécommunications par fibre optique ne furent pas possibles avant l'invention du laser en 1960. Le laser offrit en effet une occasion de transmettre un signal avec assez de puissance sur une grande distance. Dans sa publication de 1964, Charles Kao, décrivit un système de communication à longue distance à faible perte en mettant à profit l'utilisation conjointe du laser et de la fibre optique. Peu après, soit en 1966, il démontra expérimentalement, avec la collaboration de Georges Hockman, qu'il était possible de transporter de l'information sur une grande distance sous forme de lumière grâce à la fibre optique.

En 1970, trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works de New York, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, produisirent la première fibre optique avec des pertes suffisamment faibles pour être utilisée dans les réseaux de télécommunications. [3]

2.2 Fibre optique

2.2.1 Description

La fibre optique est le support de propagation de la lumière, il s'agit d'un guide d'onde diélectrique à géométrie cylindrique. Une fibre est constituée par deux couches de matériaux

transparents à base de silice appelées le coeur, d'indice de réfraction n_1 , et la gaine optique qui entoure le coeur, d'indice n_2 . L'indice n_1 est légèrement supérieur à n_2 ce qui garantit la réalisation de la condition de la réflexion totale sur la gaine d'un rayon se propageant dans le coeur.

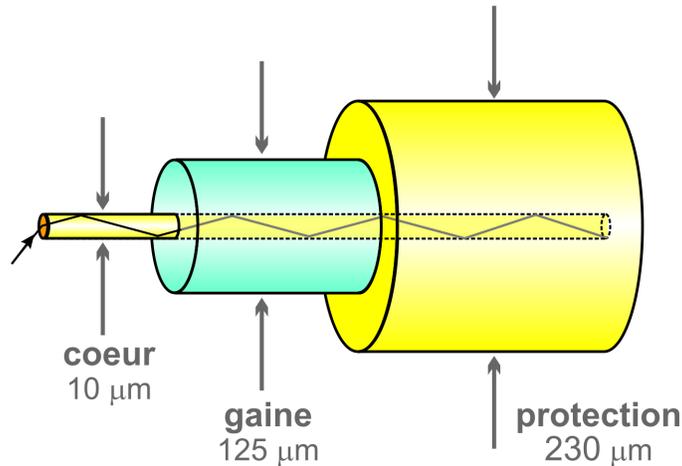


FIGURE 2.1 – Fibre Optique

2.2.2 Principe de fonctionnement

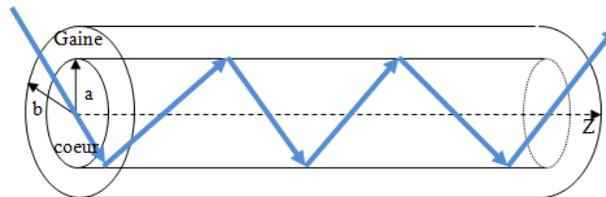


FIGURE 2.2 – Réflexion interne total dans une fibre optique

Lorsqu'un faisceau lumineux entre dans une fibre optique avec un angle adéquat, il subira de multiples réflexions totales à l'intérieur. Ce faisceau se propage à travers la fibre jusqu'à l'autre extrémité en empruntant un parcours en zigzag. [3]

2.2.3 Les différents types de fibre optique

Il existe deux types de fibre : monomode et multimode. Les fibres multimodes à leur tour peuvent être divisées en :

Fibre multimode à saut d'indice : Le coeur et la gaine présentent des indices de réfraction différents. Le rayon lumineux introduit à l'entrée de la fibre va atteindre l'autre extrémité en empruntant des parcours différents ce qui se traduit par des temps de propagation différents et donc un étalement du signal transmis.

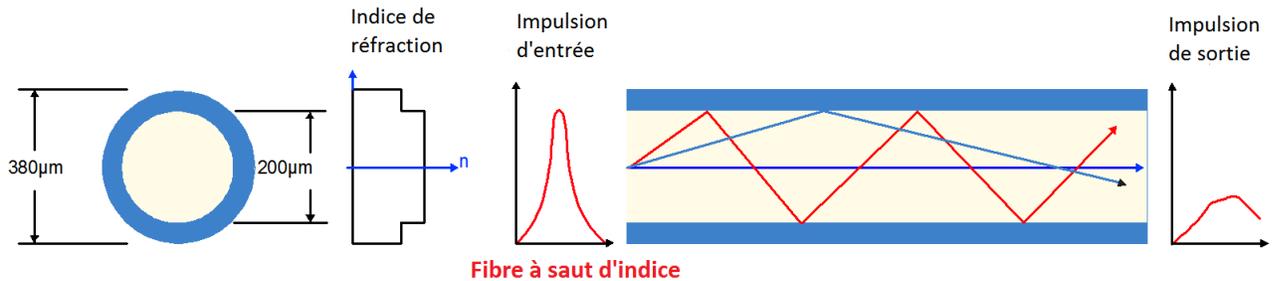


FIGURE 2.3 – la fibre multimode à saut d'indice

Fibre multimode à gradient d'indice : La fibre optique à gradient d'indice est une fibre dont le profil du coeur varie graduellement. Là aussi les rayons lumineux vont emprunter des parcours différents, mais un choix judicieux du profil d'indice du coeur permet de tendre vers des temps de parcours voisins et donc réduire l'étalement du signal

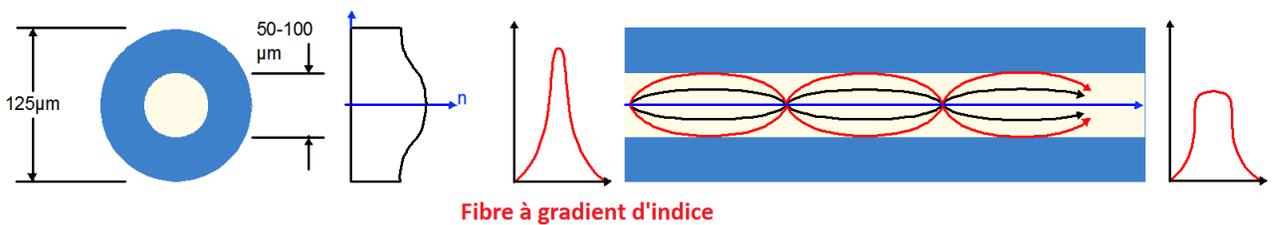


FIGURE 2.4 – la fibre multimode à gradient d'indice

Fibre monomode :

Dans une fibre monomode, on obtient un seul mode grâce à la très faible dimension du coeur (diamètre de 10 μm et moins). Ainsi le chemin de propagation est pratiquement directe. Par conséquent, la dispersion modale devient quasiment nulle.

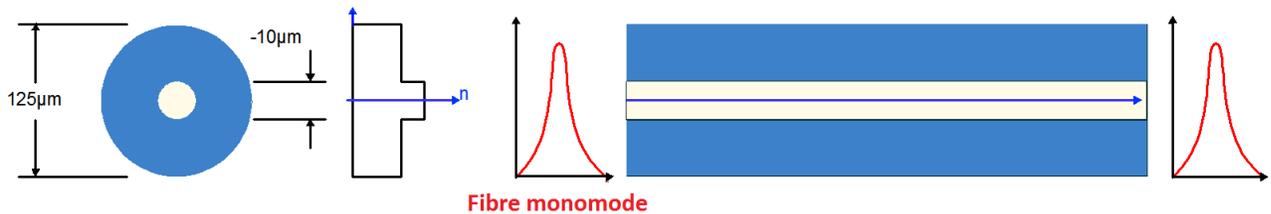


FIGURE 2.5 – Fibre monomode

2.2.4 Caractérisation de la fibre**Atténuation :**

L'atténuation est l'affaiblissement du signal, elle est due à plusieurs mécanismes. D'abord, l'absorption intrinsèque du matériau constitutif provoque une augmentation très rapide des pertes aux basses longueurs d'onde. La présence d'impuretés, de plus les irrégularités involontaires de la structure provoquent des pertes par diffusion (diffusion Rayleigh). Sans oublier les pertes dues aux conditions d'utilisation de la fibre. [3]

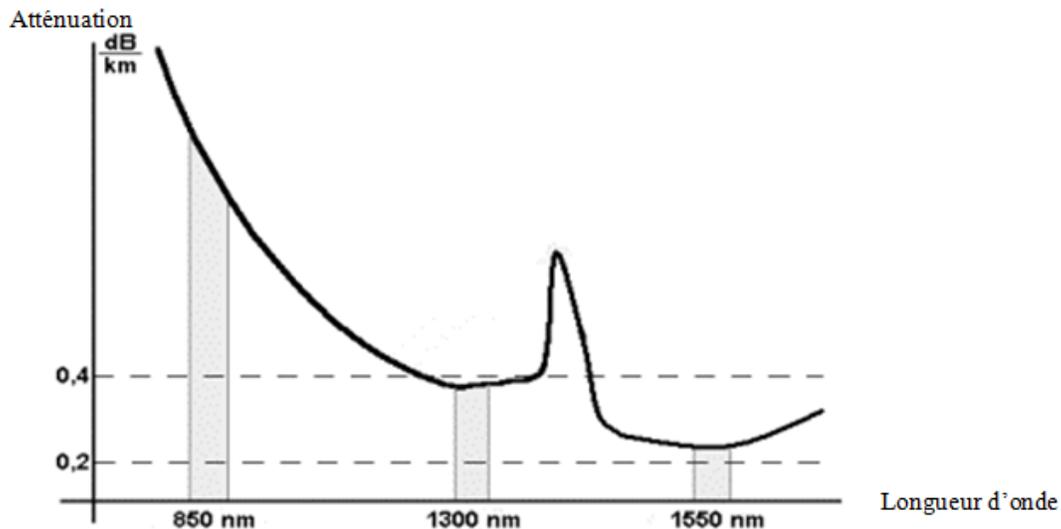


FIGURE 2.6 – Atténuation spectrale d'une fibre en silice pour les télécommunications

Dispersion :

La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal et cause un élargissement des impulsions au cours de leur propagation dans la fibre optique, Il existe deux types de dispersion : [3] [5]

La dispersion chromatique : La dispersion chromatique est la combinaison de deux types de dispersion : la dispersion du matériau et la dispersion du guide d'onde.

- **Dispersion du matériau :** est occasionnée par la dépendance de l'indice de réfraction de la longueur d'onde.
- **Dispersion du guide :** est particulièrement importante pour les fibres monomodes. Elle est causée par le fait que la répartition de la lumière du mode fondamental sur le coeur et la gaine dépend de la longueur d'onde.

Le mode fondamental a une constante de propagation définie par :

$$\beta = \frac{2 * \pi}{\lambda} * n \quad (2.1)$$

Le temps de propagation est :

$$\tau = \frac{L}{C} n = L * \frac{\partial \beta}{\partial \omega} \quad (2.2)$$

avec

$$\omega = 2 * \pi * \frac{C}{\lambda} \quad (2.3)$$

La dispersion chromatique traduit les variations de τ selon λ :

$$D = \frac{1}{L} * \frac{\partial \tau}{\partial \lambda} \quad (2.4)$$

La dispersion a deux composantes : la dispersion due au guide et aux variations d'indice , et la dispersion due à la longueur d'onde.

On'a :

$$\frac{\partial \tau}{\partial \omega} = L * \frac{\partial^2 \beta}{\partial^2 \omega} \quad (2.5)$$

On écrit alors :

$$\delta \tau = \beta'' * L * \delta \omega \quad (2.6)$$

Avec :

- L : La distance parcourue.
- β : Constante de propagation.
- C : Célérité.

- ω : La longueur spectrale.
- τ : Temps de propagation.

Dispersion modale (ou intermodale) : Dans une fibre optique multimode se propagent plusieurs modes, chacun suivant une trajectoire différente, L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartie entre les différents modes qui se propage dans le coeur. Expliquons la dispersion modale :

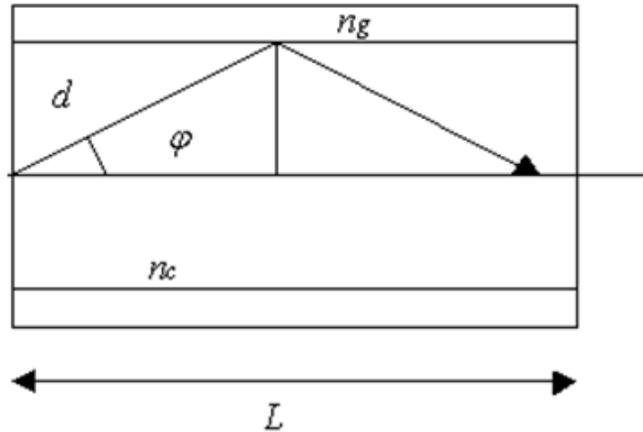


FIGURE 2.7 – Réflexion du signal à l'intérieur de la fibre

$$d = \frac{L}{\cos\phi} \quad (2.7)$$

$$\tau = \frac{nc}{C} * \frac{L}{\cos\phi} \quad (2.8)$$

Avec :

- C : Vitesse de la lumière.
- τ : Temps de propagation.

Le plus court chemin est sur l'axe optique :

$$\tau_{min} = \frac{nc}{C} * \frac{L}{\cos\phi} = \frac{nc * L}{C} \quad (2.9)$$

Le plus long est réalisé pour l'angle limite au-delà duquel il n'y a plus réflexion :

$$\tau_{max} = \frac{nc}{C} * \frac{L}{\cos\phi} \quad (2.10)$$

ou :

$$\cos\phi = \frac{ng}{nc}$$

Avec :

- n_g : L'indice de la gaine.
- n_c : L'indice du coeur.

$$\delta\tau = \tau_{max} - \tau_{min} \quad (2.11)$$

$$\delta\tau = \frac{nc^2 * L}{C * n_g} - \frac{nc * L}{C} * \left(\frac{nc}{n_g} - 1\right) \quad (2.12)$$

Ainsi

$$\delta\tau = \frac{nc * L}{C} * \left(\frac{nc - n_g}{n_g}\right) = \frac{\delta n * L}{C} * \frac{nc}{n_g} \quad (2.13)$$

$$\delta\tau = \frac{\delta n * L}{C} \quad (2.14)$$

Avec

$$\frac{nc}{n_g} = 1$$

car

$$nc - n_g \ll nc * n_g$$

Effets de la dispersion modale et chromatique : Les effets de la dispersion modale et chromatique sur la propagation de l'impulsion optique le long de la fibre, illustrée par les figures (2.7) et (2.8) et mettant en évidence les comportements des composantes de l'impulsion déterminent la distorsion de celle-ci en réception.

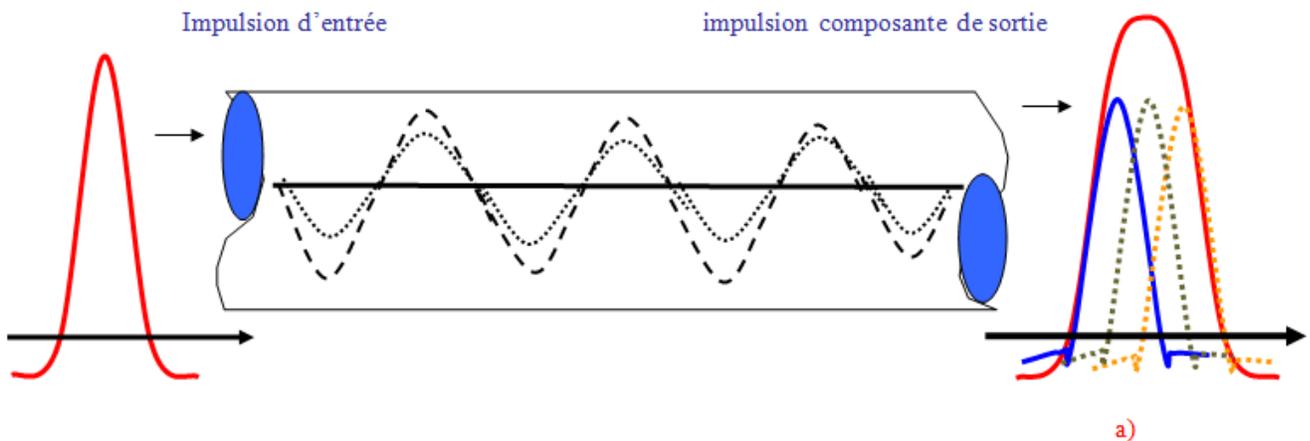


FIGURE 2.8 – Dispersion modale

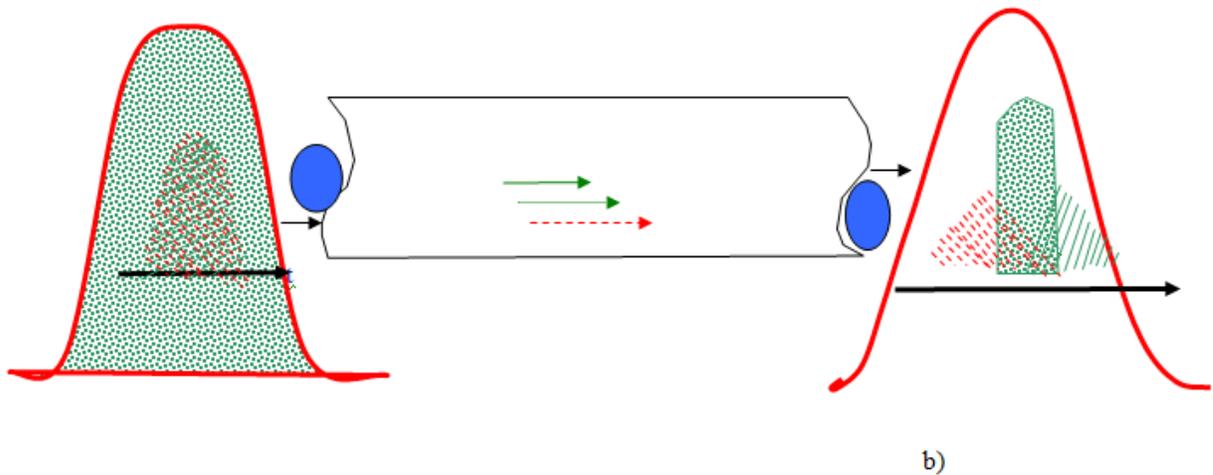


FIGURE 2.9 – Dispersion chromatique

- a) L'impulsion en réception est la somme des impulsions composantes qui se propagent en temps différents (parcours différents).
- b) Propagation avec des vitesses différentes, des différentes composantes du signal de longueurs d'ondes diverses.

Bande passante

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

- **Fibre monomode** : La dispersion modale est quasi nulle. Comme on ne casse pas le faisceau lumineux la bande passante est donc augmentée, environ 100 Ghz/km ou de 1000 Mbits/s.
- **Fibre à saut d'indice** : La capacité de transmission de ce type de fibre est d'environ 100 Mbits/s. Cette valeur correspond également à la bande passante.
- **Fibre à gradient d'indice** : La bande passante de ce mode de fonctionnement est de 500 Mbits/s. Cette capacité est plus élevée que celle du saut d'indice car la distance à parcourir des rayons est plus faible. **[10]**

2.3 Liaison Fibre Optique

2.3.1 Introduction

Dans la majorité des systèmes de communications, la liaison optique se base sur trois blocs fondamentaux pour effectuer le transfert de l'information : l'élément d'émission, le canal de communication et le récepteur. L'information qui doit être transmise est convertie au départ d'un signal électrique en un signal optique grâce à un émetteur, par la suite le produit de la conversion est injecté dans le canal de communication qui est la fibre optique. A la fin, le signal subira le protocole inverse c'est-à-dire la conversion inverse à savoir optique-électrique grâce à un récepteur. [13],[6]

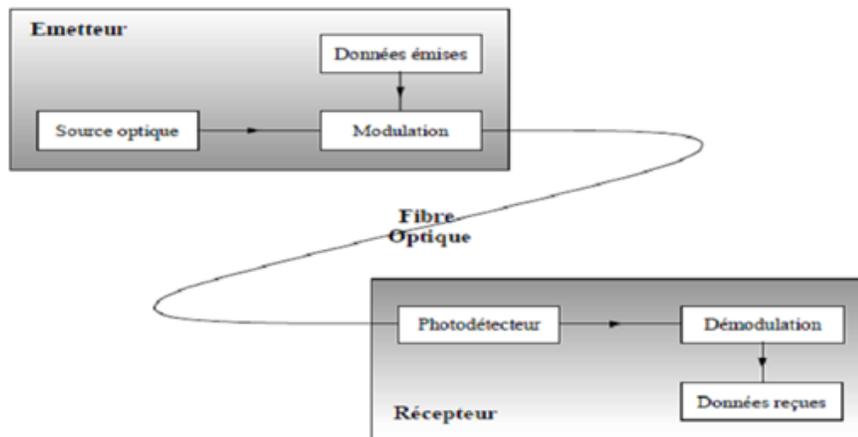


FIGURE 2.10 – Synoptique général d'un système de communication par fibre optique.

2.3.2 Module d'émission

Les systèmes de transmission par fibre optique nécessitent des émetteurs optiques devant remplir certaines conditions : [3]

- Faible encombrement.
- Fonctionnement à température ambiante.
- Couverture spectrale importante, spectre d'émission étroit.
- Puissance d'émission importante.

- Grande durée de vie.

Le choix des composants d'émission de lumière qui répondent le mieux à ces critères sont des composants à semi-conducteurs et se regroupent en deux catégories : les diodes électroluminescentes et les diodes lasers. [3]

Diode Electroluminescentes (LED, Light Emission Diode)

La LED ou DEL, est un élément émetteur, qui permet la réalisation direct de l'émission de photons par recombinaison des porteurs dans une hétérojonction polarisée en direct.

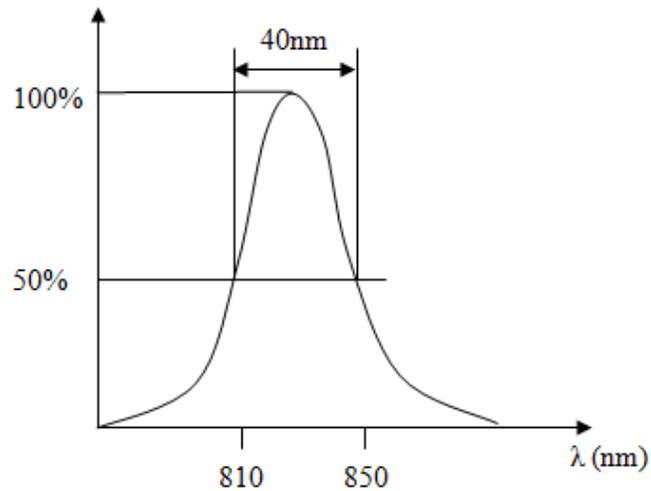


FIGURE 2.11 – LED caractéristiques spectrales

Lasers

LASER est l'abréviation de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation définit comme étant une structure qui permet de générer de la lumière monochromatique à travers le processus de l'émission stimulée.

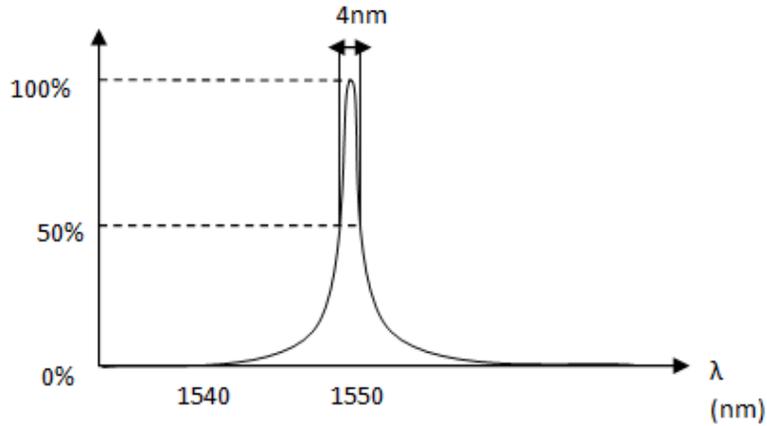


FIGURE 2.12 – caractéristiques de la diode laser.

Absorption et émission d'un photon

L'émission spontanée : De sa propre initiative, l'électron peut tomber dans un état moins énergétique non occupé (il passe d'un état ionisé à un état lié), en émettant un photon spontané.

L'absorption : En absorbant un photon, l'électron peut être amené dans un état plus énergétique. Il passe de l'état lié (électron et trou combinés) à l'état ionisé (électron dans la bande de conduction et trou dans la bande de valence).

L'émission stimulée : Frappé par un photon, l'électron peut retomber dans l'état le moins énergétique (état lié) en émettant un photon stimulé dont le rayonnement correspond à la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation et la même directivité spatiale que le photon incident. On parle alors de lumière cohérente. Avec l'émission stimulée s'introduit la notion de gain ou d'amplification du rayonnement incident puisque, à partir d'un photon, on en obtient deux.

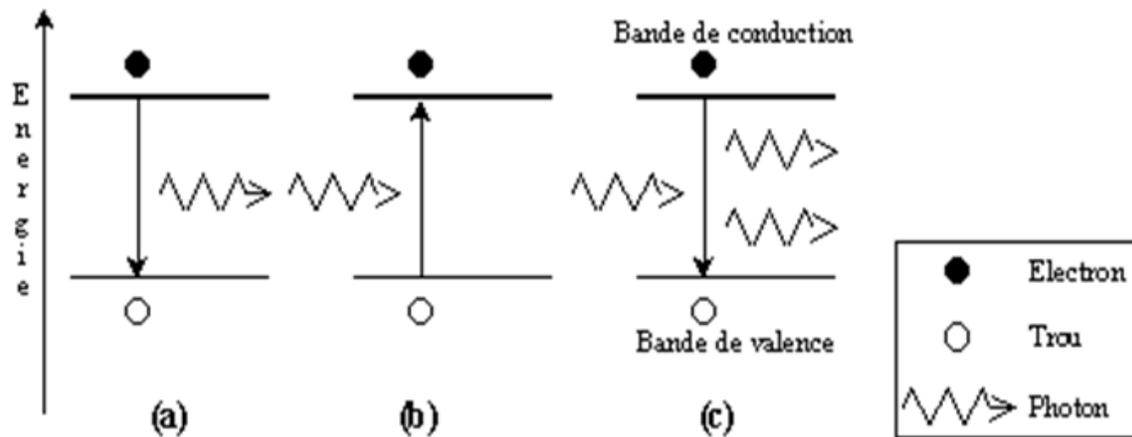


FIGURE 2.13 – Schéma des processus (a) d'émission spontanée, (b) d'absorption et (c) d'émission stimulée.

2.3.3 Modulation des Données

Pour permettre la transmission des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les véhiculer sur le signal à envoyer. On parle de la modulation qui est une particularité importante de tout système de transmissions, il y a deux moyens possibles pour effectuer cette tâche.

Modulation directe

C'est la source optique qui réalise cette opération de modulation et même que la conversion électrique-optique, La modulation du courant qui traverse un laser à semi-conducteur entraîne directement la modulation en intensité de la lumière émise, cette dernière (modulation directe) présente un inconvénient, lorsqu'on module en amplitude, le courant d'injection d'un laser est accompagné d'une modulation de fréquence désigné par un terme chirf.[13]

Modulation externe

Le principe de cette modulation consiste à inscrire les données électriques sur un signal optique continu, cela est obtenu en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser et non pas le courant injecté dans le laser, de cette façon les inconvénients engendrés par la modulation directe ne sont plus présents dans le signal optique.[13] [3]

2.3.4 Module de Réception

A la réception le signal lumineux doit être récupéré en effectuant une conversion optique-électrique, cette dernière étape dans la chaîne de transmission est importante, sa tâche est d'interpréter le signal envoyé par la fibre optique en signal électrique, nous prenons comme cas d'étude dans cette partie la photodiode PIN.

Si l'écriture des données sur un signal lumineux se fait de plusieurs méthodes, donc sa récupération en sortie, elle aussi, peut être faite de différentes façons dont le photodétecteur reste le composant indispensable pour toute réception (conversion optique électrique). Ce module est composé de plusieurs blocs fonctionnels. [3] [13]

Le photodétecteur

Le photodétecteur est le dispositif qui permet la conversion du signal lumineux en un signal électrique.

Pour remplir correctement ces fonctions un photodétecteur est caractérisé par une sensibilité importante pour la longueur d'onde utilisée. [6]

Caractéristiques du photodétecteur

Un photodétecteur est caractérisé par :

- le rendement quantique η : représente le rapport du nombre de paires de porteurs « photons créés et collectés » au nombre de photons incidents. Il ne peut être supérieur à 1 et croît avec l'épaisseur de la zone absorbante. Il est souvent compris entre 0,5 et 0,9 et pour une photodiode idéale il est égal à 1.

$$\eta = \frac{\text{Nombre de photons créés}}{\text{Nombre de photons incidents}} \quad (2.15)$$

- La sensibilité (S) de la photodiode exprimée en ampères par watt et définissant le rapport du photocourant I_{ph} au flux énergétique (ou puissance optique P_{opt}) reçu(e).
- Ces grandeurs sont reliées par les relations suivantes, avec e représentant la charge élémentaire de l'électron, h la constante de Planck, λ la longueur d'onde et c la vitesse de la lumière :

$$\eta = \frac{I_{ph}}{\frac{e}{h \cdot \nu} P_{opt}} \quad (2.16)$$

Et

$$S(\lambda) = \frac{I_{ph}}{P_{opt}} = \eta * \frac{e * \lambda}{h * c} \quad (2.17)$$

Dans ce qui suit on va insister sur le type de photo-détecteur couramment utilisé : la photodiode PIN.

Photodiode PIN : Réaliser à partir de trois de couches semi-conducteur, les couche P+ et N+ fortement dopées et entre lesquels il existe une couche de résistivité importante. Les diodes PIN sont en générale les plus utilisées vu qu'elles sont moins couteuse et facile à manipuler. [13]

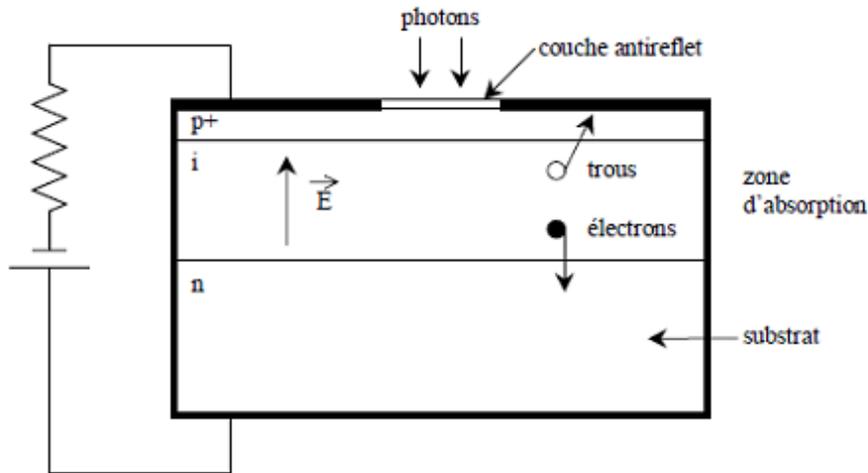


FIGURE 2.14 – Structure d'une Photodiode PIN.

Une telle photodiode est caractérisée par des paramètres dépendant du matériau et de la structure qui sont la sensibilité, le courant d'obscurité, le temps de réponse...

Dans la jonction de la photodiode PIN s'établit un courant inverse, d'expression :

$$I_{ph} = I_p + I_{obs}. \quad (2.18)$$

Avec I_{obs} courant d'obscurité, qui circule dans la jonction en l'absence d'éclairement. L'expression du courant total dans la photodiode est donnée par l'équation suivante :

On'a :

$$I_p = S * P_{opt} \quad (2.19)$$

On injectons la relation (2.16) dans (2.15) :

$$I_{ph} = S * P_{opt} + I_{obs} \quad (2.20)$$

2.3.5 Avantage d'un système de transmission optique

- Très grande bande passante.
- Très faible atténuation.
- Insensibilité aux parasites électromagnétiques.
- Très faible encombrement.
- Faible Volume.
- Grande légèreté.
- Très bonne qualité de transmission.

2.3.6 Application de la fibre optique

- L'application de la fibre est plus considérable du côté télécoms, pour la construction des réseaux à grande échelle à l'exemple du câble transatlantique.
- De nos jours, les stations de travail sont connectées entre elles à l'aide de réseaux utilisant la fibre optique car son utilisation permet des débits d'informations plus rapides et une plus grande sûreté lors des transmissions.
- En téléphonie, les câbles coaxiaux sont remplacés peu à peu par des fibres optiques en effet, elles sont plus économiques sur des longues et courtes distances et le nombre de composants nécessaires est moins important.
- Son utilisation est particulièrement intéressante pour les militaires car elle leur apporte certains avantages.

Chapitre 3

Faisceau hertzien dans les réseaux (GSM & UMTS) et simulation d'une liaison faisceau hertzien avec PATHLOSS

3.1 Les Réseaux Hertziens

3.2 Introduction

Les réseaux hertziens concernent l'ensemble des systèmes de communication qui utilisent les voies hertziennes. Ces réseaux se présentent quasiment toujours sous la forme de réseaux cellulaires, c'est-à-dire d'un ensemble de zones géographiques appelées cellules, arrosées par des antennes situées au centre. Les réseaux mobiles utilisent ces réseaux hertziens cellulaires en permettant le passage d'une cellule à une autre sans couper la communication.

La mobilité est devenue en quelques années une fonction primordiale réclamée par les utilisateurs, d'abord pour la téléphonie puis pour la transmission de données. La mobilité lors d'une communication téléphonique est totalement banalisée depuis le GSM. En revanche, les connexions à haut débit ne le sont que depuis l'arrivée de l'UMTS haut débit, avec le HSDPA, et des connexions Wi-Fi et WiMAX.

Les équipements terminaux qui utilisent la voie hertzienne pour communiquer et qui peuvent se déplacer forment des réseaux mobiles. [11]

3.2.1 Réseau Mobile de deuxième génération GSM

Global System for Mobile communication (GSM) est la norme de téléphonie mobile de deuxième génération développée à partir de 1990. Cette technologie est considérée comme la première technologie de téléphonie numérique sans fil.

Principales caractéristiques du GSM :

La norme **GSM** prévoit que la téléphonie mobile par **GSM** occupe deux bandes de fréquences aux alentours de 900 MHz :

- La bande de fréquence 890-915 MHz, pour les communications montantes (du mobile vers la station de base).
- La bande de fréquence 935-960 MHz, pour les communications descendantes (de la station de base vers le mobile).

Vu que le nombre d'utilisateurs augment, il est recommander d'apporter la technologie **GSM** vers une bande ouverte à plus de haute fréquences c'est le système **DCS-1800**, dont les caractéristiques sont identiques à ceux du **GSM** en terme de services.

Les bandes de fréquences utilisées :

- Les communications montantes se faisant alors entre 1710-1785 MHz.
- Les communications descendantes se faisant entre 1805-1880 MHz.

Le faisceau hertzien dans le GSM

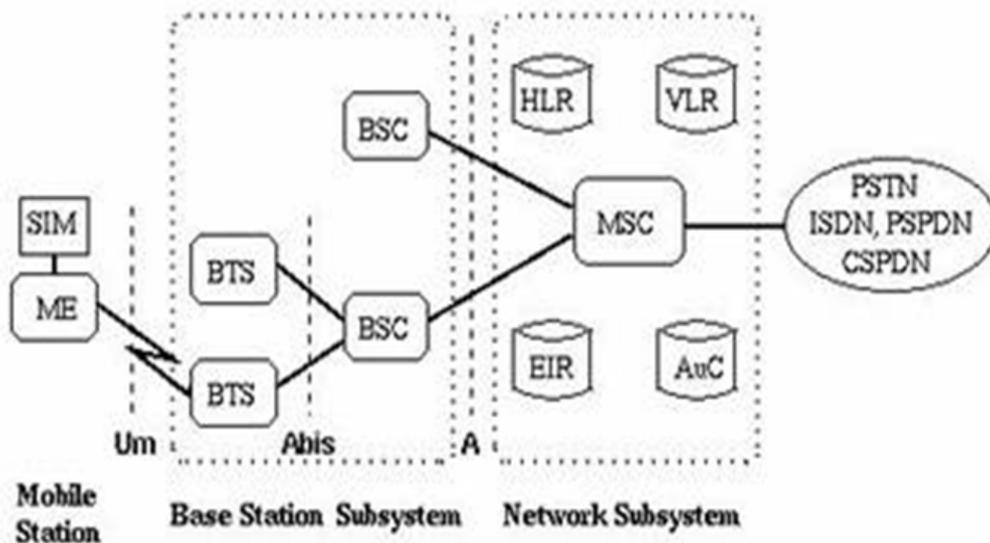


FIGURE 3.1 – La partie BSS de l'architecture du réseau **GSM**.

Chaque BSC contrôle un certain nombre de BTS; il constitue un noeud de communications vers et en provenance de ces BTS. La connexion entre les BTS et le BSC est une liaison à haut débit (2 Mbit/s) qui peut être réalisée par un câble (ligne louée) ou par un faisceau hertzien consistant en une transmission par ondes radio.

Avantages et inconvénients du GSM :

Avantages	Inconvénients
Meilleure qualité d'écoute	Débit : envoi de données lentes
Taille réduite	
Confidentialité des communications	

TABLE 3.1 – Avantages et inconvénients du GSM.

3.2.2 Réseau 2.5G "GPRS"

La deuxième génération et demie est une extension du réseau GSM pour y incorporer les services paquets et constitue le premier pas vers la troisième génération UMTS.

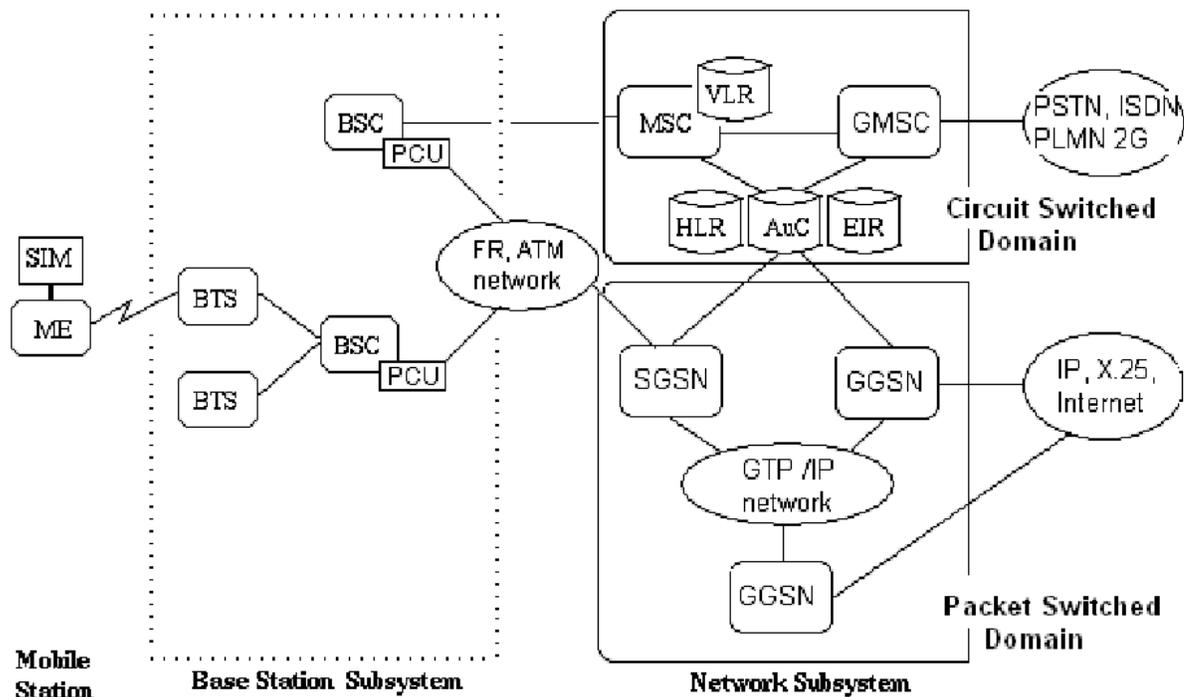


FIGURE 3.2 – Architecture réseau GPRS.

3.2.3 Réseau mobile de troisième génération UMTS

Les systèmes de télécommunications mobiles de troisième génération fournissent toute une gamme de services de télécommunications aux utilisateurs fixes et mobiles, situés dans une variété d'environnements autour de la bande de fréquences des 2 GHz.

Ce Réseau mobile de troisième génération se présente comme un concurrent des infrastructures de deuxième génération déjà déployées. La troisième génération améliore la précédente par une qualité du service rendu.

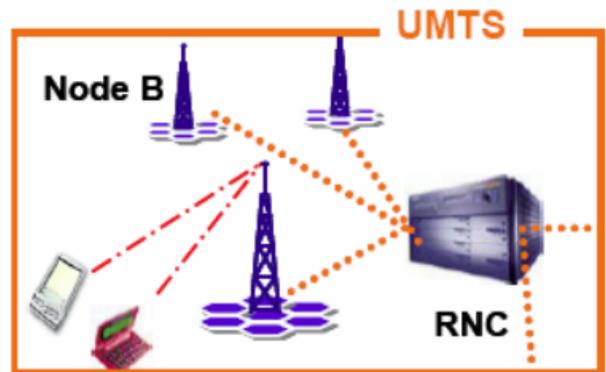


FIGURE 3.3 – Réseau d'accès UTRAN UMTS

Le Node B

Le Node B est une antenne réparties géographiquement sur l'ensemble du territoire, les Nodes B sont au réseau UMTS ce que les BTS sont au réseau GSM. Ils gèrent la couche physique de l'interface radio. Ils communiquent directement avec le mobile sous l'interface dénommée Uu.

Le RNC (Radio Network Controller)

Le RNC est un contrôleur de Node B. Le RNC est encore ici l'équivalent du BCS dans le réseau GSM.

Avantages et Inconvénients de L'UMTS :

Avantages	Inconvénients
Accès Internet haut-débit depuis un équipement mobile ou un ordinateur	Coût
Visiophonie	Changement des équipements usagers
Télévision	

TABLE 3.2 – Avantages et inconvénients de l'UMTS.

3.3 Implémentation d'une liaison Faisceau Hertzien en utilisant le logiciel PATHLOSS

3.3.1 Introduction à PATHLOSS

PATHLOSS inclut tous les effets dus aux pertes associées à la distance et l'interaction de l'onde se propageant avec les objets dans l'environnement entre les antennes. Et permet de calculer le bilan de liaison.

Dans cette partie pratique on nous veut créer une nouvelle liaison utilisant le logiciel PATHLOSS en suivant les étapes suivantes :

3.3.2 Création d'une liaison (A42T003-A42X066)

Nous avons pris comme exemple deux sites (A42T003-A42X066) comme le montre la figure ci dessous :

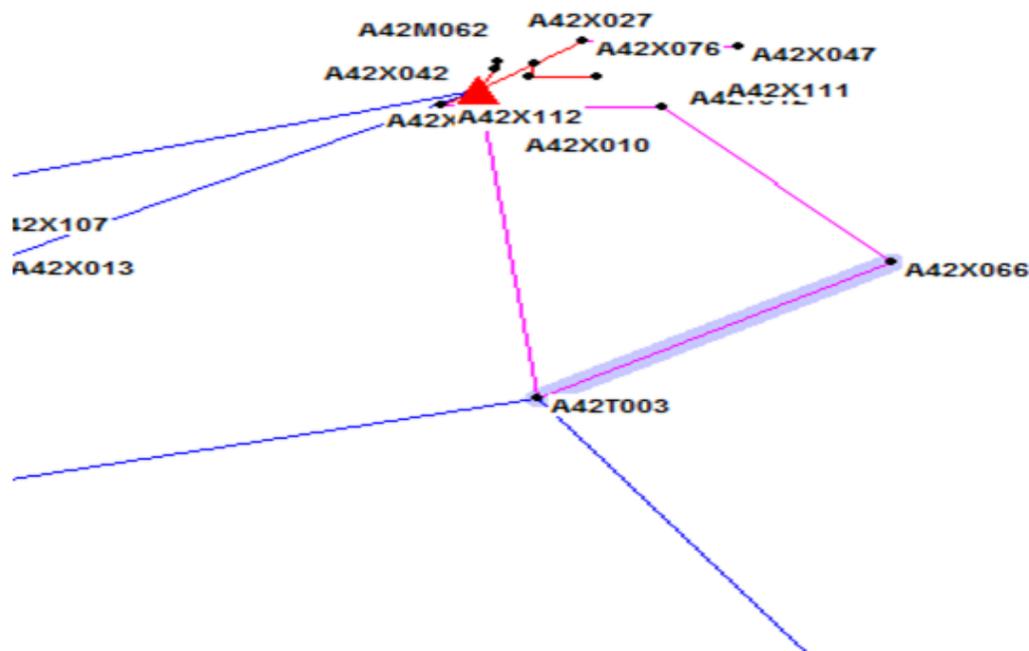


FIGURE 3.4 – La liaison à créer.

3.3. IMPLÉMENTATION D'UNE LIAISON FAISCEAU HERTZIEN EN UTILISANT LE LOGICIEL PATHLOSS



FIGURE 3.5 – Le site A42X066.

Le site A42X066 qui est implanté à tipaza

3.3. IMPLÉMENTATION D'UNE LIAISON FAISCEAU HERTZIEN EN UTILISANT LE LOGICIEL PATHLOSS



FIGURE 3.6 – Le site A42T003.

Le site A42T003 qui est implanté à tipaza

3.3. IMPLÉMENTATION D'UNE LIAISON FAISCEAU HERTZIEN EN UTILISANT LE LOGICIEL PATHLOSS

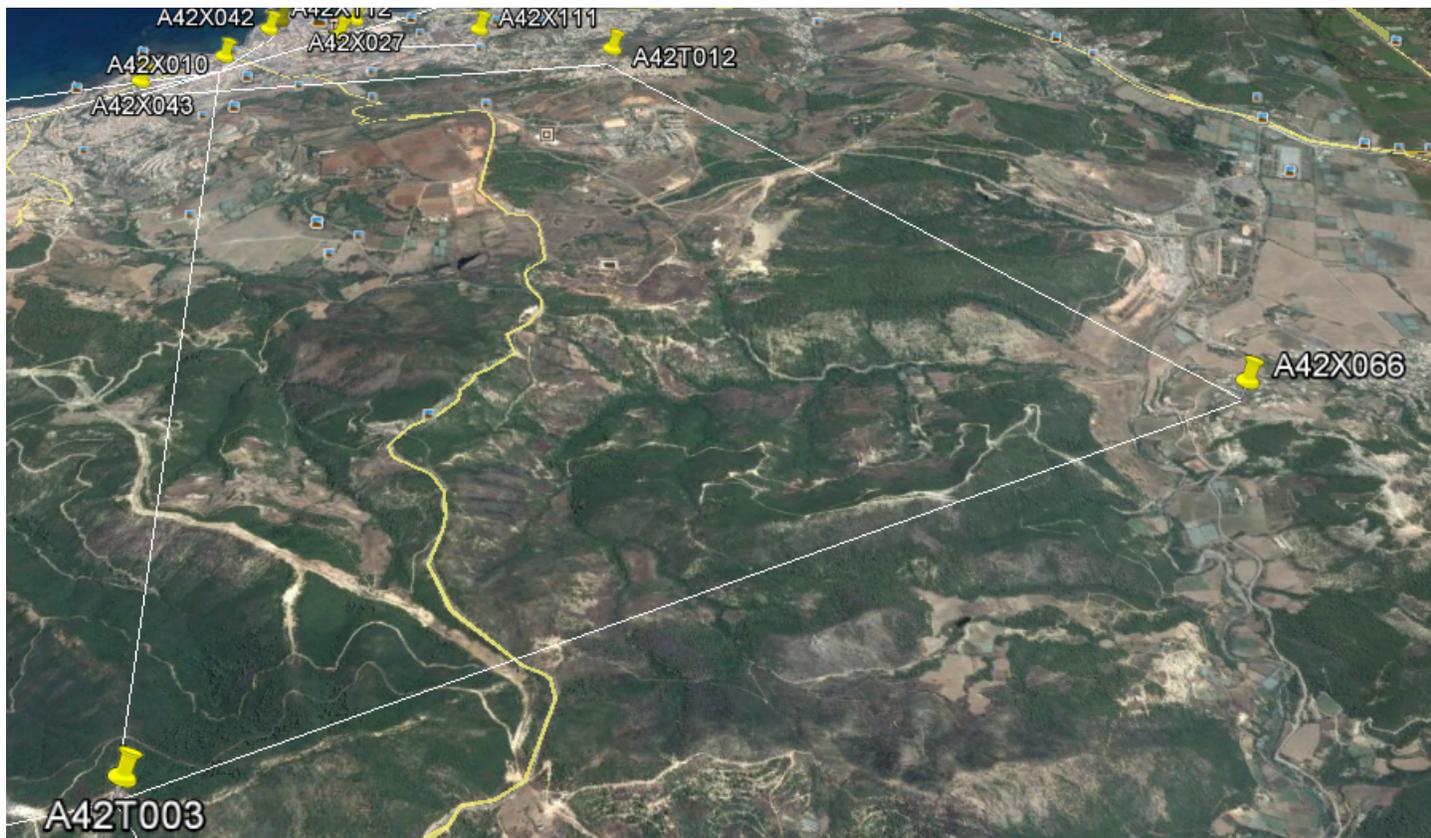


FIGURE 3.7 – Liaison entre les deux sites à savoir A42T003 ET A42X066.

La liaison directe entre les deux sites A42T003 & AT42X066 qui est implantée à tipaza

3.3.3 Etude du Profil de la liaison

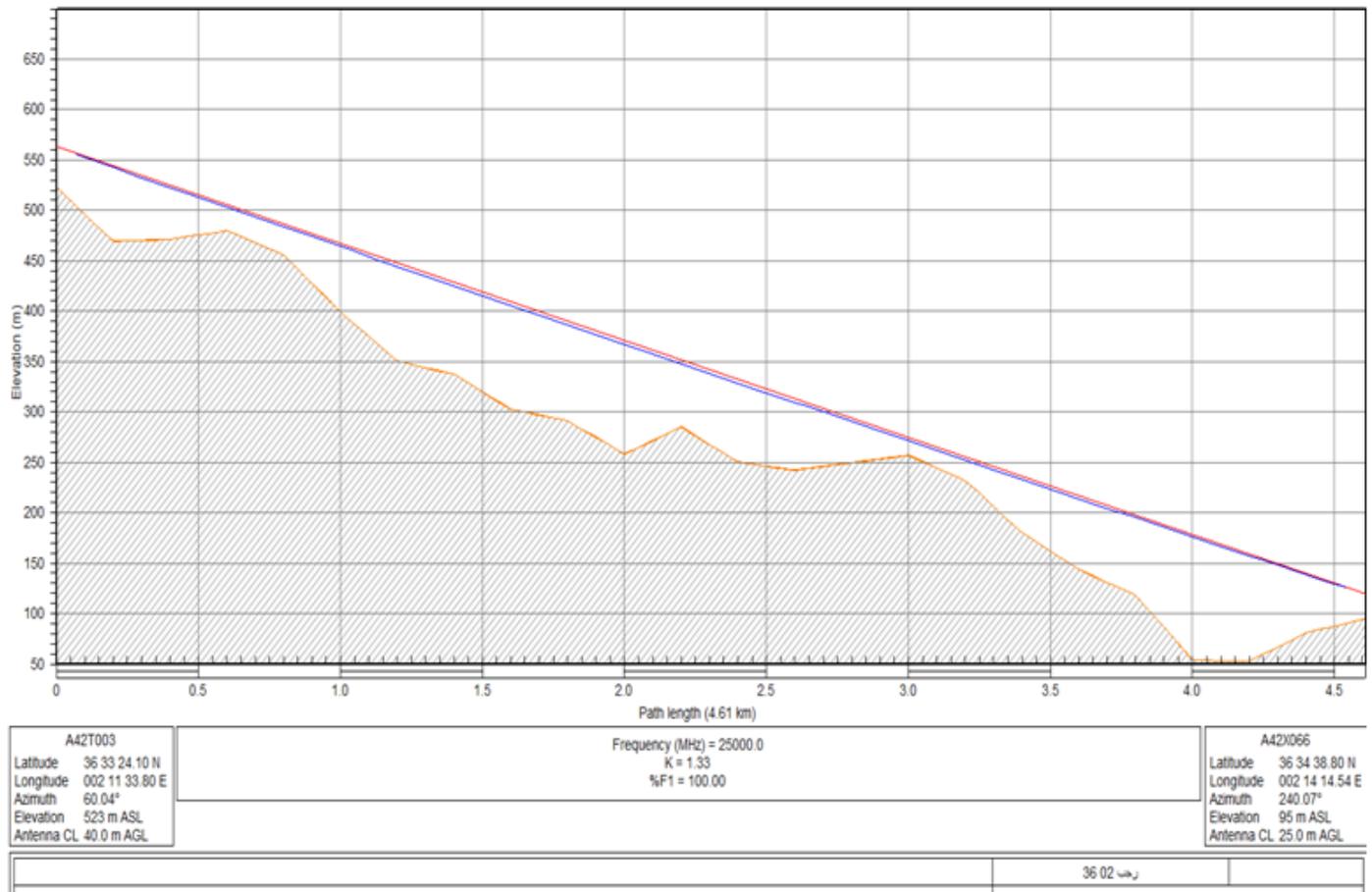


FIGURE 3.8 – Le profil de la liaison .

Dans cette figure on voit que l'espace de propagation est complètement dégagé de toutes obstacles

3.3. IMPLÉMENTATION D'UNE LIAISON FAISCEAU HERTZIEN EN UTILISANT LE LOGICIEL PATHLOSS

3.3.4 Etude de la Distance

The screenshot shows the Pathloss 4.0 software interface with a menu bar (Files, Module, Configure, Equipment, SDB, Application, Report, Help) and a main data table. The table is divided into two main sections: site configuration and radio parameters. The 'Calculated Distance (km)' is highlighted as 4.61.

Field	Value 1	Value 2
Site Name	A42T003	A42X066
Call Sign	A42T003	A42X066
Station Code		
State		
Owner Code		
Latitude	36 33 24.10 N	36 34 38.80 N
Longitude	002 11 33.80 E	002 14 14.54 E
True azimuth (°)	60.04	240.07
Calculated Distance (km)	4.61	
Profile Distance (km)	4.61	
Datum	WGS 1984	
Elevation (m)	523.31	94.58
Tower Height (m)	25.00	12.00
TR Antenna Height (m)	40.00	25.00
Code	SB 2-250C	SB 2-250C
TX loss (dB)	4.00	4.00
RX loss (dB)	0.00	0.00
Operator code	zone5	
Radio model	9425-UX (16E-1)	9425-UX (16E-1)
Code	9425-16-4QAM	9425-16-4QAM
Emission designator	28MOD7W	28MOD7W
Traffic code	16E1-4QAM	16E1-4QAM
TX power (dBm)	18.00	18.00
Frequency (MHz)	25000.00	
Polarization	Horizontal	
Free space loss (dB)	133.71	
EIRP (dBm)	55.80	55.80
RX signal (dBm)	-36.76	-36.76
Radio configuration		
TX Ch. - 1	TX Ch. - 2	
26411.0000-H	25403.0000-H	

FIGURE 3.9 – Distance.

La figure nous montre les coordonnées de ces deux sites, à savoir la distance entre eux qui est de 4.61 Km.

3.3.5 Etude de l'entourage

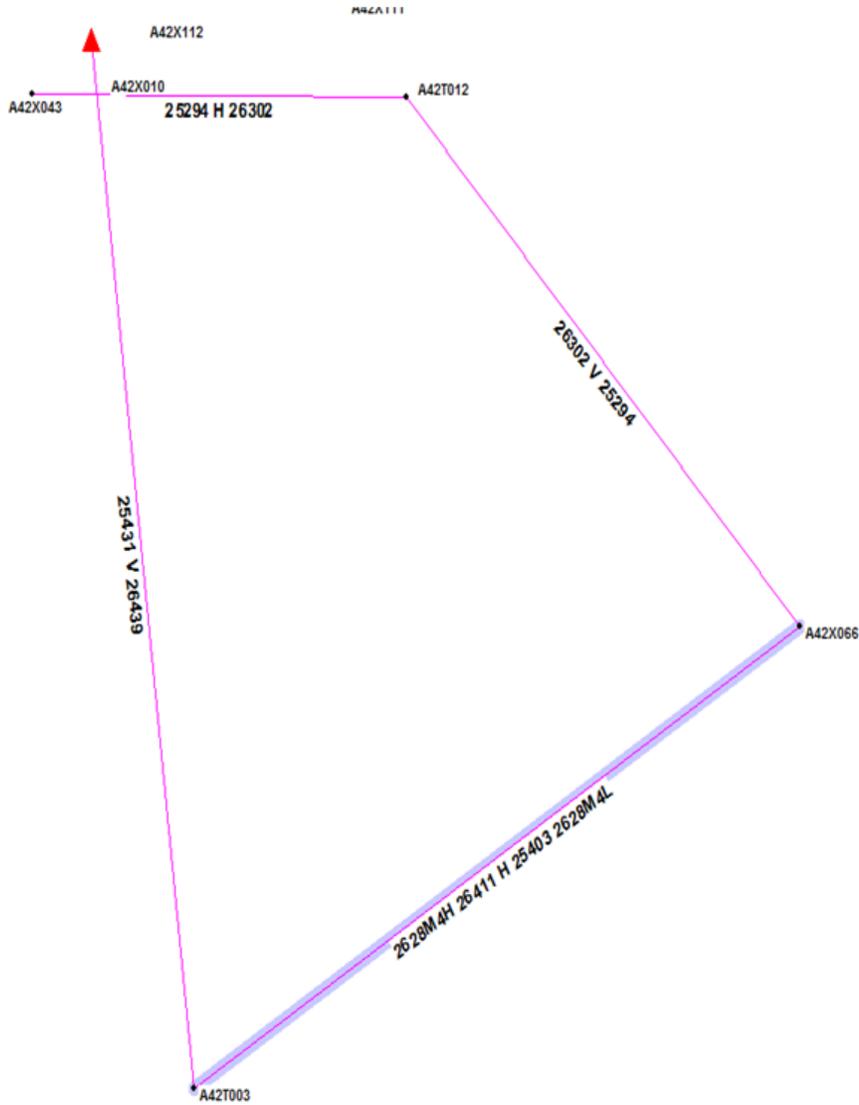


FIGURE 3.10 – Entourage.

Sur cette figure qui nous montre la liaison créée avec pour but de voir s'il n'y a pas de interférences avec les autres liaisons.

3.3.6 Bilan de liaison

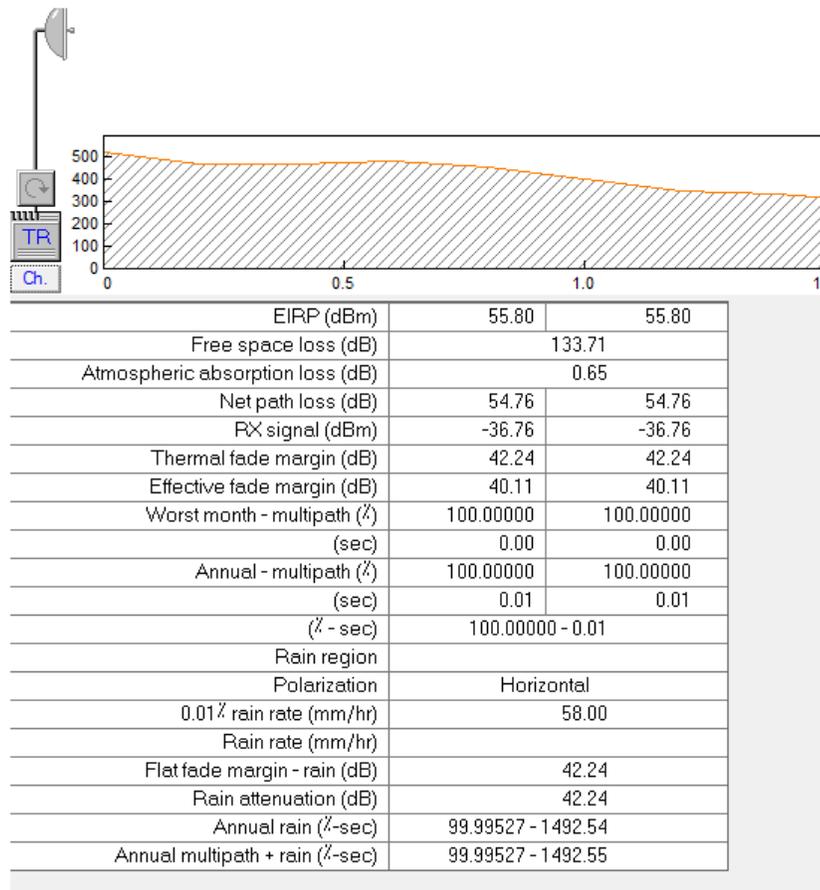


FIGURE 3.11 – Bilan de liaison.

Sur cette figure qui montre le bilan de liaison final qui nous permettra de voir en détails les caractéristiques de la liaison.

Chapitre 4

Étude pratique Fibre Optique et Simulation d'une liaison avec OptiSystem

4.1 Etude Pratique de la Fibre Optique

4.1.1 Réaliser une soudure fibre optique

Avant de souder, différentes étapes sont nécessaires pour préparer la fibre, ces étapes sont essentielles et conditionnent la bonne réussite de la soudure.

Sécurité

Il est important de porter des lunettes de sécurité lorsque l'on travaille de la fibre optique. Le verre qui la compose est fragile et difficilement visible. Les fragments de fibre optique cassés peuvent s'incruster à l'intérieur de l'oeil ou rentrer sous la peau. Cela est douloureux et peut conduire à une infection ou une irritation.

Préparer la fibre

Mettre en place de la protection d'épissure. Glisser la protection d'épissure sur une des fibres. L'épissure est la jonction des deux bouts de fibre nue. Il est nécessaire de protéger cette jointure par une protection d'épissure aussi appelée smooove, visant à remplacer la gaine sur la partie de fibre dénudée. La protection d'épissure est renforcée par une barre en métal pour rigidifier et ainsi protéger le raccordement. Il y a deux longueurs (40 mm et 60 mm).

Dénuder

A l'aide d'un principe à dénuder, On prépare la fibre (ôter pour les gaines 900 um et 250 um), la longueur de dénudage : 30 à 40 mm.

Nettoyage

Matériel requis : lingette non pelucheuse, L'alcool isopropylique 99 % permet de nettoyer parfaitement la fibre sans laisser aucun résidu, Un distributeur d'alcool offre un gain conséquent



FIGURE 4.1 – Protection d'épissure « Smoooves »



FIGURE 4.2 – Matériel requis : pince à dénuder.

dans la réalisation de la soudure, tandis que la fonction verrouillage du flacon évite tout écoulement d'alcool lors des transports. On imbibe la lingette d'alcool puis on la passe sur la fibre pour un bon nettoyage.

Armez la cliveuse en enfonçant la pièce coulissante.

Positionnez la fibre en respectant les longueurs de clivage.

Appuyez sur le couvercle : la fibre est coupée et la chute est recueillie dans le réceptacle amovible.

Soudure

- Choix du mode de soudure.
- Choix du mode de four (taille de la protection d'épissure : 40 ou 60 mm).
- Mise en place de la protection d'épissure.
- Mise en place des fibres préparées (dénudées, nettoyées et clivées) dans la soudeuse.

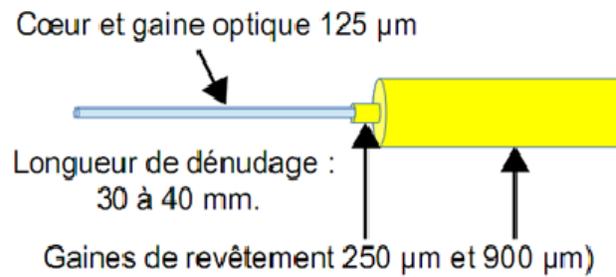


FIGURE 4.3 – Fibre à dénuder.



FIGURE 4.4 – Manipulation de clivage

- Lancement du cycle de fusion.

Evaluation de la qualité de la soudure

- La qualité d'une soudure se base sur 2 critères :
- L'estimation de perte affichée par la soudeuse qui doit être inférieure à 0.1 dB.
- Le contrôle visuel de la soudure.

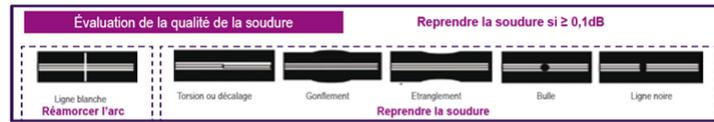


FIGURE 4.5 – Evaluation de la qualité de soudure.

4.1.2 Rétreint de la protection d'épissure

- Ramener la protection d'épissure au niveau du point de fusion en prenant soin de bien le centrer.
- Positionner la protection d'épissure dans le four en tendant les fibres pour que le capot du four se referme automatiquement.
- Après 30 sec de rétreint, le ventilateur se met en route pour refroidir la protection d'épissure.
- Laisser refroidir le smooove sur le support de manchon thermorétractable situé à l'arrière de la soudeuse.



FIGURE 4.6 – Evaluation de la protection d'épissure.

4.1.3 Bilan de liaison

Une fois la soudure est effectuer sur une longueur, on peut calculer le bilan de liaison qui est donnée par :

$$\text{Budget de liaison} = (\text{longueur du câble} * \text{Atténuation}) + (\text{Nombre de soudures} * \text{Pertes en soudure}) + (\text{Nombre de connecteurs} * \text{Pertes en connecteur}).$$

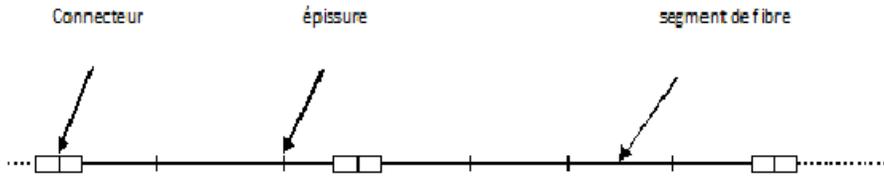


FIGURE 4.7 – Le Long de la liaison.

4.1.4 Test Reflectrometrique

- Longueur de mesures : 47.669 km.
- Type de fibre optique : Monomode.
- Longueurs des ondes de tests : 1310 nm & 1550 nm.

Couleur/Tube	Tube/Faisceau	Couleur Fibre	N° Fibre	Loss (dB)	
Bleu/Bleu	1			1310 nm	1550 nm
//	//	blue/bleu	F01	15.948	9.669
//	//	orange/orange	F02	15.523	9.378
//	//	green/vert	F03	15.506	9.406
//	//	brown/brun	F04	15.911	9.661
//	//	grey/gris	F05	15.956	9.628
//	//	white/blanc	F06	16.120	9.845
//	//	red/rouge	F07	15.953	9.785
//	//	black/noir	F08	16.057	9.829
//	//	yellow/jaune	F09	16.552	10.142
//	//	violet/violette	F10	16.017	9.877
//	//	pink/rose	F11	16.157	9.563
//	//	turquoise/turquoise	F12	15.860	9.785

TABLE 4.1 – Test Reflectrometrique(TEST FINAL).

Le budget de liaison Théorique calculé est de :

- **Budget de liaison (1310 nm)** = $(47.669 \times 0.35) + (11 \times 0.08) + (2 \times 0.08) = 19.164$ dB.
- **Budget de liaison (1550 nm)** = $(47.669 \times 0.22) + (11 \times 0.08) + (2 \times 0.08) = 12.967$ dB.

En faisant une comparaison rapide entre les valeurs pratiques données par OTDR et les valeurs que nous avons calculés :

D'après le tableau 4.1, pour la Fibre Blue/Blue :

- Pour une fenêtre de transmission de 1310 nm ; le budget de liaison trouver en pratique est de : 15.948 dB inférieur à 19.164 dB. Ce qui nous permet de faire la remarque que le test est effectué avec succès.
- Pour une fenêtre de transmission de 1550 nm ; le budget de liaison trouver en pratique est de : 9.669 dB inférieur à 12.967 dB. Ce qui nous permet de faire la remarque que le test est effectué avec succès.

Une seule boîte contient douze fibres, donc on aura douze liaisons, à savoir : Orange/Orange,.....

4.1.5 Effectuer des mesures avec OTDR

Un OTDR (Optical Time Domain Reflectometre) est un instrument idéal pour mesurer les caractéristiques des fibres optiques.

Manipulation

Dans ce cas de figure, ou la liaison relie deux MSC, sur une distance de 3.767 km

N fibre	Fenêtre de transmission nm	Pertes en moyenne dB/Km	Pertes en section dB	Longueur de la section Km
Fibre 1	1310	0.478	1.802	3.7680
	1550	0.328	1.327	3.7676
Fibre 2	1310	0.495	1.867	3.7676
	1550	0.325	1.226	3.7673

TABLE 4.2 – Résultats de mesures effectués sur 2 fibres avec les deux fenetres de transmission 1310nm 1550nm.

Résultats avec OTDR

Fibre 1 :

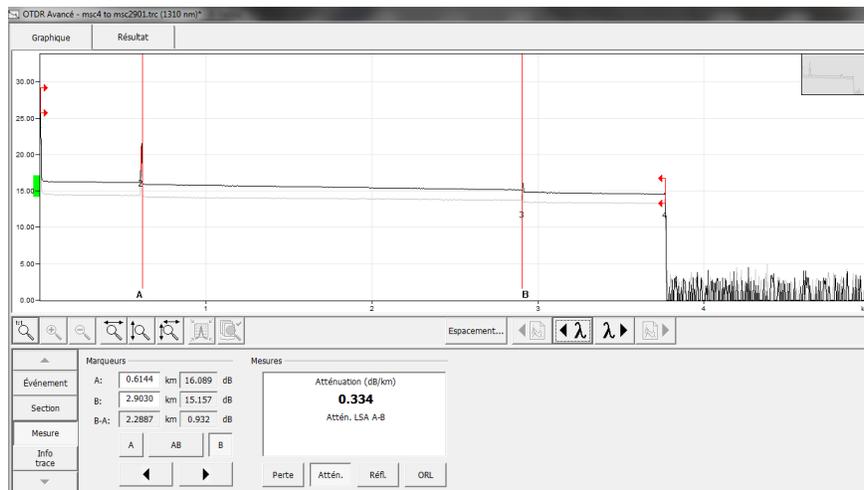


FIGURE 4.8 – Mesure de la liaison Fibre 1(1310 nm) Avec OTDR.

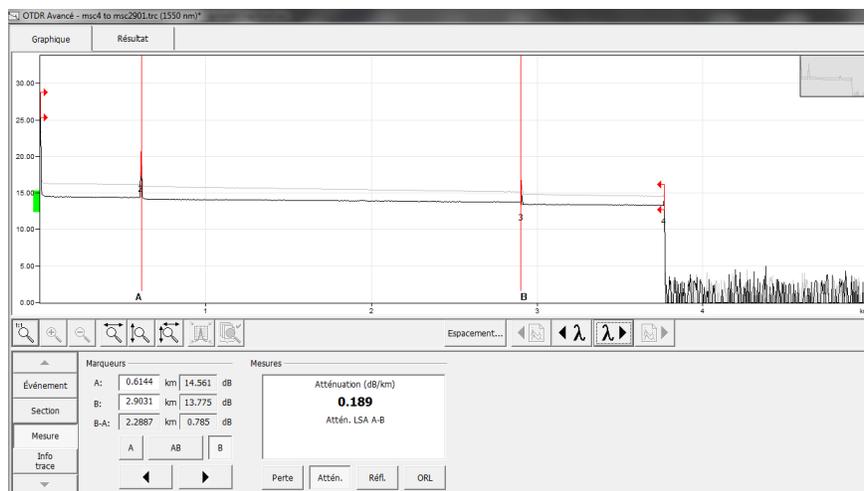


FIGURE 4.9 – Mesure de la liaison Fibre 1(1550 nm) Avec OTDR.

4.1. ETUDE PRATIQUE DE LA FIBRE OPTIQUE

Fibre 2 :

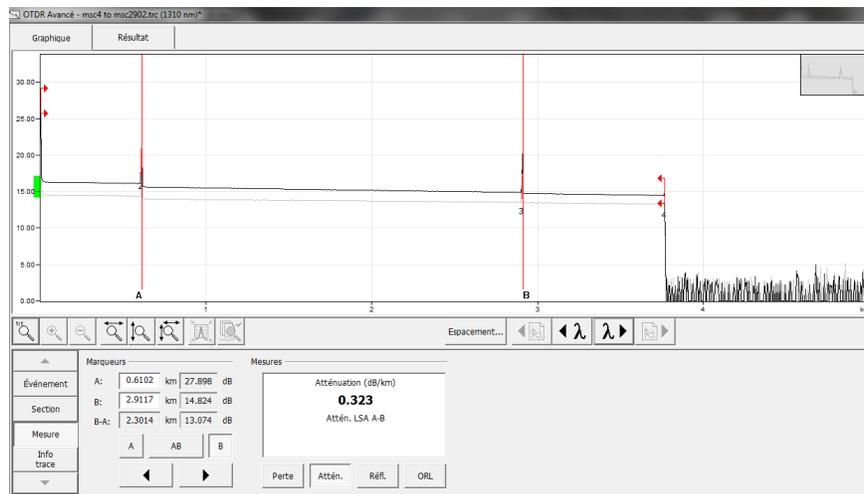


FIGURE 4.10 – Mesure de la liaison Fibre 2(1310 nm) Avec OTDR.

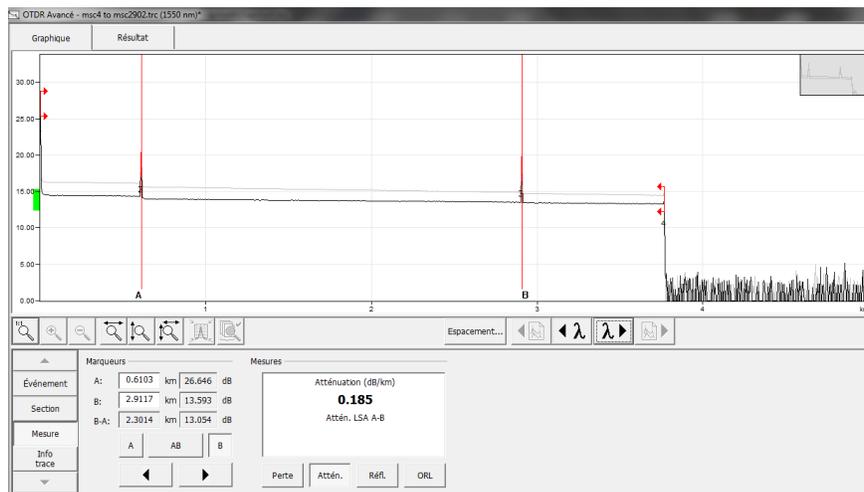


FIGURE 4.11 – Mesure de la liaison Fibre 2(1550 nm) Avec OTDR.

4.1. ETUDE PRATIQUE DE LA FIBRE OPTIQUE

Cas de mesure sur une Distance de 10 Km

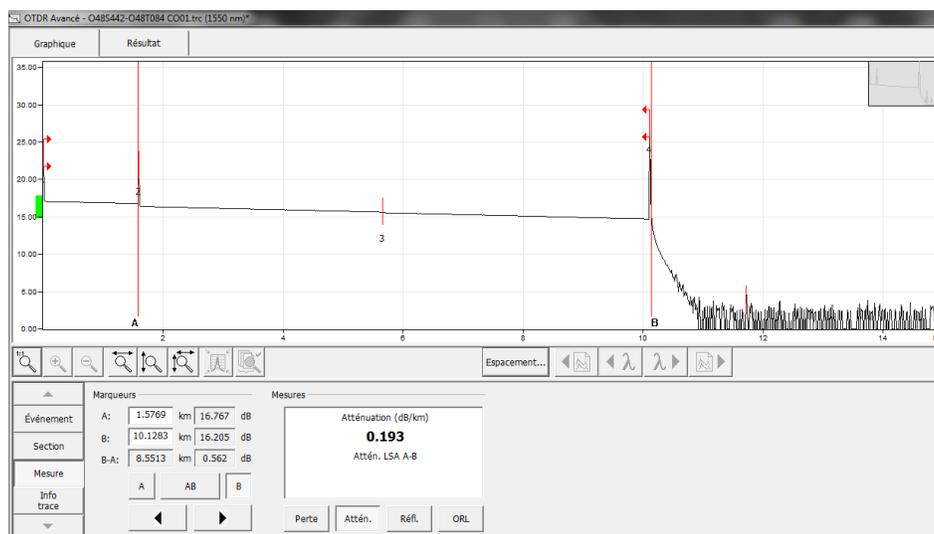


FIGURE 4.12 – Mesure de la liaison (1550 nm) Avec OTDR.

Cas de mesure sur une longue Distance de 80 Km

Liaison Du MSC 8 TO 046T078

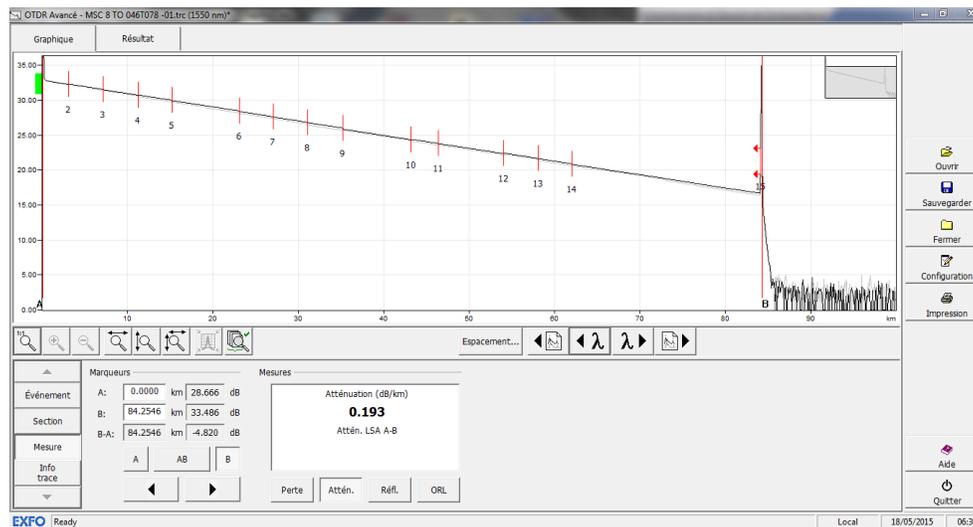


FIGURE 4.13 – Mesure de la liaison (1550 nm) Avec OTDR.

Commentaires

- Tout problème qui provoque sur une fibre une perte ou des réflexions autres que la diffusion normale du matériau lui-même est considéré comme un événement.
- La trace d'un OTDR représente le résultat d'une mesure sous forme graphique à l'écran. L'axe vertical correspond à l'axe de la puissance et l'axe horizontal à l'axe de la distance.

- Les Figures 4.8, 4.9, 4.10 et 4.11 nous montre les résultats de tests effectués sur une distance de 3.767 km,
 - Pour la Fibre 1 (Figure 4.8 et 4.9), cas de la fenêtre 1310 nm, l'atténuation affichée est de 0.334 dB/Km < 0.35 dB/Km et pour le cas de la fenêtre 1550 nm, l'atténuation est de 0.189 dB/Km < 0.2 dB/Km.
 - Pour la Fibre 2 (Figure 4.10 et 4.11), cas de la fenêtre 1310 nm, l'atténuation affichée est de 0.323 dB/Km < 0.35 dB/Km et pour le cas de la fenêtre 1550 nm, l'atténuation est de 0.185 dB/Km < 0.2 dB/Km.
- Dans la Figure 4.12, le test est effectué sur une distance de 10 km avec une fenêtre de transmission de 1550 nm, l'atténuation enregistré est de 0.193 dB/Km < 0.2 dB/Km.
- Dans la Figure 4.13, le test est effectué sur une distance de 80 km avec une fenêtre de transmission de 1550 nm, la valeur de l'atténuation enregistré est de 0.193 dB/Km < 0.2 dB/Km.

4.2 Simulation (Dimensionnement D'une Liaison Optique Monomode)

4.2.1 Présentation du logiciel OptiSystem

OptiSystem est un logiciel de simulation, il permet la conception de différents circuits optiques et effectuer des tests sur plusieurs types de liaisons optiques. OptiSystem possède un environnement de simulation puissant et très riche.

4.2.2 Introduction à la simulation

Le but est de pouvoir réussir à faire la conception d'une liaison optique, qui nous permettra d'effectuer des variations soit sur la distance parcourue par le faisceau lumineux, soit sur des composants (modulateur, optical amplifier et.....), et savoir mettre en pratique nos connaissances théoriques sur la liaison optique en générale.

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

4.2.3 L'interface de travail sur OptiSystem

Débuter avec Optisystem :

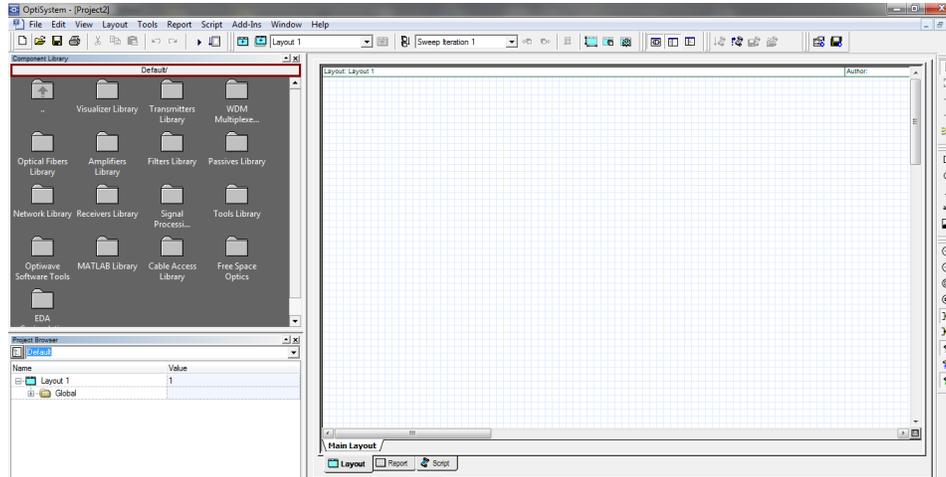


FIGURE 4.14 – L'interface graphique de l'utilisateur

4.2.4 Manipuler sous optisystem

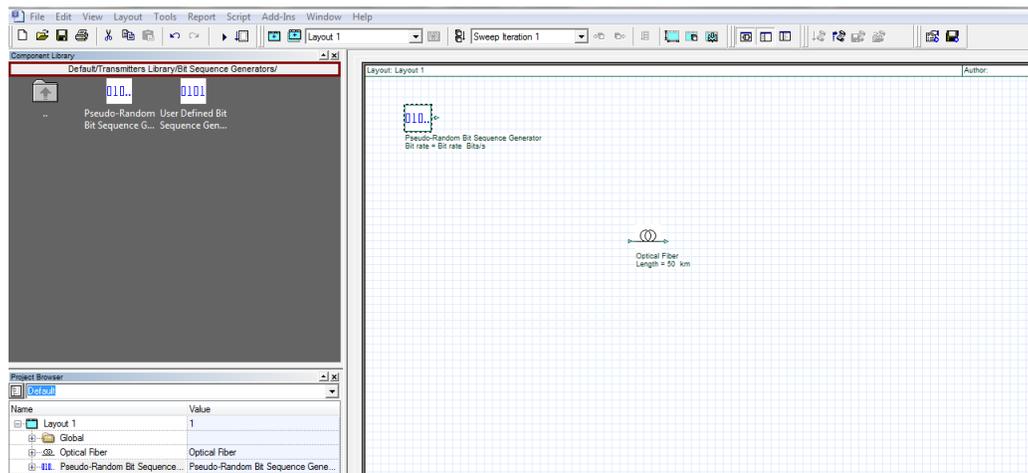


FIGURE 4.15 – Manipuler avec les différents composants de librairie Optisystem.

Les composantes de la librairie

Accès aux composantes pour créer le projet du système.

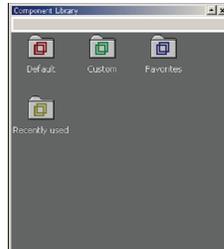


FIGURE 4.16 – La fenêtre de la librairie

4.2.5 Dimensionnement d'une liaison optique Monomode

Les Paramètres

Bloc d'émission :

Le Bloc d'émission est constitué de :

- Générateur de séquence binaire pseudo aléatoire.
- Générateur de pulsation NRZ.
- CW Laser.

La figure ci-dessous montre le schéma du bloc d'émission :

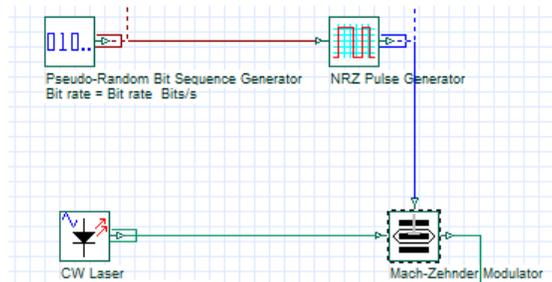


FIGURE 4.17 – Bloc d'émission

Modulateur

Le modulateur qu'on va utiliser pour notre partie de simulation est le modulateur (Mach-Zehnder) MMZ

Les Propriétés du modulateur :

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

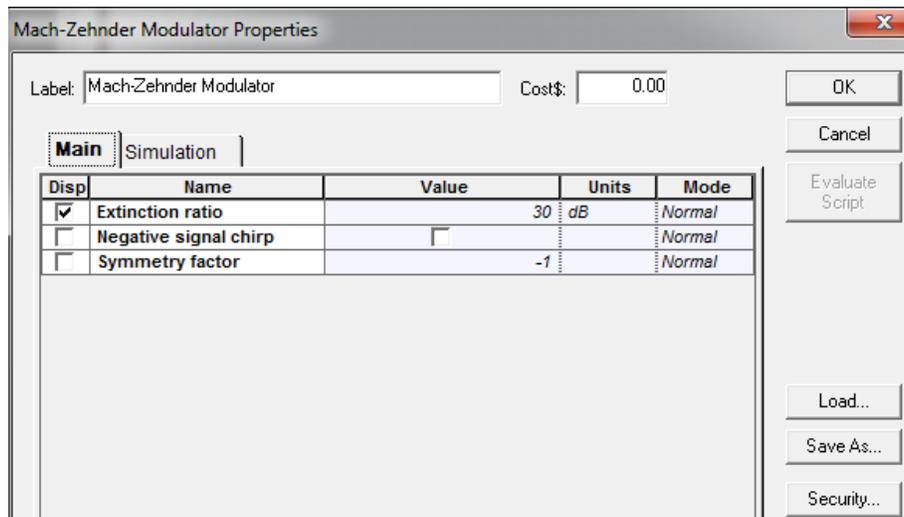


FIGURE 4.18 – Les Propriétés du modulateur (Mach-Zehnder) MMZ

Canal de Transmission (Fibre Optique)

Les propriétés de la fibre optique :

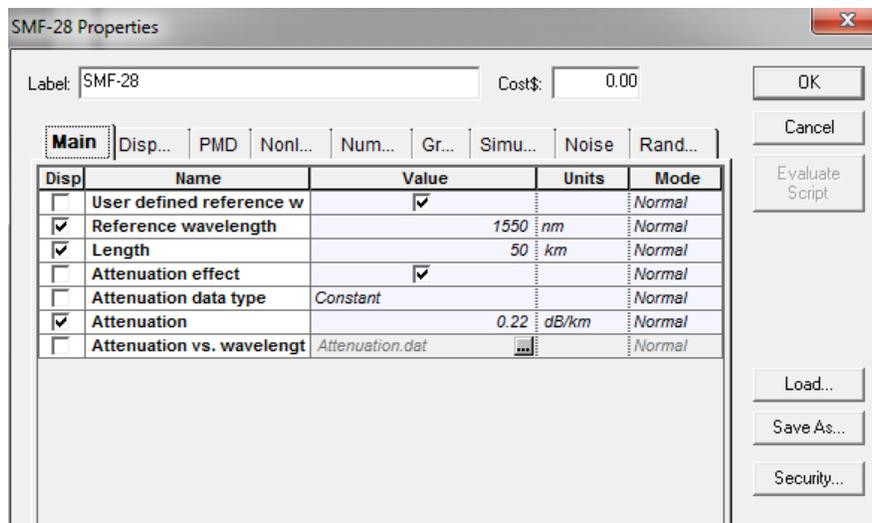


FIGURE 4.19 – Les propriétés de la fibre.

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

Bloc de Réception

Les propriétés de la photodiode PIN :

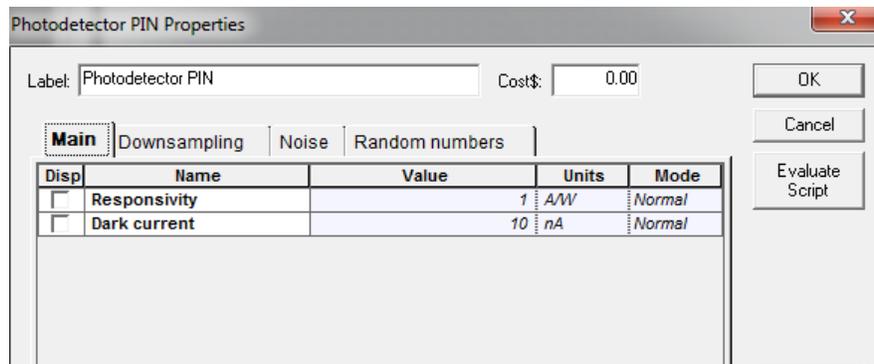


FIGURE 4.20 – Les propriétés de la Photodiode PIN.

4.2.6 Simulation

Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 3.767 km

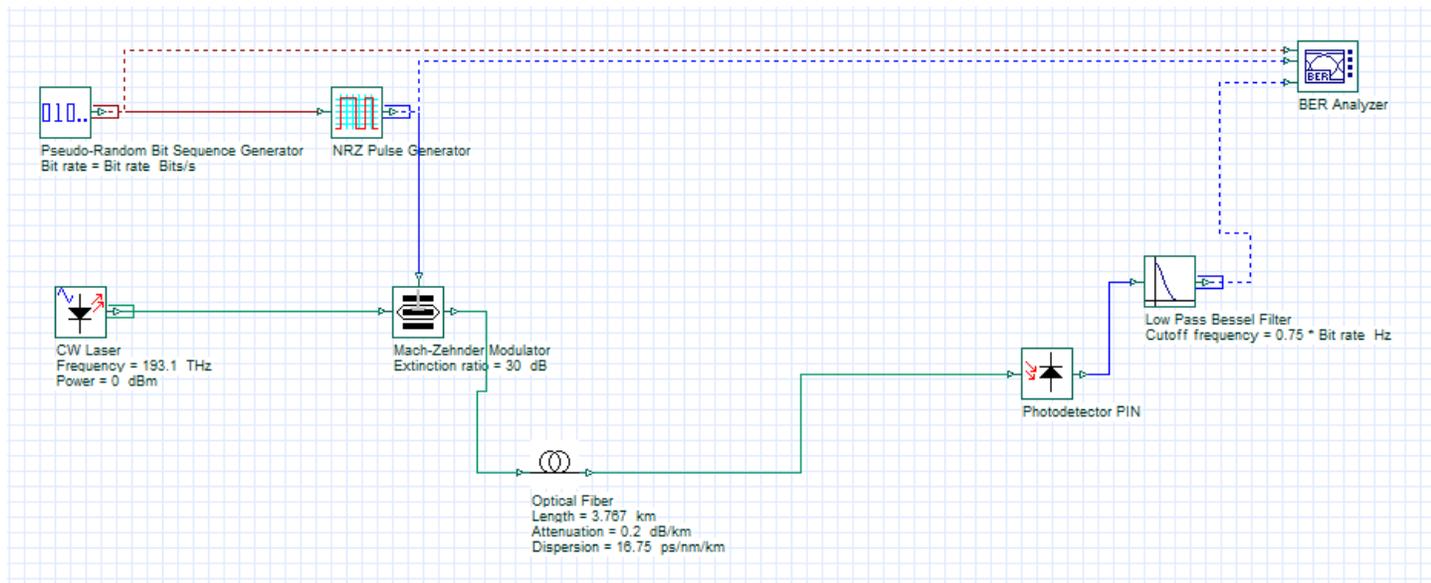


FIGURE 4.21 – Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 3.767 km

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

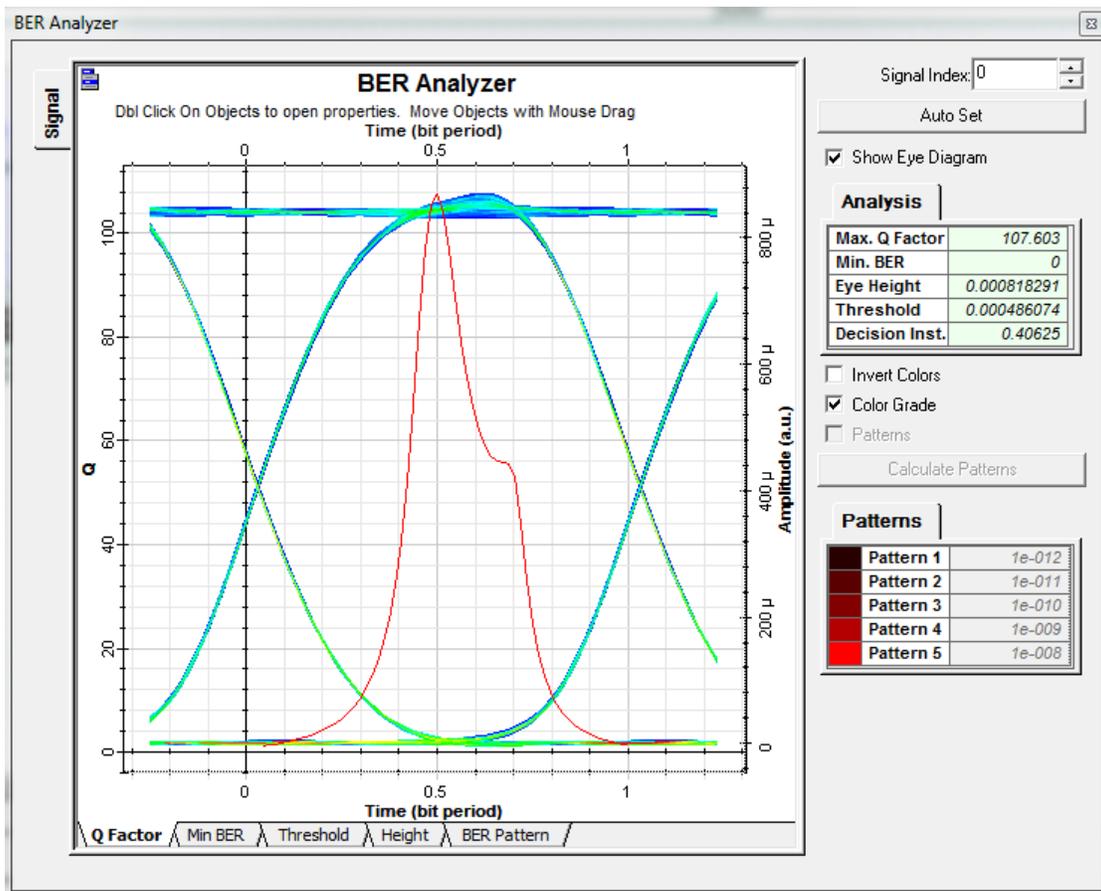


FIGURE 4.22 – Diagramme de l'oeil pour une Fibre SMF à 3.767 km

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 60 km

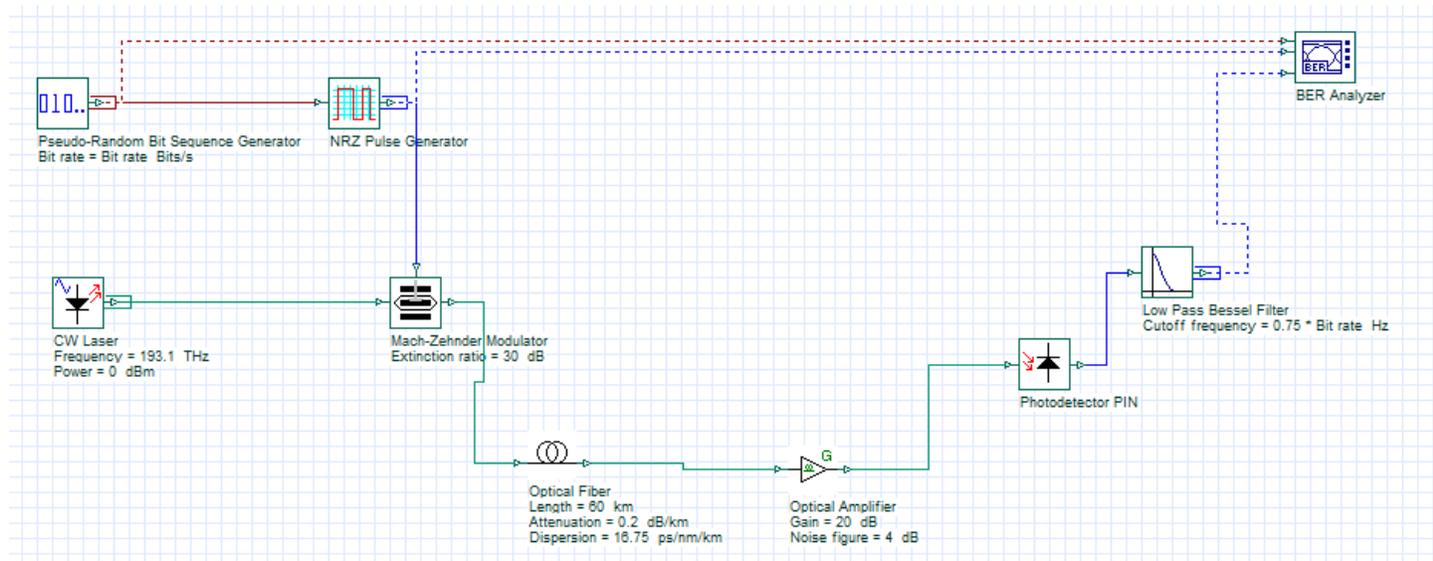


FIGURE 4.23 – Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 60 km

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

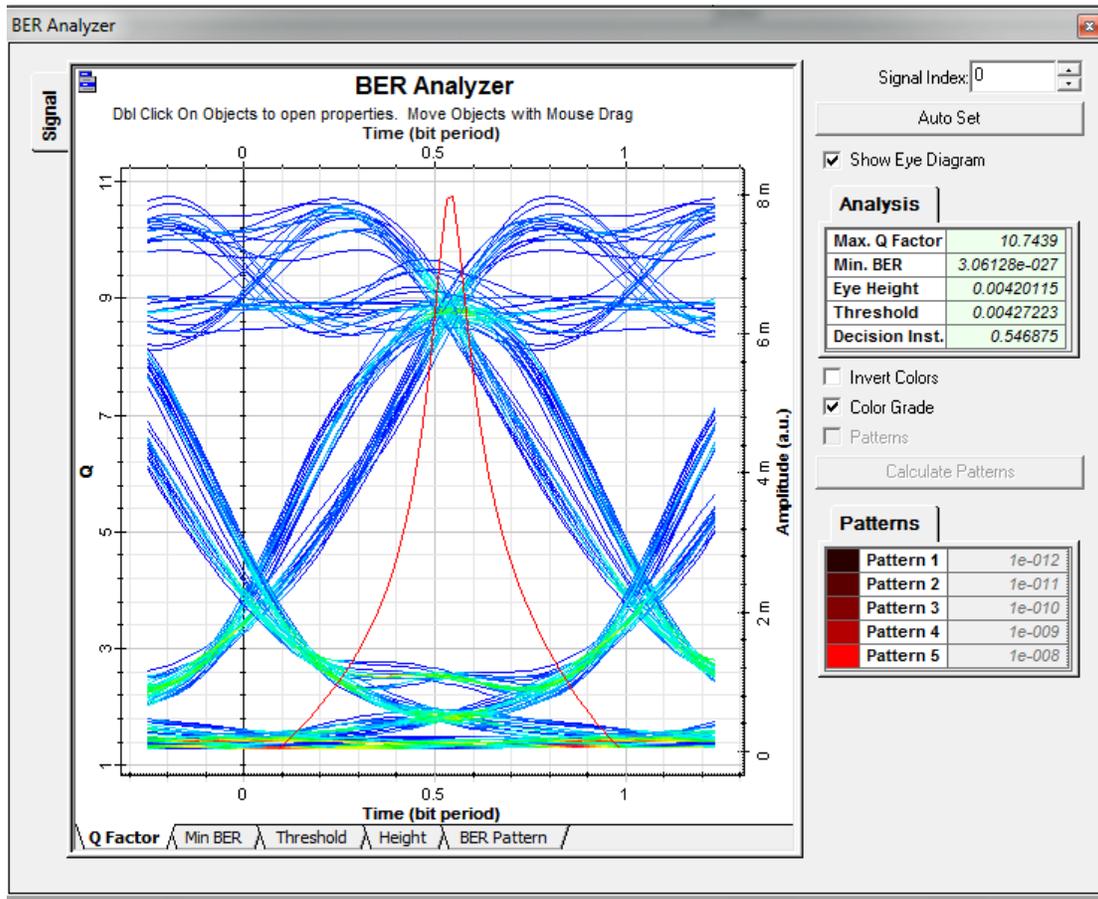


FIGURE 4.24 – Diagramme de l'oeil pour une Fibre SMF à 60 km

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 80 km

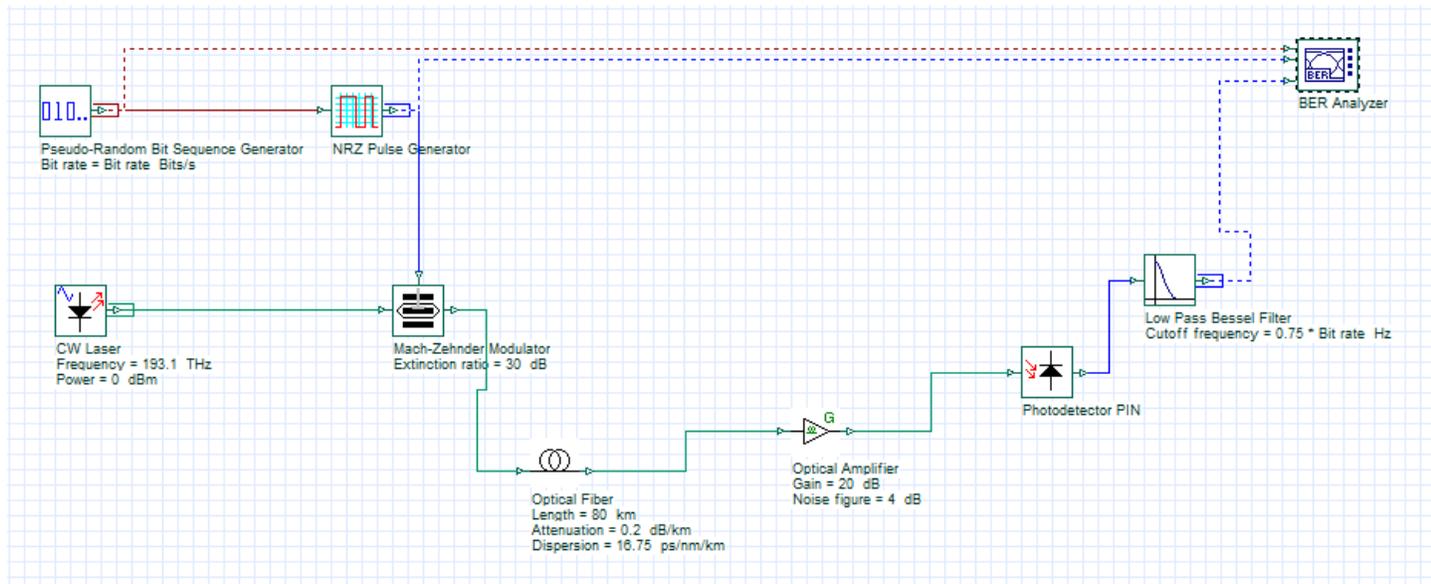


FIGURE 4.25 – Liaison Optique monomode avec une Fibre SMF à 80 km

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

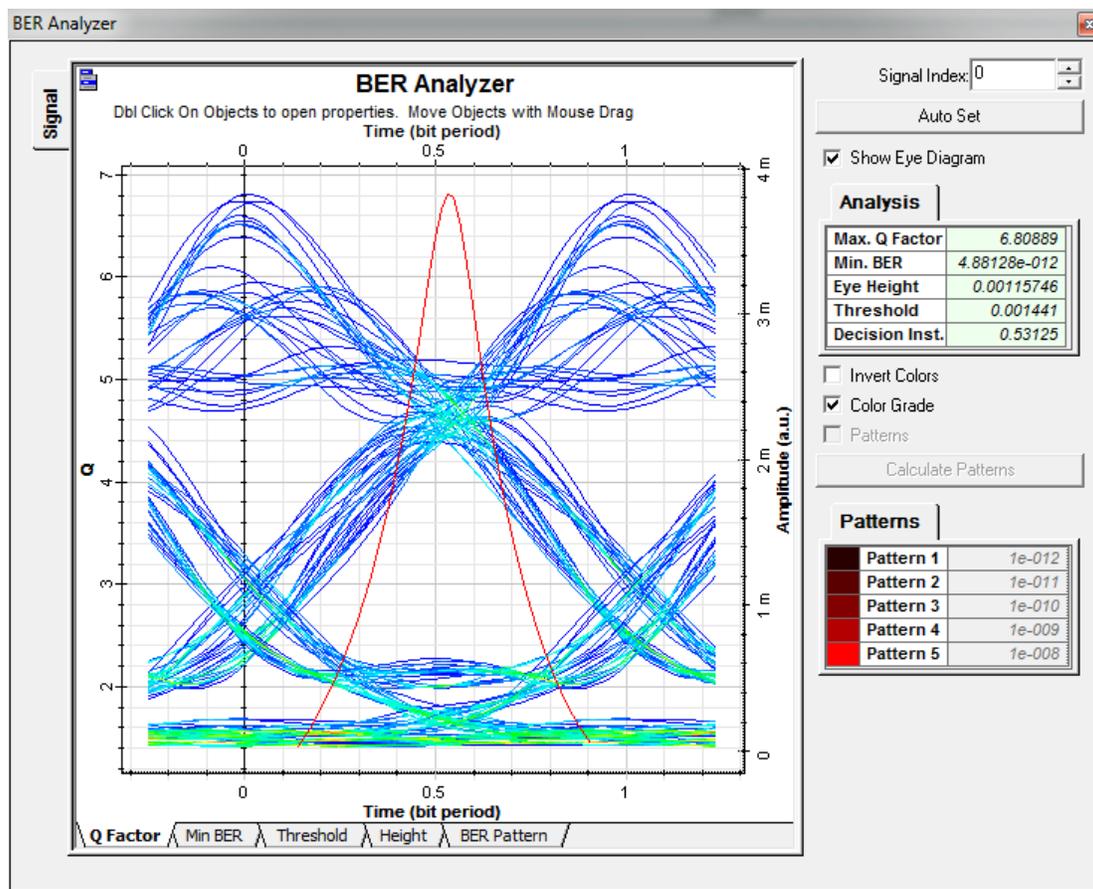


FIGURE 4.26 – Diagramme de l'oeil pour une Fibre SMF à 80 km

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

Liaison Monomode avec une fibre SMF de Longueur = 125 km

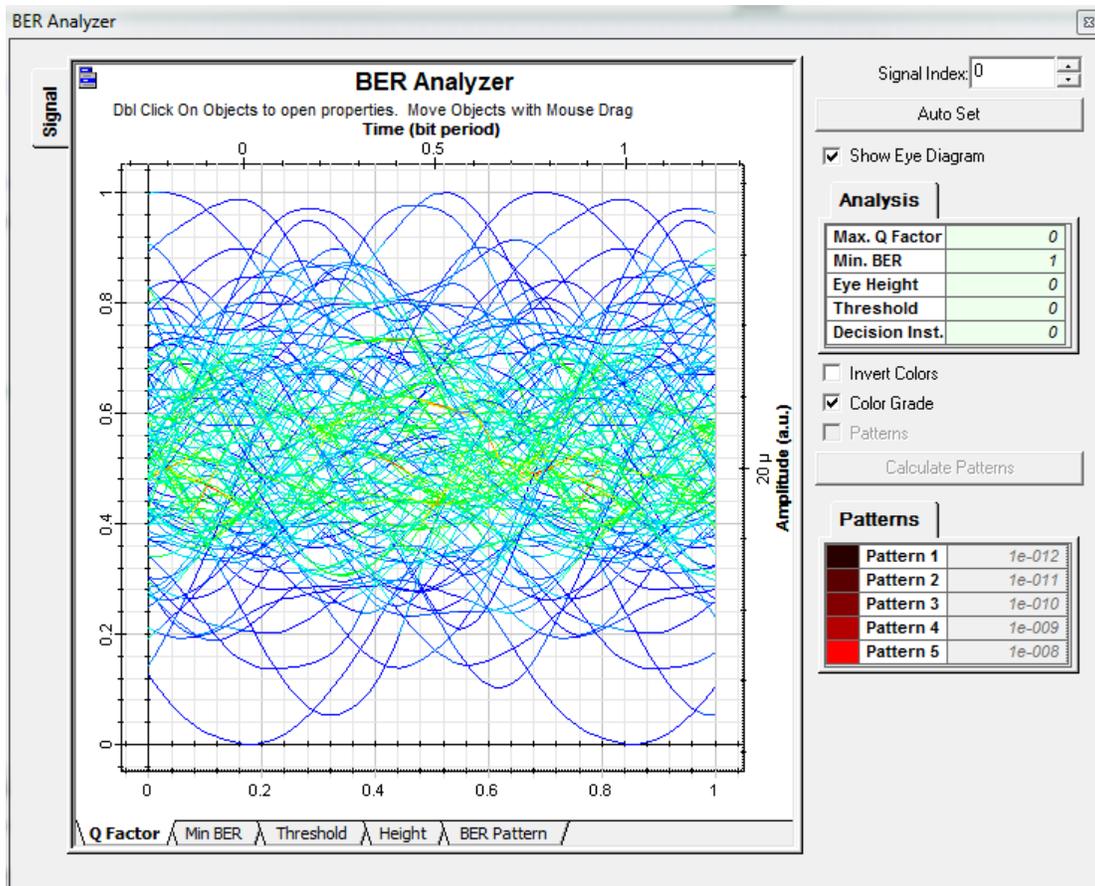


FIGURE 4.27 – Diagramme de l'oeil pour une fibre SMF à 125 Km.

Liaison Monomode NZ-DSF, DCF, Longueur = 125 km

Commençons par calculer la longueur de la fibre de compensation :

$$L(DCF) * C(DCF) = - L(NZ - DSF) * C(NZ - DSF) \quad (4.1)$$

où

- L(DCF) est la longueur de la fibre de compensation.
- C(DCF) est la dispersion chromatique de la fibre de compensation.
- C(NZ-DSF) la dispersion chromatique positive de la fibre SMF ou NZ-DSF à cette même longueur d'onde.
- L(NZ-DSF) est la longueur de la fibre SMF ou NZ-DSF.

Application numérique :

$$L(NZ-DSF) = 125 \text{ km.}$$

$$C(NZ-DSF) = 2 \text{ ps/nm*km. [8] [9]}$$

$$C(DCF) = -82 \text{ ps/nm*km. [8] [9]}$$

$$L(DCF) = \frac{- L(NZ - DSF) * C(NZ - DSF)}{C(DCF)} \quad (4.2)$$

D'où :

$$L(DCF) = -125 * 2 / -82$$

$$L(DCF) = 3.04 \text{ km.}$$

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

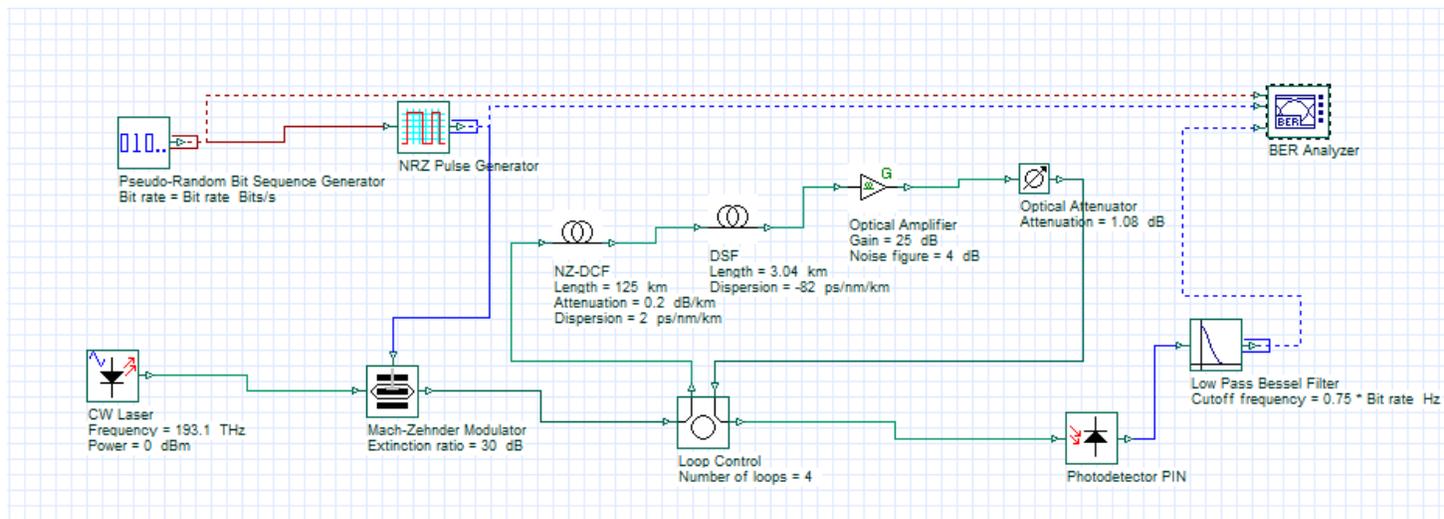


FIGURE 4.28 – Liaison Optique avec une Fibre de compensation DCF à 3.04 km

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

Le résultat obtenu :

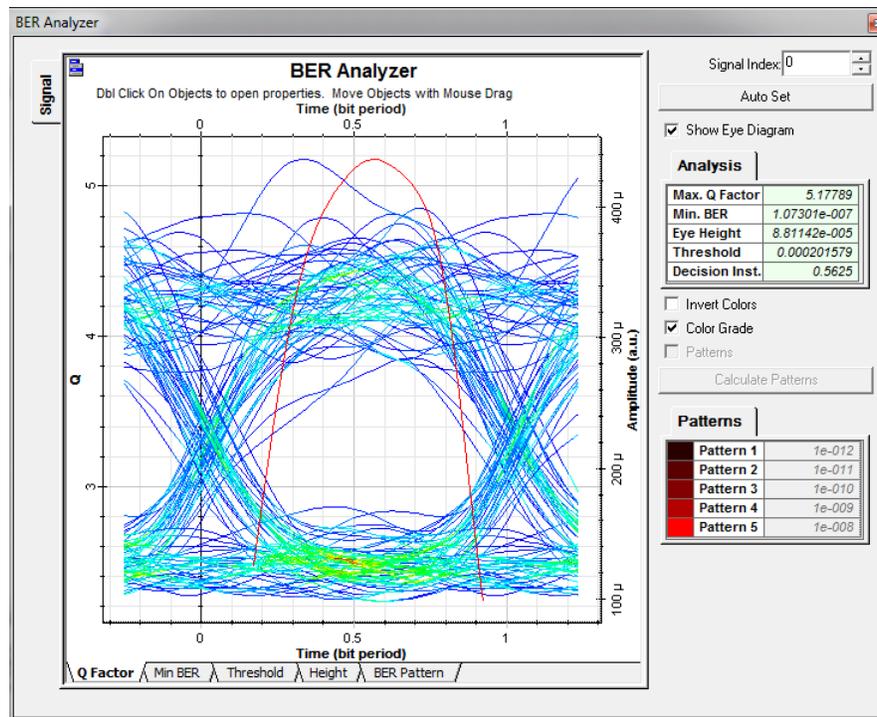


FIGURE 4.29 – Diagramme de l'oeil de la Liaison Optique avec une Fibre de compensation DCF à 3.04 km

4.2. SIMULATION (DIMENSIONNEMENT D'UNE LIAISON OPTIQUE MONOMODE)

On a essayé de changer la valeur de la longueur de la fibre DCF (Fibre de Compensation) :

Pour $L(\text{DCF}) = 2.5 \text{ km}$:

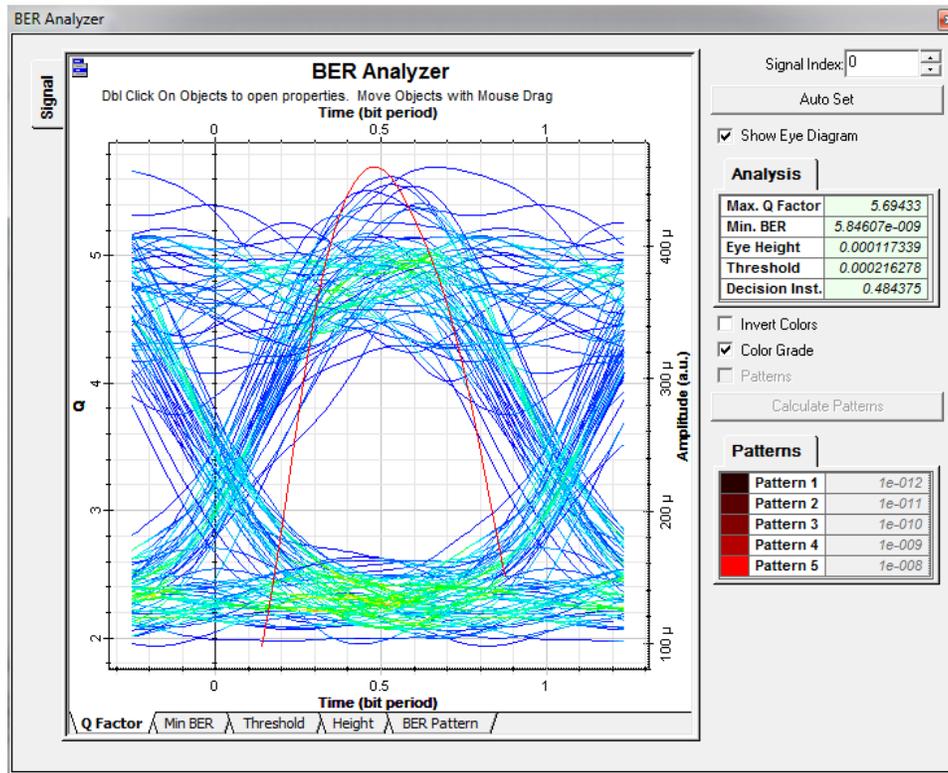


FIGURE 4.30 – Diagramme de l'oeil de la Liaison Optique avec une Fibre de compensation DCF à 2.5 km

4.2.7 Résultats et Discussions

- On'a pu montrer en premier lieu que pour une fibre de courte distance avec un débit assez bon , on arrive a obtenir des résultats sur un BER analyser avec un diagramme d'oeil assez clair.

- Par contre le problème qui se pose est lorsqu'on à fait varier la distance (voir figure 4.26) jusqu'à $L=125 \text{ Km}$ ou on'a constaté un diagramme de l'oeil qui assez dense dû à la dispersion chromatique dans la fibre, la solution qui a été proposé étant une fibre de compensation de la dispersion chromatique avec une longueur d'onde très faible et une dispersion négative.

4.3 La fibre optique dans les réseaux mobiles

4.3.1 Dans le réseau GSM

Le BSC est relié au NSS par le biais de l'interface A. **c'est une liaison à grand débit (32Mb/s) sur fibre optique**, elle est acheminée via le réseau public.

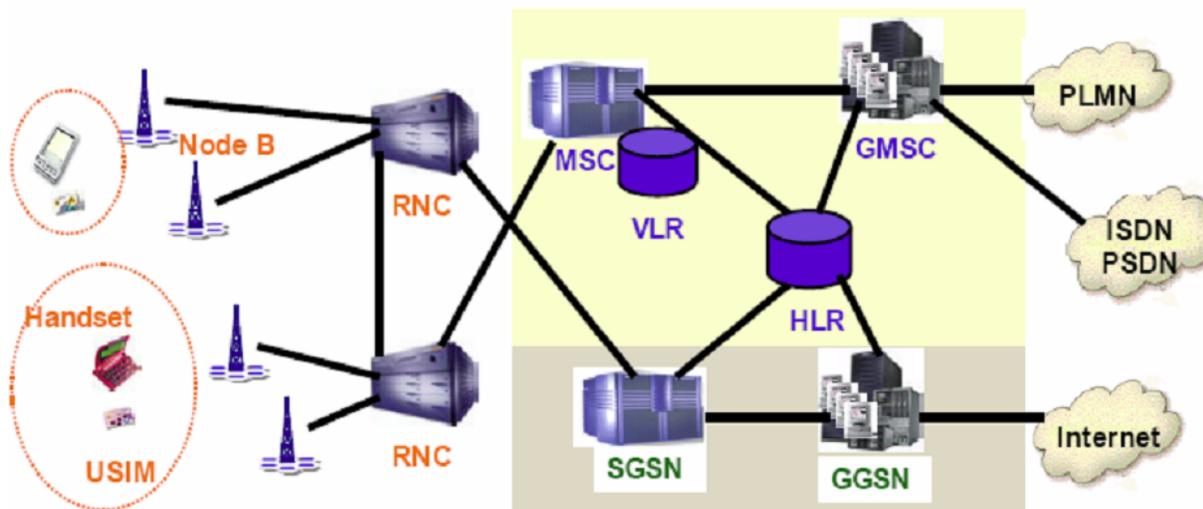
4.3.2 Dans le réseau UMTS

Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants (GSM et GPRS). Ces derniers apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Données ; le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités Multimédia. La mise en place d'un réseau UMTS va permettre à un opérateur de compléter son offre existante par l'apport de nouveaux services en mode paquet complétant ainsi les réseaux GSM et GPRS. [12]

4.3.3 Utilisation des architectures réseaux existantes

Le réseau coeur de l'UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. Il est en charge de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. Dans un premier temps le réseau UMTS devrait s'appuyer sur le réseau GPRS.

Le réseau coeur se décompose en deux parties : le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet.



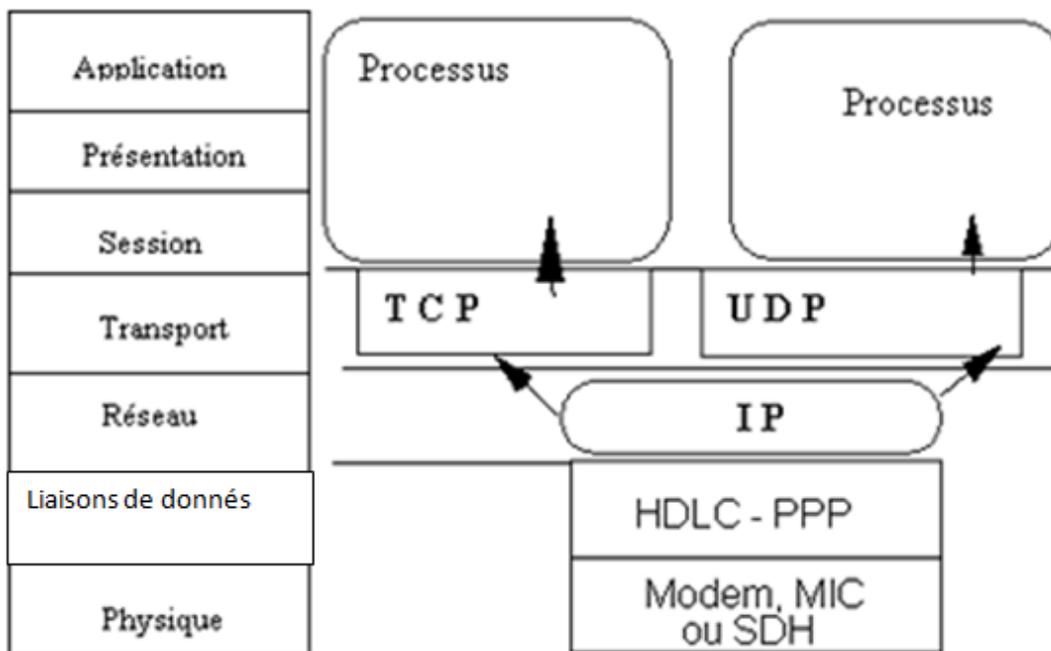
- **Domaine de circuit** : Lors de l'introduction de l'UMTS le débit du mode domaine circuit est équivalent de 384 Kbits/s. L'infrastructure s'appuiera alors sur les principaux éléments du réseau GSM : MSC/VLR (bases données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe

- **Domaine paquet** : permet d'assurer le transfert des paquets sur le réseau IP, il se constitue de : SGSN pour assurer le routage et le transfert datas, GGSN qui est une passerelle vers d'autres réseaux, en général internet.

4.3.4 Migration vers le tout IP

Les objectifs visés de nos jours est de faire migrer le réseau coeur UMTS vers une solution complète IP (Internet Protocole) ,il est fort possible que les opérateur migreront vers un réseau unique (domaine paquet et domaine circuit réunis) lorsque la Voix pourra être transmise par le biais du protocole IP.

Rappels sur les couches basses du Modèle OSI



- **Les différentes couches physiques** : La couche physique traite de la modulation utilisée sur le support de transmissions (codage de canal), de l'adaptation aux liaisons, de la synchronisation et de l'accès multiple. À cause des difficultés rencontrées par la propagation en espace libre, la couche physique est plus complexe en technique radioélectrique qu'en filaire. La fibre optique et le milieu hertzien complètent la palette offerte par les supports métalliques.
- **Couche physique optique** : Les émetteurs lasers nous permettent aujourd'hui d'obtenir des débits élevés sur les fibres optiques, ce qui réalise l'objectif visé par la couche physique du modèle OSI. Des débits binaires différents peuvent être mis en place sur chacune des longueurs d'onde de la fibre optique.

Conclusion Générale

Les faisceaux hertziens présentent des caractéristiques particulières, moins couteuse basée sur une liaison point à point, malgré les avantages que présentent ce mode de transmission, il a certains inconvénients qui sont liés à la sécurité et aux effets néfastes des ondes électromagnétiques sur les tissus biologiques.

Ce pendant, il est très intéressant d'utiliser la fibre optique pour la transmission grâce à ces nombreux avantages, par ailleurs, l'introduction de la fibre optique dans le réseau mobile va constituer un véritable succès des systèmes de la télécommunications mobiles.

Il serait intéressant de généraliser la fibre optique pour tous les systèmes mobiles.

Dans ce travail, nous avons effectué dans un premier temps une simulation avec le logiciel PATHLOSS qui permet d'élaborer une liaison micro-onde et visualiser L'affaiblissement de propagation que subit une onde électromagnétique lorsqu'elle parcourt une distance.

Dans une seconde partie de simulation en utilisant le logiciel OptiSystem qui nous donne la possibilité de concevoir des chaines comparables à ceux existantes dans la réalité, avec visualisation des performances à l'aide du facteur de qualité et du taux d'erreurs binaires.

Liste Des Abréviations

- **AM** : Amplitude Modulation.
- **BTS** : Base Transceiver Station.
- **BSC** : Base Station Controller.
- **BSS** : Base Station Sub-System.
- **DCS** : Digital Communication System.
- **DCF** : Double Clad Fiber.
- **EHz** : ExaHertz.
- **DWDM** : Dense Wavelength Division Multiplexing.
- **FH** : Faisceau Hertzien.
- **FO** : Fibre Optique.
- **FM** : Fréquence Modulation.
- **GSM** : Global System for Mobile.
- **GPRS** : Global Packet Radio Service.
- **HSDPA** : High Speed Downlink Packet Access.
- **HLR** : Home Location Register.
- **HF** : High Frequency.
- **IP** : Internet Protocol.
- **IT** : Intervalle de Temps.
- **LASER** : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.
- **LED** : Light Emitting Diode.
- **LF** : Low Frequency.
- **MS** : Mobile Station.
- **MSC** : Mobile Switching Center.
- **MIC** : Modulation par Impulsion et Codage.
- **MF** : Midium Frequency.
- **NSS** : Network Station Sub-system.
- **NRZ** : Non Return Zero.
- **NZ-DSF** : Non Zero Dispersion Shifted Fiber.
- **OTDR** : Optical Time Domain Reflectometer.
- **OSI** : Open System Interconnexion.
- **PIN** : Positive Intrinsic Negative.
- **PDH** : Plesiochronous Division Multiplexing.
- **PLMN** : Public Land Mobile Network.
- **PSTN** : Public Switched Telephone Network.
- **PM** : Phase Modulation.

- **PHz** : PétaHertz.
- **RZ** : Return Zero.
- **RNC** : Radio Network Controller.
- **SMF** : Single Mode Fiber.
- **SHF** : Super High Frequency.
- **TCP** : Transmission Control Protocol.
- **TDM** : Time Domain Multiplexing.
- **UMTS** : Universal Mobile Telecommunication System.
- **UHF** : Ultra High Frequency.
- **VLR** : Visitor Location Register.
- **VLf** : Very Low Frequency.
- **WDM** : Wavelength Division Multiplexing.
- **Wi-Fi** : Wireless Fidelity.
- **WiMAX** : World Interprobability for Microwave Access.

Bibliographie

- [1] Introduction to microwave links.
© Alcatel university-8AS90001 1774VTZZA, Edition II
- [2] ZIMMER Baptiste, Installation et mise en service faisceau hertzien.
IUT Nancy Brabois.
- [3] PFE Institut des télécommunications d'Oran, Promotion IGE 24, 2004
Etudes des liaisons par fibre optique à haut débit.
- [4] Yves JAOUEN, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, TELECOM
ParisTech.
SYSTÈMES DE COMMUNICATIONS OPTIQUES.
- [5] Stéphane DELLIER, Thèse doctorat, UNIVERSITÉ LIMOGES, 2005
Contributions à la conception des Circuits micro-ondes.
- [6] Fadila MEDJDOUB , Mémoire Magister, UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID -
TLEMCEM,2010
Optimisation par la simulation système d'une chaîne de transmission numérique par
fibre optique haut débit.
- [7] Ronsard MBUMBA MAYEMBA, Ingénieur technicien en informatique, Ecole Supé-
rieure des Métiers d'Informatiques et de Commerce "ESMICOM", 2009.
Etude sur l'impact de la transmission optique dans un réseau multiservices "cas de rnis"
- [8] Fibre optique pour la compensation de la dispersion chromatique d'une fibre optique à
dispersion chromatique positive.
De, M.L.A. and Fleury, L. and Nouchi, P. and Sillard, P.
url=<http://www.google.com/patents/EP1081514A1?cl=fr>, 2001.
publisher=Google Patents.

- [9] Fibre pour la compensation de dispersion chromatique d'une fibre NZ-DSF à dispersion chromatique positive.
De, Sillard, P. and Gorlier, M. and De, M.L.A. and Fleury, L. and Beaumont, F. and Nouchi, P.
url=<http://www.google.com/patents/EP1217399B1?cl=fr>,
2015
publisher=Google Patents.
note=EP Patent 1,217,399.
- [10] Ahmed OUADGUI ,Université Abd El Malek Assaadi - Master 2010.
Contrôle de la dispersion chromatique dans les fibres optiques à cristaux photoniques à profil d'indice non standard.
- [11] Guy Pujolle, EYROLLES.
Les Réseaux, Edition 2008.
- [12] Emmanuel TONYE et Landry EWOUSSOUA,UNIVERSITE DE YAOUNDE I.
PLANNIFICATION ET INGENIEURIE DES RESEAUX DE TELECOMS (ARCHITECTURE GSM, GPRS ET UMTS).
- [13] Melle BILLAMI Hanane & Melle BENDAHDANE Raouida, Université Abou Baker Belkaid, Telemcen. Master 2013
Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s

Résumé

Le support de transport correspond aux éléments matériels et immatériels capables de transporter des éléments binaires, comme les câbles et les ondes radio. Dans le premier cas, ce sont des fils métalliques ou des fibres optiques qui transportent l'information et dans le second les ondes hertziennes.

Les deux types de support sont plus complémentaires que concurrents. Le hertzien permet la mobilité, mais au prix de débits plus faibles. De son côté, le câble propose des débits de plus en plus importants. Même si les débits des équipements mobiles augmentent, l'écart reste stable avec ceux des câbles. On arrive aujourd'hui à des dizaines de gigabits par seconde sur la fibre optique contre des centaines de mégabits par seconde pour le hertzien.

En effet, la fibre optique est une innovation relativement récente qui a rapidement pris un rôle prépondérant dans le monde des télécommunications pour sa capacité à véhiculer un grand nombre d'informations sur une longue distance.

Les fibres optiques ont pour rôle principal de propager la lumière avec un affaiblissement aussi faible que possible d'un module émission à un module réception. La principale limitation des systèmes de transmission sur fibres optiques est aujourd'hui l'atténuation et la dispersion du signal occasionné par la propagation dans la fibre optique.

Deux simulations ont été effectuées, à savoir simulation d'une liaison faisceau hertzien avec PATHLOSS, et l'autre simulation porte sur une liaison optique en utilisant OptiSystem.