

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2017

Faculté: Sciences de l'Ingénierat
Département: Electronique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

Intitulé

Régénération d'impulsions dans les systèmes de télécommunications OTDM par similariton

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electronique

Spécialité: Télécommunications avancé

Par :

BOUTEFNOUCHET Mohamed Nadir

Devant le Jury

Président	: Toumi Salah	MC	Université Badji Mokhtar Annaba
Directeur de mémoire:	Saouchi Kadour	MC	Université Badji Mokhtar Annaba
Examineur	: Lafifi Sadek	MC	Université Badji Mokhtar Annaba

Résumé :

Le transport de l'information par fibre optique sur de longues distances doit s'effectuer en évitant le plus possible la dégradation du signal. Cependant avec l'augmentation de plus en plus du débit de transmission, la compensation de la distorsion par dispersion et effets non linéaires devient de plus en plus délicate.

Pour régénérer les signaux reçus dans ces conditions il est nécessaire de les régénérer par des traitements tout optiques.

La technique des simulations est la plus prometteuse. Dans ce mémoire, après étude de similariton nous avons mis en œuvre une simulation d'un système de transmission OTDM par fibre optique à 80 Gbits/s qui a donné un coefficient de Qualité égale à 6 et un TEB égale à après une distance de propagation sur la fibre optique égale à 3500 Km.

Mots clés :

Fibre optique, similariton, régénérateur, simulation, propagation, signal, monomode

Abstract :

The long-distance transport of information by optical fiber must be carried out while avoiding as much as possible the degradation of the signal. However, as the transmission rate increases more and more, the compensation of distortion by dispersion and non-linear effects becomes more and more difficult.

In order to regenerate the signals received under these conditions, it is necessary to regenerate them by all optical processes.

The simulation technique is the most promising. In this paper, after a similarity study, we implemented a simulation of an 80 Gbit / s optical fiber OTDM transmission system that yielded a Quality coefficient equal to 6 and a BER equal to $4.07213e^{-10}$ after a propagation distance On the optical fiber equal to 3500 km.

Keywords :

Fiber optics, similariton, regenerator, simulation, propagation, signal, monomode

Liste de figures :

- Figure 1 : Schéma d'une liaison optique point-à-point..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 2 : Coupe d'une fibre optique indiquant les composants. ... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 3 : Synoptique d'un multiplexage OTDM **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 4 : Représentation temporelle d'un signal codé en RZ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 5 : Schéma synoptique de la modulation directe..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 6 : Schéma synoptique de la modulation externe **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 7 : Présentation d'un Diagramme de l'œil simulé **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 8 : Evolution temporelle (a) et spectrale (b) d'une impulsion Gaussienne vers un similariton dans un amplificateur de 2 m (traits continus). (c) : Evolution du profil impulsionnel dans l'amplificateur de 2 m **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 9 : Synoptique de la régénération 1R (Repeat) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 10 : Synoptique de la régénération 2R (Reshaping Repeat) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 11: Synoptique de la régénération 3R (Retiming Reshaping Repeat). **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 12 : synoptique du fonctionnement d'une porte optique en modulation croisée **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 13 : Synoptique du fonctionnement d'une porte optique en auto-modulation ... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 14 : Le principe de Mamyshev **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 15 : Système de transmission sans régénération..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 16 : Partie génératrice du signal optique du système de transmission.. **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 17 : Ligne de transmission du système de transmission sans régénération..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 18 : Signal de l'entre à la ligne de transmission à envoyer **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 19 : Graph de la puissance du signal transmis sur la sortie de la ligne de transmission **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 20 : Diagramme de l'œil pour une longueur de ligne de transmission de 97 Km **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 21 : Graph de la puissance du signal transmis sur la sortie de la ligne de transmission **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 22 : Diagramme de l'œil pour une longueur de ligne de transmission de 291 Km
..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 23 : Graph de la puissance du signal transmis sur la sortie de la ligne de transmission
..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 24 : Diagramme de l'œil pour une longueur de ligne de transmission de 582 Km
..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 27 : Figure 25 : Graph de la puissance du signal transmis sur la sortie de la ligne de transmission **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 26 : Diagramme de l'œil pour une longueur de ligne de transmission de 679 Km
..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 27 : Régénérateur Mamyshev sous OptiSystem **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 28 : Partie génératrice de deux signaux optiques multiplexé **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 29 : Signal d'entrée de la ligne de transmission à injecter dans la ligne de transmission **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 30 : Signal De sortie de la ligne de transmission..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 31 : Ligne de transmission **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 32 : Partie de compression du régénérateur Mamyshev..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 33 : Diagram de l'œil de la transmission 2R pour une ligne de 3589Km..... **Erreur ! Signet non défini.**

Introduction générale :

Les technologies de l'information prennent une part de plus en plus importante dans les activités humaines. Les réseaux de transport de l'information, qu'ils soient interurbains ou internationaux, utilisent aujourd'hui un support quasi-unique : la fibre optique, seule technique capable de répondre aux besoins en termes de capacité de liaison.

Le transport d'information par fibre optique, sur de longues distances, doit s'effectuer de manière à préserver au mieux l'information, en évitant les distorsions linéaires et non linéaires du signal ainsi que l'accumulation du bruit des amplificateurs optiques en ligne.

Avec l'augmentation du débit par canal, la compensation des dispersions chromatiques et de polarisation est de plus en plus délicate à mettre en œuvre. Il devient alors utile, voir indispensable, de régénérer le signal à l'aide de traitements appropriés. Si aujourd'hui une technique courante consiste à passer par l'électronique, une voie prometteuse pour des débits supérieurs à 40 Gbit/s consiste à utiliser l'optique non linéaire pour réaliser ces fonctions de manière tout optique. Un des enjeux des futurs réseaux de télécommunications réside dans l'augmentation de l'efficacité des dispositifs réalisant ces fonctions non-linéaires pour le traitement tout optique du signal, qui doivent être compacts, robustes, peu coûteux et ultra-rapides.

Les dispositifs basés sur l'utilisation d'une non-linéarité dans les fibres optiques (l'effet Kerr en général) sont très prometteurs en raison de leur temps de réponse quasi instantané (le temps de réponse de l'effet Kerr est de quelques femtosecondes, de leur large gamme spectrale d'utilisation, de leur grande tolérance à la puissance utilisée et du fait que, dans la fibre, la non-linéarité peut être exaltée par la grande longueur d'interaction avec le milieu

Ce mémoire est composé de trois chapitres. Le premier chapitre va aborder des généralités sur les réseaux et la fibre optique puis la technique employé pour transmettre un signal optique.

Dans le deuxième chapitre, on en parlera sur les régénérateur de type 1R , 2R et 3R et aussi les similaritons et leurs propriétés.

Le troisième chapitre est une simulation par OptiSystem sur deux systèmes de transmission, le premier sans régénération et le deuxième comportera un système avec un régénérateur Mamyshev

Chapitre I : Généralité sur les systèmes de transmission par fibre optique

I.1 - Les Réseaux :

I.1.1 - Généralités sur les réseaux

Définition :

Un réseau de communication est un ensemble de machines interconnectées selon une liaison spécifique, Ces machines respecte un certain protocole à suivre afin d'échanger des flux d'informations [1].

L'optique offrant la possibilité d'accès à des débits très élevés et de grandes capacités de transport de l'information, les télécommunications optiques se sont tout naturellement imposées dans le monde de la transmission des données. Différents types de liaisons, terrestres ou sous-marines, adaptées aux demandes en termes de distance et de capacité, couvrent maintenant notre globe. On distingue les réseaux dits « longues et très longues distances », « métropolitains » ou d' « accès »[2] .

I.1.2 - Réseau LAN

-Les réseaux locaux (ou alors Local Area Network) encore appelés réseaux de distribution ou réseaux d'accès. Ils représentent le dernier maillon et finissent d'acheminer les informations à l'abonné. Ils sont donc plus courts.

- Il est également nommé réseau de distribution ou d'accès. C'est la dernière partie du réseau de télécommunication, celle qui relie l'abonné et le dernier autocommutateur.

-Sa longueur varie de 2 à 50 km et sa capacité est au plus du même ordre de grandeur que celle du réseau métropolitain

I.1.3 - Réseau MAN

-Les réseaux métropolitains (ou bien Metropolitan Area Network) correspondent aux réseaux mis en œuvre dans une grande ville ou une agglomération et qui permettent de relier entre eux par exemple : différents arrondissements.

- Déployé entre le dernier autocommutateur à autonomie d'acheminement du réseau longue distance et une zone plus précise (arrondissement, campus, petite ville, ...), il possède un environnement souvent très complexe et divers

I.1.4 - Réseau WAN

-Les réseaux longues distances (ou les Wide Area Network). Ce sont les réseaux déployés à l'échelle d'un pays ou d'un continent et dont les nœuds sont de très grands centres urbains.

Chapitre I : Généralité sur les systèmes de transmission par fibre optique

-Il représente la couche supérieure du réseau de télécommunications et la transmission de ces informations se fait désormais sur fibre optique à une longueur d'onde de $1,55\mu\text{m}$ et à un débit élevé [3].

I.2 - La Transmission du signal :

I.2.1 - Ligne de transmission :

Le principe d'une ligne de transmission se résume par la description d'une ligne point-à-point.

Donc elle se compose d'un bloc d'émission, d'une ligne de transport de l'information et enfin d'un bloc de réception comme l'indique la figure ci-dessous.

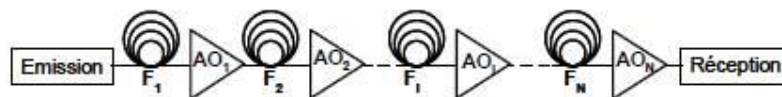


Figure 1 : Schéma d'une liaison optique point-à-point

En Optique, la télécommunication se repose sur le principe d'envoyer un signal optique via une chaîne d'éléments constitué principalement de la fibre optique

La Fibre optique :

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Elle est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine, le cœur de la fibre a un indice de réfraction légèrement plus élevé que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux [4].

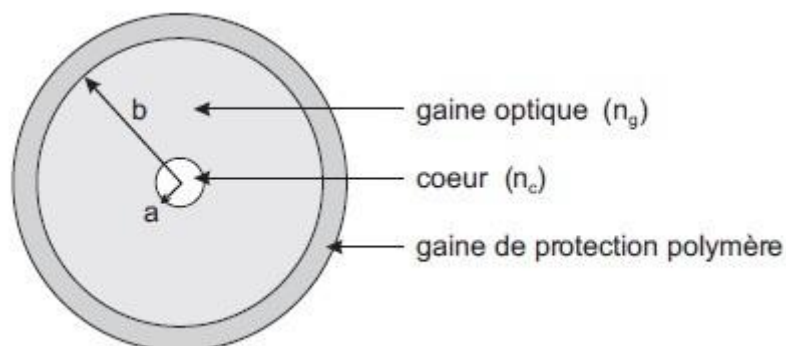


Figure 2 : Coupe d'une fibre optique indiquant les composants.

Chapitre I : Généralité sur les systèmes de transmission par fibre optique

I.2.2 - Les dégradations du signal sur la ligne de transmission

Une fois le signal optique codé émis, il est transporté via une chaîne d'éléments composée essentiellement de tronçons de fibre optique et d'amplificateurs optiques. Or, au cours de ce transport, le signal subit diverses dégradations.

- L'atténuation :

La fibre optique s'est imposée comme le meilleur moyen de transport de l'information au vu de sa robustesse, ses propriétés mécaniques de résistance aux torsions et tractions, sa faible épaisseur mais surtout sa faible atténuation. Cette dernière induit effectivement des pertes minimales en comparaison de celles induites par les câbles coaxiaux en cuivre. Cependant, elle n'est pas nulle et peut donc devenir pénalisante pour de longues distances de propagation [5].

- La Dispersion Chromatique

Un signal optique réel se caractérise par une certaine largeur spectrale, ce qui signifie qu'il n'est pas purement monochromatique mais se compose de plusieurs composantes spectrales (c'est-à-dire plusieurs fréquences ou longueurs d'onde). Or, comme l'indice de réfraction d'un milieu, telle la fibre optique, dépend de la longueur d'onde du signal qui le parcourt, les composantes spectrales de ce signal vont s'y propager à des vitesses différentes. Elles sont donc retardées les unes par rapport aux autres ce qui induit le caractère dit « dispersif » de la fibre. On parle alors d'effets de la dispersion chromatique

Lorsque l'élargissement dû à la dispersion rend les largeurs à mi-hauteur des impulsions supérieures à leur temps bit, il en résulte des recouvrements entre bits que l'on appelle « interférences entre symboles ».

- Les effets non-linéaires :

Les systèmes de télécommunications sur fibre sont conçus dans l'hypothèse d'une transmission linéaire et les effets non-linéaires sont alors des effets parasites qui dégradent les performances quand les puissances véhiculées deviennent élevées. Aujourd'hui, les systèmes de transmission à haut débit et grande distance utilisent des amplificateurs de puissance à l'émission, ce qui conduit à des puissances injectées dans la fibre très élevées et des effets non-linéaires non négligeables [7]

Chapitre I : Généralité sur les systèmes de transmission par fibre optique

Parmi ces effets la on cite :

- L'effet Kerr

L'effet Kerr, en optique géométrique, est une extension des lois de la réfraction de la lumière lors de la propagation de cette lumière dans des milieux d'indice variable. L'indice de réfraction peut alors s'exprimer sous la forme d'une équation non linéaire, proportionnellement à la puissance optique :

Une première conséquence de l'effet Kerr se traduit par un phénomène d'auto modulation de phase. L'impulsion est affectée d'une modulation de phase parasite qui croît avec la distance. La modulation de phase, combinée à la dispersion chromatique, conduit à un élargissement temporel des signaux se propageant dans la fibre.

- L'effet Raman

L'effet Raman est le plus connu des effets non-linéaires. Il s'agit d'échange d'énergie entre l'onde optique et les vibrations du matériau.

- L'effet Brillouin

L'effet Brillouin est de même nature que la diffusion de Raman, mais l'interaction se fait avec les vibrations d'ensemble du matériau, se propageant à la vitesse des ondes acoustiques.

I.2.3 - Technique de transmission

I.2.3.1 - Transmission du signal par OTDM (*Optical Time Division Multiplexing*):

Les fibres optiques possèdent généralement une bande utilisable très importante (environ 15 THz autour de la longueur d'onde 1,55 μm). Le traitement électronique des signaux électriques avant modulation et après détection n'atteint pas de telles fréquences. C'est pourquoi diverses solutions ont été imaginées pour profiter des capacités de la fibre optique et donc augmenter le transfert d'informations sur un même canal. Dans la plupart des cas, le principe reste identique : utiliser N signaux au débit D équivalent en termes de capacité à un signal au débit $N \cdot D$, irréalisable à l'heure actuelle. C'est ce qu'on appelle le multiplexage et les débits transportés seraient désormais plus importants. Le signal concentré des flux d'origines diverses est appelé signal multiplex [8].

Pour conserver l'intégrité de chaque signal sur le canal, le multiplexage introduit, entre les signaux, une séparation temporelle, spatiale ou fréquentielle.

Pour notre étude on utilisera le Multiplexage temporel dans le domaine optique (OTDM)

Chapitre I : Généralité sur les systèmes de transmission par fibre optique

Le multiplexage temporel peut être réalisé optiquement (OTDM, Optical Time Division Multiplexing). L'émetteur est constitué de N sources optiques en parallèle modulées au débit D_b bits/s. Cette technique nécessite que les signaux optiques soient ensuite codés de type RZ pour que les impulsions codées aient désormais une durée inférieure à T_b/N et que le multiplexage optique puisse se faire sans recouvrement optique.

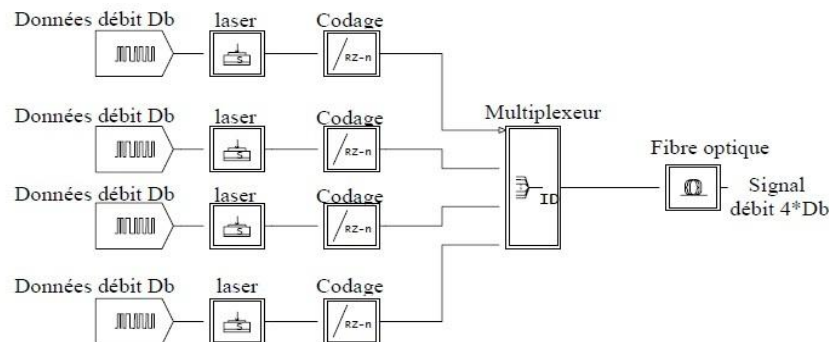


Figure 3 : Synoptique d'un multiplexage OTDM

I.2.3.2 - Codage du signal

L'information à transmettre sur la fibre est un signal électrique, afin de transmettre l'information binaire nous devons la traduire en niveau de puissance du signal lumineux, on aura donc recours à des modulations de signal, la modulation d'amplitude (ASK), modulation de fréquence (FSK), modulation de phase (PSK).

- La modulation ASK pour *Amplitude Shifting Keying*, c'est une modulation qui consiste à caractériser la séquence de bits du signal par l'existence de lumière ou pas si le symbole est respectivement un '1' ou un '0', donc la différence entre les symboles '1' et '0' est défini par un changement d'amplitude.

- La modulation FSK (*Frequency Shifting Keying*), et PSK (*Phase Shifting Keying*) consiste à différencier les symboles '1' et '0' par un changement de fréquence ou de phase respectivement.

Les techniques de codage ASK sont les plus utilisées dans les réseaux actuels et pour cette étude on utilisera le codage RZ qui est considéré comme le format le plus efficace en ce qui concerne les effets non-linéaires. De plus, le format RZ apparait comme le format de modulation de type ASK le mieux adapté aux transmissions haut débit.

Chapitre I : Généralité sur les systèmes de transmission par fibre optique

Un signal codé au format RZ est formé d'impulsions correspondante aux symboles '1' et d'absence d'impulsion pour les symboles '0'. Ainsi, deux '1' successifs seront codes par l'enchaînement de deux impulsions.

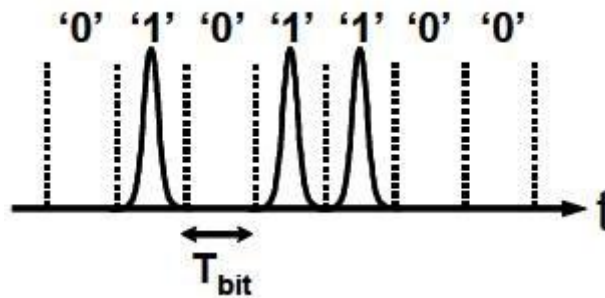


Figure 4 : Représentation temporelle d'un signal codé en RZ

I.2.3.3 - Le LASER :

La partie "émission" d'une liaison optique est composée de divers éléments dont un élément clé : le laser

Le mot laser, est un sigle anglais, *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, signifiant amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement. L'effet laser se résume par le phénomène d'émission stimulée.

En effet, dans un semi-conducteur, un électron peut passer d'un état à un autre de trois façons:

- 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

Chapitre I : Généralité sur les systèmes de transmission par fibre optique

s'introduit la notion de gain ou d'amplification du rayonnement incident puisque, à partir d'un photon, on en obtient deux [9].

Le Modulateur :

Comme on l'a déjà expliqué dans le paragraphe (I.2.3.2) de ce chapitre, pour transmettre l'information codé en RZ on doit effectuer une modulation de type ASK, la modulation d'amplitude se divise en deux types : la modulation directe et la modulation externe.

La modulation directe :

Consiste à moduler directement l'intensité de la lumière émise par le laser par le courant d'alimentation du laser son principe et présenté sur la figure suivante [12]:

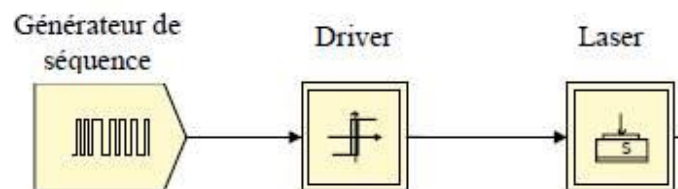


Figure 5 : Schéma synoptique de la modulation directe

La modulation externe :

Consiste à inscrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant optiquement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser [13].

Voici le schéma représentant la modulation externe :

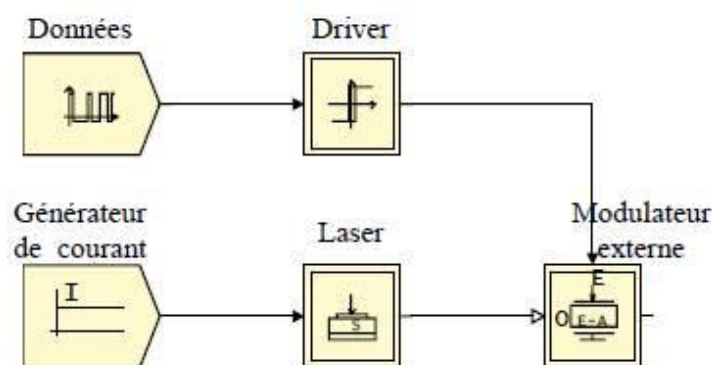


Figure 6 : Schéma synoptique de la modulation externe

Le dispositif dont on utilise pour moduler notre signal est appelé « modulateur ».

Chapitre I : Généralité sur les systèmes de transmission par fibre optique

Le Photodétecteur :

Tout comme il existe plusieurs méthodes pour écrire l'information sur le signal lumineux, il existe différentes techniques pour la récupérer. Néanmoins, le Photodétecteur est toujours nécessaire pour convertir le signal optique en électrique. Pour simplifier, nous pourrions le comparer à un compteur de photons et un générateur d'électrons.

Il existe deux méthodes de détection. La première est appelée détection directe, elle consiste en la conversion, grâce à une photodiode, des fluctuations de puissance optique porteuses de l'information en fluctuations de courant électrique. La deuxième méthode est un ensemble de méthode dites cohérentes (détecteurs hétérodyne et homodyne), dans lesquelles la porteuse optique est modulée en amplitude, en phase ou en fréquence et démodulée dans un détecteur qui réalise une fonction de mélange [10].

I.3 - Le Diagramme de l'œil :

Le diagramme de l'œil est la superposition d'un grand nombre de symboles binaires du signal émis. Il est obtenu, dans le domaine électrique après détection par une photodiode, au moyen d'un oscilloscope à échantillonnage, et d'une synchronisation à la fréquence de l'horloge.

Il permet d'évaluer la qualité du signal en termes de bruit d'amplitude, d'interférences entre symboles ou de gigue temporelle [11].

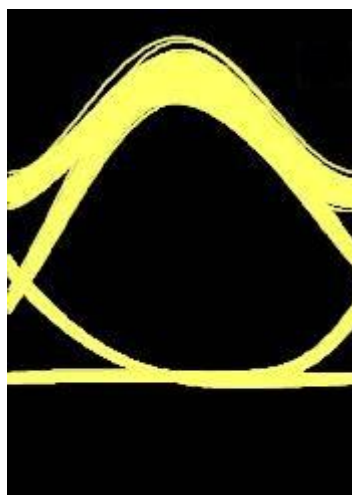


Figure 7 : Présentation d'un Diagramme de l'œil simulé

Chapitre I : Généralité sur les systèmes de transmission par fibre optique

Le taux d'erreur binaire :

Le moyen quantitatif pour évaluer la qualité d'une transmission consiste à évaluer la probabilité d'erreur, qui correspond à la probabilité de prendre une décision erronée sur un bit. Le taux d'erreur binaire (TEB) est le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre de bits émis.

Dans les problèmes d'évaluation du TEB, on se limite aux densités dont les queues tendent vers zéro d'une manière exponentielle. Après avoir estimé les différents paramètres, on calcule la probabilité d'erreur sur la transmission des 0 (P_0) et la probabilité d'erreur sur la transmission des 1, (P_1). Si les 0 et les 1 sont équiprobables, la probabilité d'erreur globale s'écrit :

$$P_e = \frac{P_0 + P_1}{2}$$

II.1 - Généralités sur le similariton :

L'évolution du champ électrique $E(z,t)$ dans une fibre optique est décrite par l'équation non-linéaire de Schrödinger (NLSE) qui dans le cas d'impulsions sous l'influence d'effets dispersifs et non-linéaires, se met usuellement sous la forme [12]:

$$\frac{\partial E(z,t)}{\partial z} = -i \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 E(z,t)}{\partial t^2} + i \gamma |E|^2 E(z,t)$$

Pour mieux comprendre l'évolution d'une impulsion dans une fibre optique, l'équation de Schrödinger non-linéaire est un outil précieux. Cette équation prenant en compte les effets dispersifs et la non-linéarité Kerr avait déjà pu prédire avec précision le comportement des solitons optiques dans une fibre. Pour modéliser l'amplification optique, un terme de gain est introduit. L'équation n'a plus alors, sous cette forme, de solutions exactes. Le recours à des techniques d'analyse auto-similaire a alors permis de proposer une expression mathématique de l'impulsion optique s'amplifiant dans une fibre.

Ce nouveau type d'impulsion a la particularité notable de conserver sa forme parabolique inchangée tout en subissant une croissance simultanée de sa puissance crête et de sa durée temporelle, un tel comportement est une belle illustration d'une évolution auto-similaire.

Dans ces conditions, un nom pour qualifier ces impulsions paraboliques s'est naturellement imposé : le similariton optique.

La modélisation de similariton :

La théorie des impulsions paraboliques repose sur l'équation non-linéaire de Schrödinger à gain constant [18]:

$$\frac{\partial E(z,t)}{\partial z} = -i \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 E(r,t)}{\partial t^2} + i \gamma |E(r,t)|^2 E(r,t) + \frac{g_0}{2} E(r,t)$$

A partir de cette équation et en considérant que l'onde peut être mise sous une forme identique à celle proposée précédemment, l'équation peut alors se décomposer en deux équations couplées :

$$\begin{cases} \frac{\partial A(z,t)}{\partial z} = \beta_2 \frac{\partial A(z,t)}{\partial t} \frac{\partial \phi(z,t)}{\partial t} + \frac{\beta_2}{2} A(z,t) \frac{\partial^2 \phi(z,t)}{\partial t^2} + \frac{g_0}{2} A(z,t) \\ \left[\frac{\beta_2}{2} \left(\frac{\partial \phi(z,t)}{\partial t} \right)^2 - \frac{\partial \phi(z,t)}{\partial z} \right] A(z,t) = \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A(z,t)}{\partial t^2} - \gamma A^3(z,t) \end{cases}$$

En considérant maintenant que la solution à ce couple d'équations doit présenter un chirp strictement linéaire, c'est à dire une phase parabolique de la forme $\Phi(z,t) = \phi(z) + C(z)t^2$, il apparaît, en faisant le changement de variables $A(z,t) = f(z)F(\tau)$ avec $\tau = t - \beta_2(z) \frac{\partial \phi}{\partial t}$, où $F(\tau)$ décrit l'évolution temporelle du profil dépendant de la variable τ représentant l'autosimilarité du profil et où $f(z)$ représente l'évolution de l'amplitude crête du champ au cours de la propagation.

II.1.1 - Propriété de similariton :

Les similaritons présentant un chirp linéaire et un profil parabolique, ils pourront donc se propager de manière autosimilaire dans une fibre passive à dispersion normale. De plus, l'amplification de ces impulsions s'effectue sans effet de wave breaking, ce qui a permis d'envisager leur utilisation dans des cavités laser fibrées pour la génération d'impulsions supérieures à 100 pJ ; énergie à partir de laquelle des impulsions multiples peuvent apparaître dans les lasers fibrés solitoniques[19].

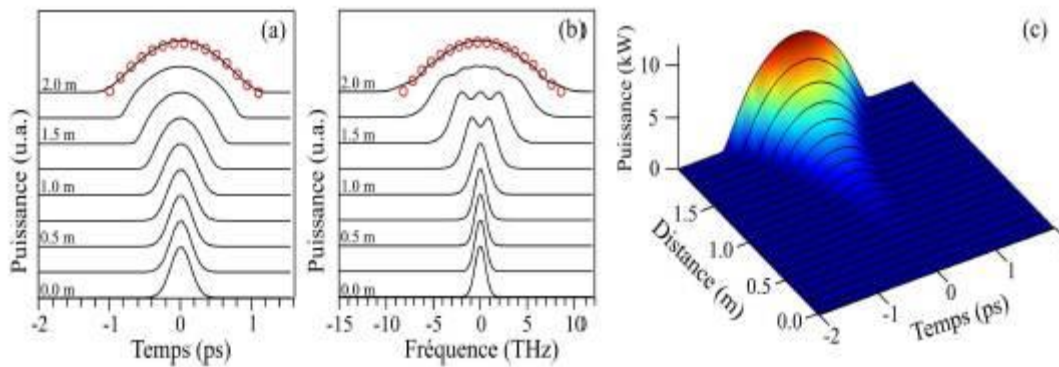


Figure : Evolution temporelle (a) et spectrale (b) d'une impulsion Gaussienne vers un similariton dans un amplificateur de 2 m (traits continus). (c) : Evolution du profil impulsionnelle dans l'amplificateur de 2 m

II.2 - Régénérateur d'impulsions :

Tout comme pour les convertisseurs en longueur d'onde, les architectures de régénérateurs optiques sont structurées à partir de portes optiques. Cependant, la régénération est un processus dédié à supprimer les dégradations subies par le signal lors de sa propagation, c'est-à-dire à la fois augmenter la puissance moyenne du signal, réduire le bruit d'amplitude ainsi que la gigue temporelle. Ainsi, son fonctionnement est complexe et peut être divisé en trois étapes appelées régénération 1R, 2R et 3R [13].

II.2.1 - Régénérateur 1R :

La régénération 1R, pour Repeater, consiste en une simple amplification du signal pour compenser son atténuation par la fibre. Il s'agit donc de la première étape de régénération puisqu'elle permet au signal de se propager plus longtemps dans les lignes de transmission. La Figure ci-dessus schématise son principe [].

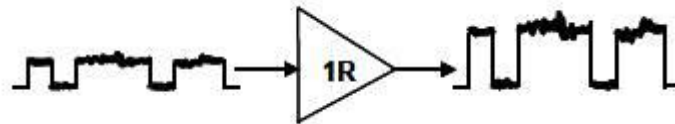


Figure 14 : Synoptique de la régénération 1R (Repeat)

Les régénérateurs 1R peuvent être soit utilisés seuls dans la ligne de transmission, soit associés à des fonctions réalisant les étapes 2 et/ou 3R.

Dans le premier cas, leur seul but est de pallier l'atténuation de la fibre. Ils doivent alors présenter les caractéristiques suivantes : gain le plus important et le plus linéaire possible, large bande spectrale et enfin excellent facteur de bruit (minimum d'émission spontanée amplifiée).

Deux types d'amplificateurs répondent à ces critères : Les EDFA et les Amplificateur Raman, dont on en parlera prochainement.

II.2.2 - Régénérateur 2R :

La régénération 2R, pour « Reshaping Repeater », est schématisée sur la Figure en dessous. Elle a pour rôle de réaliser, en plus d'une amplification, une remise en forme du signal. Ceci consiste en l'amélioration de son taux d'extinction ainsi que la réduction du bruit d'amplitude sur les symboles '1' et '0'.

Les régénérateurs 2R sont en général formés d'un amplificateur optique linéaire suivi d'une porte optique non-linéaire contrôlée par les données modulées. La porte optique peut fonctionner en auto-modulation ou en modulation croisée

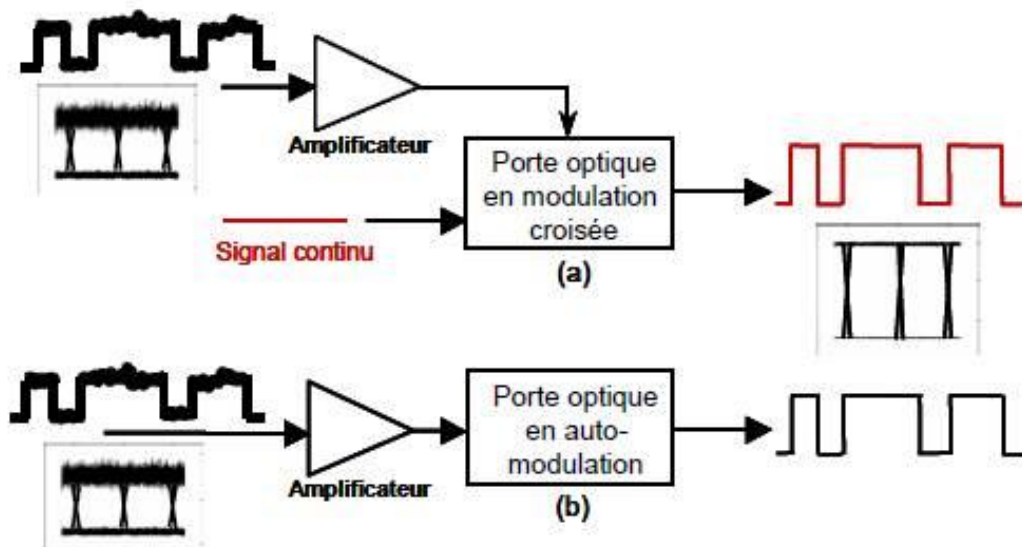


Figure 15 : Synoptique de la régénération 2R (Reshaping Repeat)

La régénération 2R par auto-modulation, quant à elle, est la technique la plus simple, puisqu'elle n'effectue pas de conversion de longueur d'onde. Mais il existe peu de fonctions optiques aujourd'hui permettant ce type de régénération de manière efficace.

II.2.3 - Régénérateur 3R :

La régénération 3R, pour Retiming Reshaping Repeater, réalise les trois étapes nécessaires à une régénération complète des données : une amplification et une remise en forme du signal, étapes 1 et 2R, ainsi qu'une resynchronisation des données dans leur temps bit. En effet, comme nous l'avons vu lors de la présentation des diverses dégradations subies par le signal au cours de sa propagation, les symboles binaires qui forment le signal peuvent se décaler temporellement au sein de leur temps bit, ce qui est causé notamment par la dispersion de mode de polarisation ou du couplage entre le signal et le bruit d'émission spontanée amplifiée. Ce décalage peut créer des interférences entre symboles ou de la gigue temporelle, phénomènes qui perturbent la détection de l'information. La re-synchronisation des données est donc une étape importante de la régénération.

Pour réaliser cette régénération complète, les dispositifs 3R sont généralement basés sur le principe des régénérateurs 2R en modulation croisée auquel est associée une récupération d'horloge.

En ce qui concerne la récupération d'horloge, il s'agit d'une fonction qui permet de générer une horloge optique de faible gigue temporelle dont la fréquence est calée sur celle des données à régénérer. Ainsi, la resynchronisation se fait en remplaçant le signal

continu de la régénération 2R par une telle horloge optique et en la synchronisant exactement pour que les impulsions se situent au milieu du temps bit .

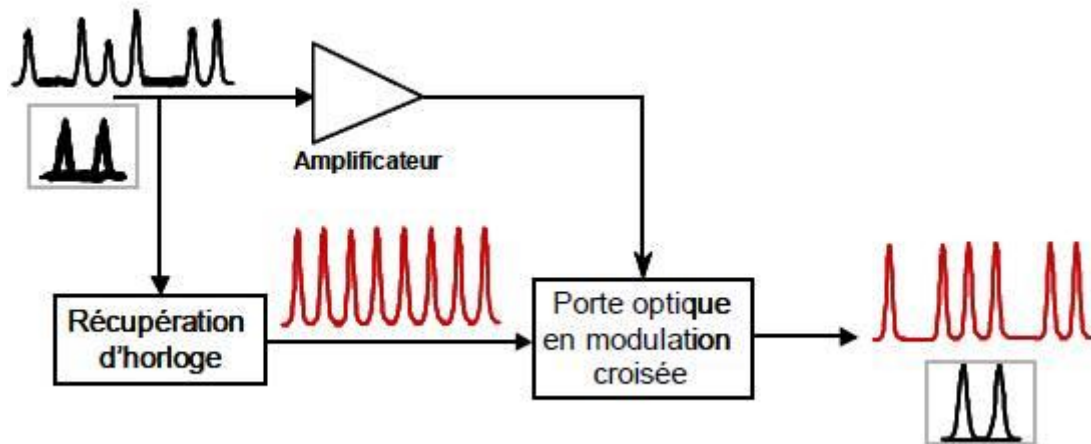


Figure16 : Synoptique de la régénération 3R (Retiming Reshaping Repeat)

II.3 Les Portes optiques :

Les portes optiques sont des fonctions dont la réponse change selon l'intensité du signal d'entrée. Elles sont donc tout a fait adaptées au traitement des signaux de télécommunications car leur comportement dépend de la modulation du signal binaire d'entrée. Ainsi, quand un '0' arrive en entrée de la porte, celle-ci reste fermée totalement ou partiellement, c'est-a-dire qu'elle laisse passer un minimum de lumière. Par contre, en réponse a un symbole '1', la porte va s'ouvrir, c'est-a-dire qu'elle va transmettre de la lumière. Il est a noter qu'il est possible qu'une porte optique réponde en inversant la polarité du signal, c'est-a-dire qu'elle s'ouvrira au passage d'un '0' et restera fermée au passage d'un '1'.

Dans la catégorie des portes optiques, on peut distinguer deux procédés de mise en œuvre : la modulation croisée et l'auto-modulation [14].

II.3.1 - La modulation Croisée :

Dans le cas de la modulation croisée, deux signaux sont injectés dans la porte optique : le signal initial a traiter ainsi qu'un autre signal nouvellement créé et non module. Le rôle de la fonction optique est alors de transférer les données du signal initial vers le second en modulant ce dernier via un procédé tout-optique. Puis le signal initial est supprimé pour, qu'en sortie, on ne récupère que les données sur la nouvelle porteuse optique.

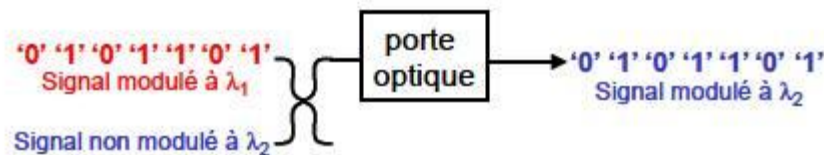


Figure13 : synoptique du fonctionnement d'une porte optique en modulation croisée

II.3.2 - L'auto Modulation :

Dans le second cas, dit d'auto-modulation, le signal module est seul à traverser la porte optique non-linéaire, L'information reste sur la même porteuse optique lorsque la fonction de régénération est recherchée ou sur une porteuse très proche lorsqu'il s'agit de réaliser une conversion de longueur d'onde. Cette technique a pour principal avantage de ne nécessiter d'aucun signal supplémentaire.

Cependant, comme nous le verrons plus en détail par la suite, dans le cas de régénération par auto-modulation, le bruit d'amplitude n'est réduit que sur un type de symboles, c'est-à-dire soit sur les '1' quand la porte optique est basée sur le principe d'absorption, soit sur les '0' quand elle est basée sur une fonction d'amplification. Ainsi, ce type de régénérateur ne peut fonctionner seul car il ne réalise qu'une régénération partielle

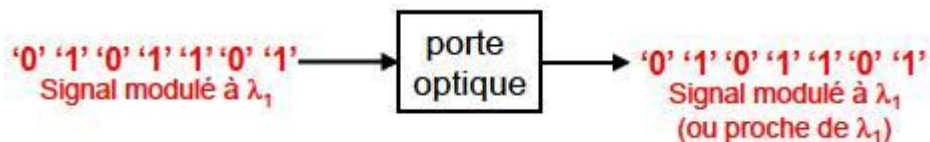


Figure12 : Synoptique du fonctionnement d'une porte optique en auto-modulation

L'amplificateur Optique :

Amplificateur EDFA : Erbium Dope Fiber Amplifier (Amplificateur à Fibre Dopée à Erbium)

Le milieu amplificateur est cette fois-ci le cœur d'une fibre optique monomode dopée avec des ions de terre rare. Pour que la fibre ne soit pas absorbante, mais amplificatrice, il faut l'associer à un pompage optique. Un multiplexeur permet de coupler le flux lumineux puissant provenant d'une diode laser de pompe et le signal à l'intérieur de la fibre. Les longueurs d'onde de pompe doivent permettre des transitions vers les états excités des ions de terre rare et créer l'inversion de population. La suite du processus de l'amplification est identique à celle vue dans le paragraphe précédent

Pour une liaison à 40 Gbits/s, les amplificateurs à fibre dopée semblent plus adéquats et ont été retenus dans cette étude [15]

II.4 Régénérateur Mamyshev :

L'auto-modulation de la phase est un phénomène très rapide, ce qui en fait un dispositif très intéressant pour les systèmes de régénération à très haut débit (plus de 40 Gbits/s)

Comme le profil de phase est différemment affecté par la dispersion chromatique, elle soit normale ou anormale, on distingue deux types de régénérateur:

Le premier est seulement applicable dans le régime de dispersion anormale en profitant de l'effet soliton.

La seconde fonctionne dans le régime de dispersion normale et il se base sur l'élargissement spectral de l'impulsion due à l'auto-modulation de phase.

L'auto-modulation de phase dans la fibre optique génère des fréquences en dehors du spectre initialement centré autour de f_s conduisant à un élargissement du spectre. Plus la puissance incidente est importante, plus le spectre s'élargit. En sortie, un filtre décalé de la fréquence centrale (ΔF) rejette les signaux de puissance faible dont le spectre n'a pas été élargi et transmet ceux dont l'élargissement spectral est supérieur au décalage spectral du filtre.

Lorsque les données de forte puissance (symbole « 1 ») traversent la fibre optique, le SPM élargit le spectre du signal optique, elles sont donc transmises par le filtre. Par contre, dans le cas des données de faible puissance (les « 0 »), le phénomène de SPM, et donc d'élargissement spectral, n'a pas lieu et le filtre coupe le signal. Le filtre joue également le rôle d'un limiteur de puissance, les fortes puissances crêtes qui entraînent un décalage en fréquence trop important (au-delà du filtre) ne sont donc pas transmises. Ainsi, si le décalage du filtre est bien choisi, tous les symboles « 1 » en sortie ont la même amplitude, ce qui entraîne une amélioration du taux d'extinction et une stabilisation du niveau de puissance des symboles « 1 ».

La régénération 2R tout-optique basée sur l'auto-modulation de phase (SPM) dans une fibre optique suivie d'un filtrage spectral est proposée par Mamyshev en 1998, ce régénérateur est le plus simple des dispositifs étudiés pour la remise en forme des signaux optiques avec la possibilité de mise en œuvre à faible coût, et semble être une technique prometteuse pour la prochaine génération de réseau tout-optique.

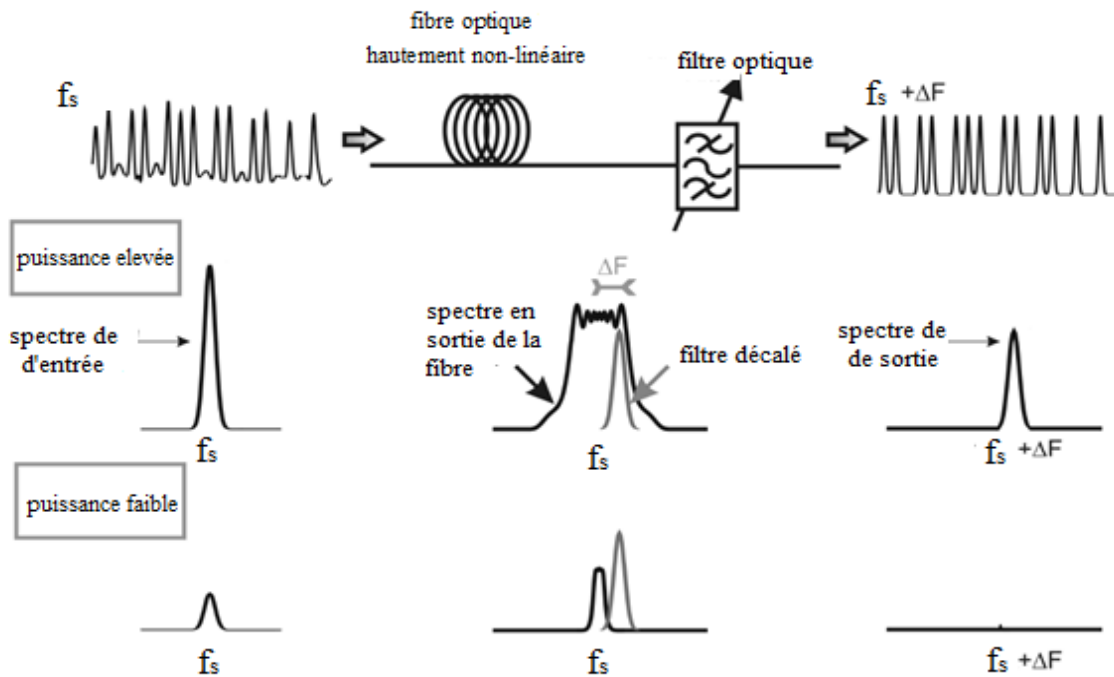


Figure 29 : La Figure ci-dessous démontre le principe de Mamyshev

Régénération 2R par Similariton

Comme une suite logique à ces travaux de la régénération 2R tout optique par l'auto-modulation de phase, un grand nombre de travaux s'en sont alors suivis et ont démontré la faisabilité de cette technique. Une évolution significative de ce concept consiste à combiner les apports des similaritons avec cette technique, le filtrage spectral des impulsions de similariton peut améliorer la capacité du régénérateur Mamyshev pour éliminer des impulsions de bruit parasite ainsi que pour réduire les fluctuations dans le niveau d'un bit de signal simultanément. Cette capacité repose sur les caractéristiques spécifiques de l'amplification auto-similaire. Il convient de noter qu'une amplification est utile pour accroître le rendement énergétique du régénérateur qui est un élément fortement dissipatif.

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

Introduction :

Dans ce chapitre, on va étudier le comportement d'un signal optique dans une chaîne de transmission à fibre optique monocanal. On aura donc à tester le comportement du signal optique sur cette ligne de transmission sans régénération et aussi sur une ligne avec régénération, tout en appliquant le multiplexage temporel optique. Et parmi les trois types de régénération qu'on a cité dans le chapitre précédent on va seulement se verrouiller dans le type de régénération 1R et 2R, donc ce chapitre sera divisé en deux parties.

À l'aide du simulateur OptiSystem on réalisera les deux systèmes de transmission (système de transmission avec régénération 1R et système de transmission avec régénération 2R), et grâce à des composants employés dans ce logiciel de simulation, on observera les changements du signal optique dans ces lignes de transmission.

Pour pouvoir juger la qualité du signal optique transmis il suffira d'observer le Diagramme de L'œil, et afin de visualiser ce diagramme dans le domaine électrique, on utilisera une photodiode et un oscilloscope à échantillonnage. La qualité du signal optique est déterminée on calculant le facteur de qualité fourni avec ce diagramme.

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

III.1 - L'intérêt d'utiliser OptiSystem :

OptiSystem est un logiciel de simulation qui nous permettra de concevoir des systèmes avec la possibilité de les analyser rapidement et toute efficacité.

La Fibre Optique comme étant la résolution de la télécommunication, c'est un moyen de très utile pour la transmission d'information et moins chère coté composition par rapport au cuivre, mais la mise en œuvre et l'implémentation de ces composant optique dans une liaison pose le problème du coût se qui nous dirige a utiliser ce type de logiciel pour pouvoir étudier nos sujet en toute liberté.

III. 2 - Première Partie : Système de transmission sans régénération :

La modélisation numérique de similariton a été prise en compte automatiquement par le simulateur employé dans cette etude.

Dans cette partie on va réaliser un schéma de transmission dans une fibre optique mono-canal et d'une longueur variable qui sera représenté dans la figure ci-dessous :

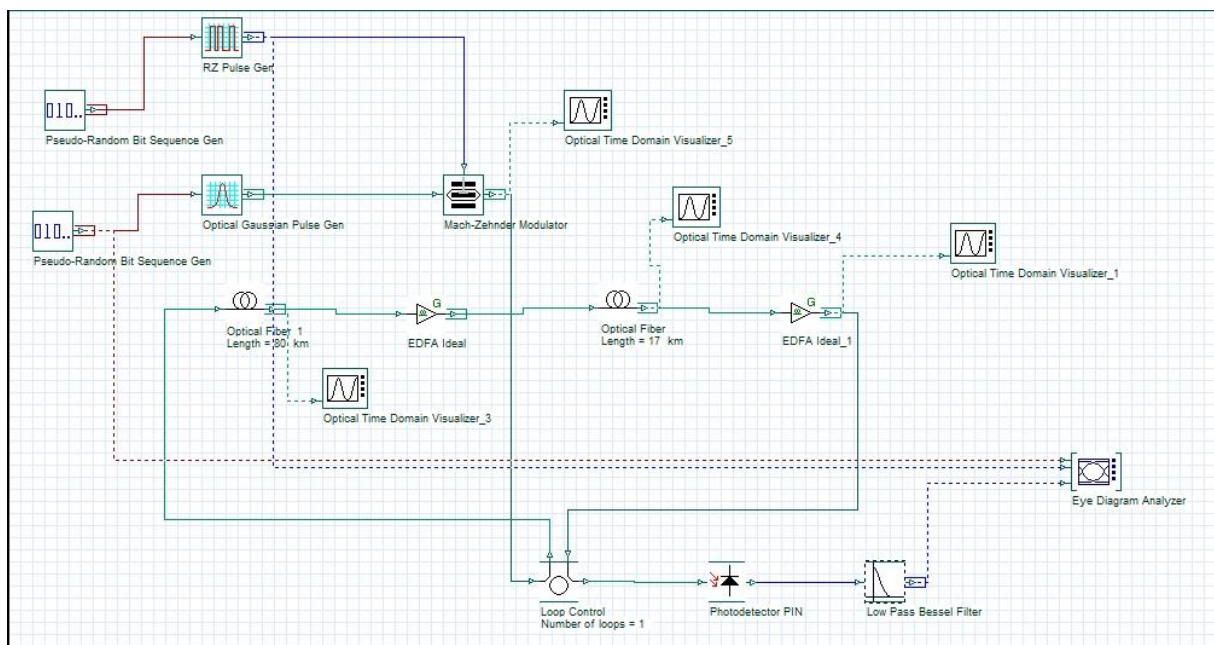


Figure 17 : Système de transmission sans régénération

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

- Tout d'abord on génère un signal gaussien optique codé en RZ (Retour-à-Zéro) à un débit de 40Gbits/s, et pour cela on module le signal électrique avec le signal optique par un modulateur Mach-Zehnder comme l'indique la figure suivante :

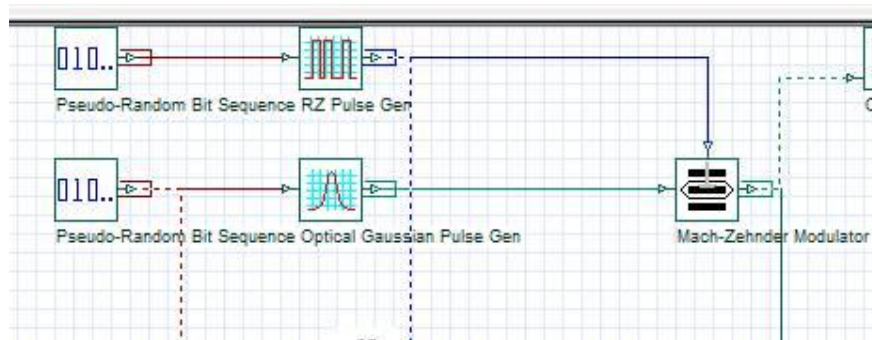


Figure 18 : Partie génératrice du signal optique du système de transmission

- En suite on fait passer le signal par la ligne de transmission qui à son tour contient des EDFA pour compensé les atténuations de la fibre optique et une boucle 'Loop Control' afin de créer un system en boucle qui nous permettra d'augmenter la longueur de la ligne de transmission.

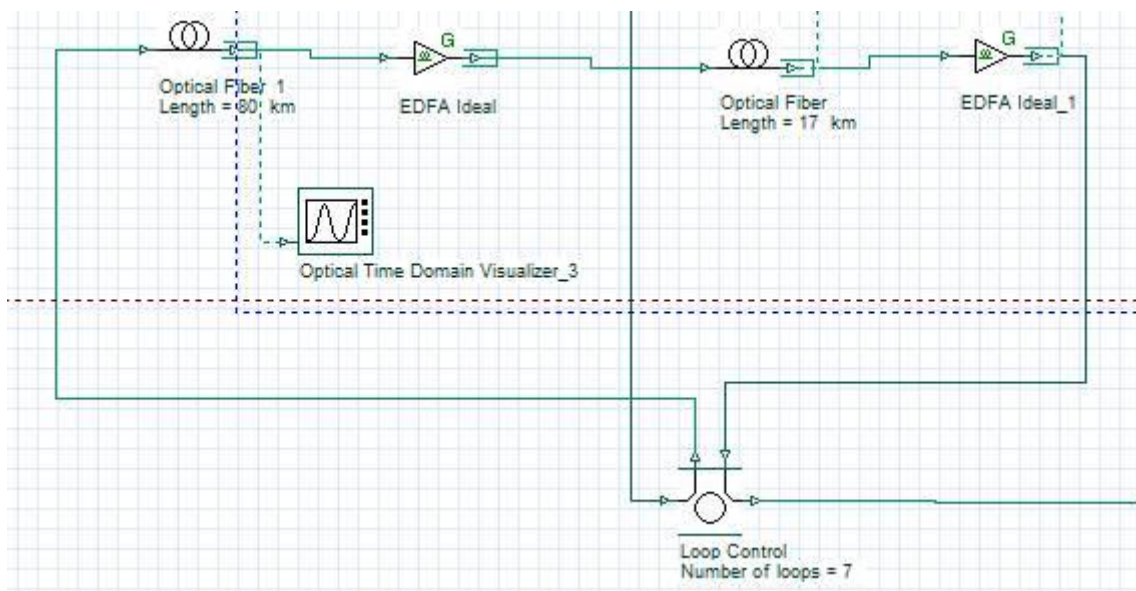


Figure 19 : Ligne de transmission du système de transmission sans régénération

- Finalement, on insère à la sortie une photodiode qui nous servira d'obtenir un signal électrique qui passera par un filtre Bessel passe bas pour obtenir un signal électrique linéaire.

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

- Dans notre application le signal de sortie du Filtre Bessel passe bas obtenu sera injecté dans un diagramme de l'œil pour déterminer la qualité du signal optique.

Analyse du signal transmis sur la ligne de transmission :

- Pour étudier le comportement du signal transmis on a implémenté des visualiseurs dans le domaine optique pour nous dessiner les graphes de la puissance du signal optique avant son entrée dans la ligne de transmission et après sa sortie de la ligne de transmission.

-En utilisant le composant *Loop Control* on augmentera la longueur de la ligne de transmission en jouant sur le nombre de boucle de ce composant. Dans notre application on a une ligne de transmission de longueur minimale L_m de 97 Km pour un nombre de boucle du *Loop Control* égale à 1.

- Pour cette analyse on variera le nombre de boucle quatre fois et on relèvera :

-le signal de sortie de la ligne de transmission pour chaque longueur de la ligne de transmission, la longueur 'L' de la ligne est égale à la longueur minimale 'L_m' multipliée par le nombre de boucle 'N' (donc : $L=L_m \times N$).

-le facteur de qualité du signal pour chaque longueur de ligne de transmission afin de déterminer la qualité du signal pour chaque à longueur de ligne, (on prendra des nombres de boucle égale à 1, 3, 6,7).

Le graph du signal d'entrée à transmettre :

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

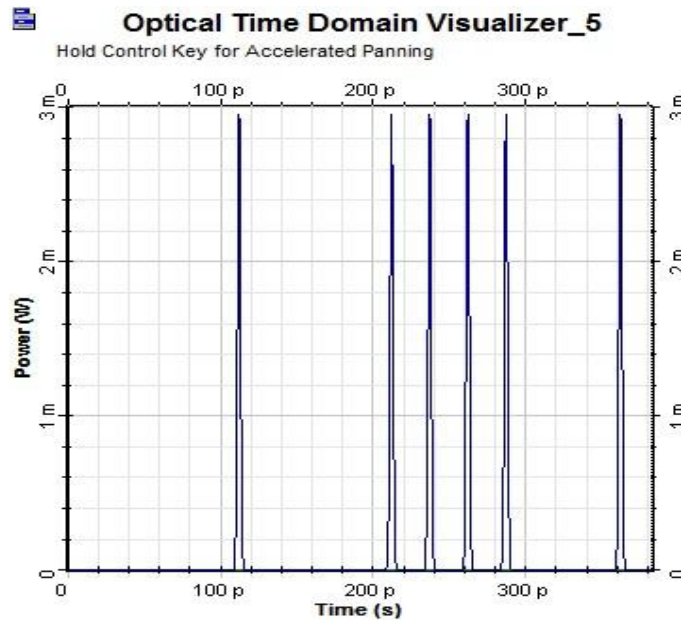


Figure 20 : Signal de l'entre à la ligne de transmission à envoyer

- Pour un nombre de boucle égale à 1 on a obtenu les signaux suivants :

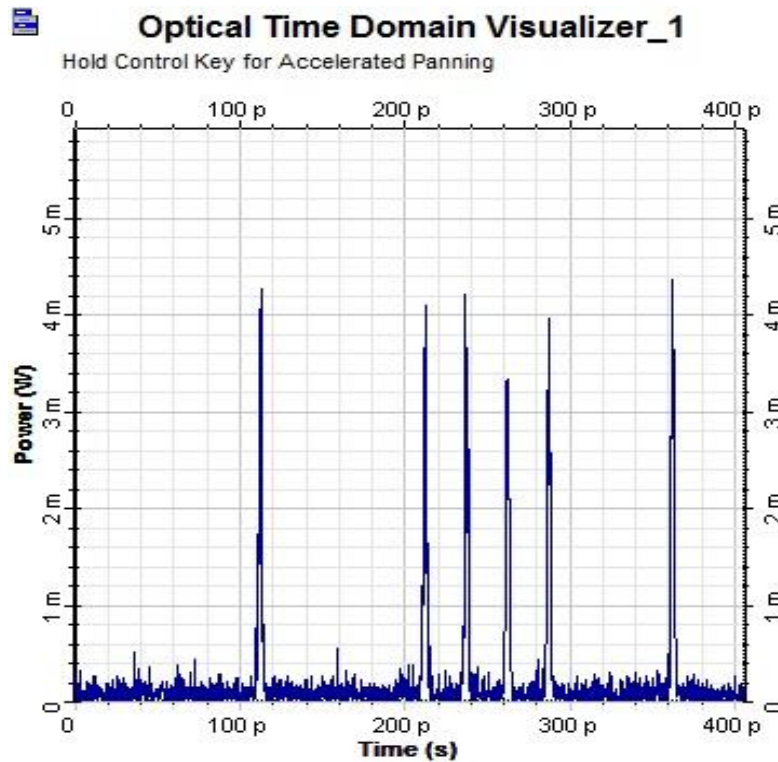


Figure 21 : Graph de la puissance du signal transmis sur la sortie de la ligne de transmission

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

-à la sortie, en utilisant le composant *Eye Diagram Analyzer* on récupérer le diagramme de l'œil du signal transmis et le facteur Q correspondant :

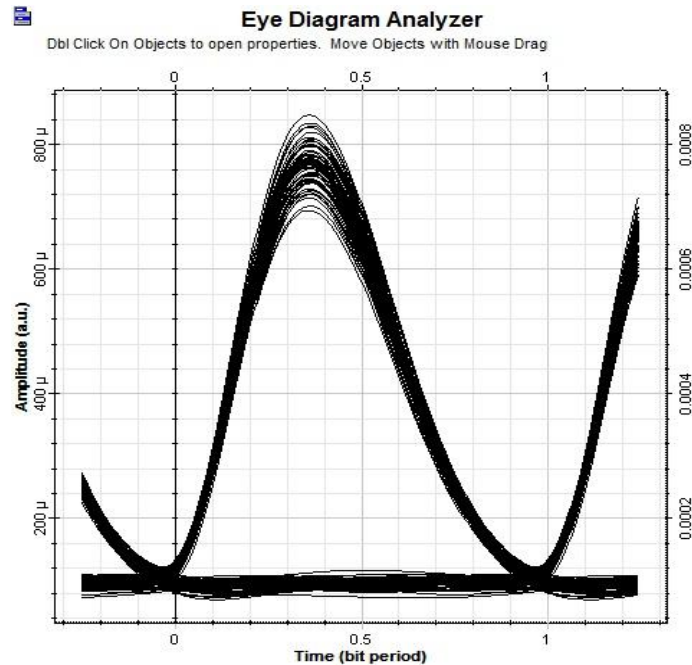


Figure 22 : Diagramme de l'œil pour une longueur de ligne de transmission de 97 Km

On a obtenu un facteur Q égale à : 17.5323 pour une seul boucle, la qualité du signal est supérieur à 6 donc la transmission sur une ligne de longueur de 97 Km est bonne malgré les atténuations rencontrées et l'apparence du bruit lors de la transmission du signal

- Pour un nombre de boucle égale à 3 on a obtenu les signaux suivants :

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

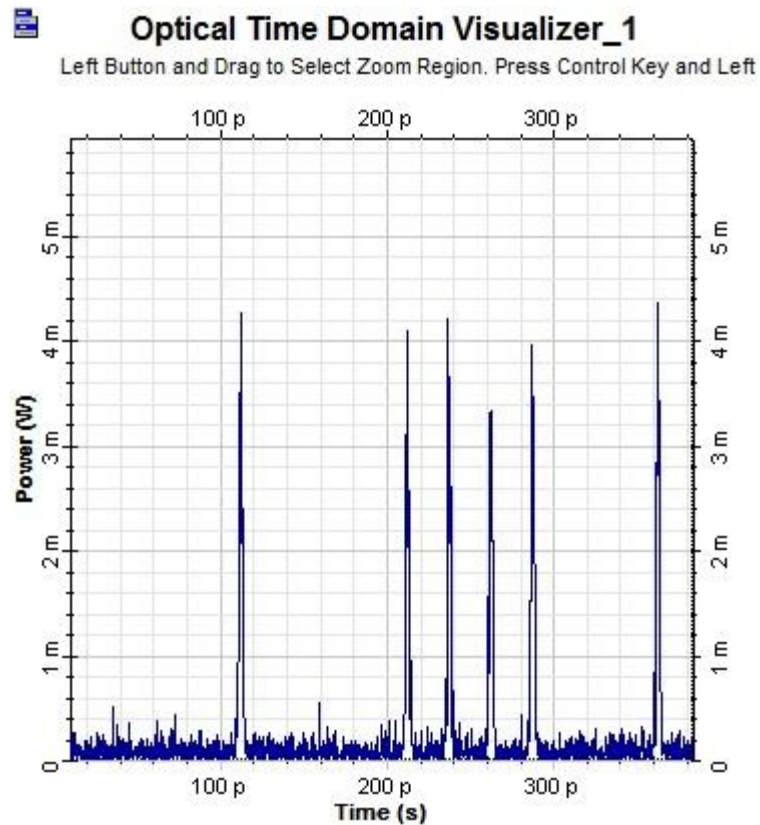
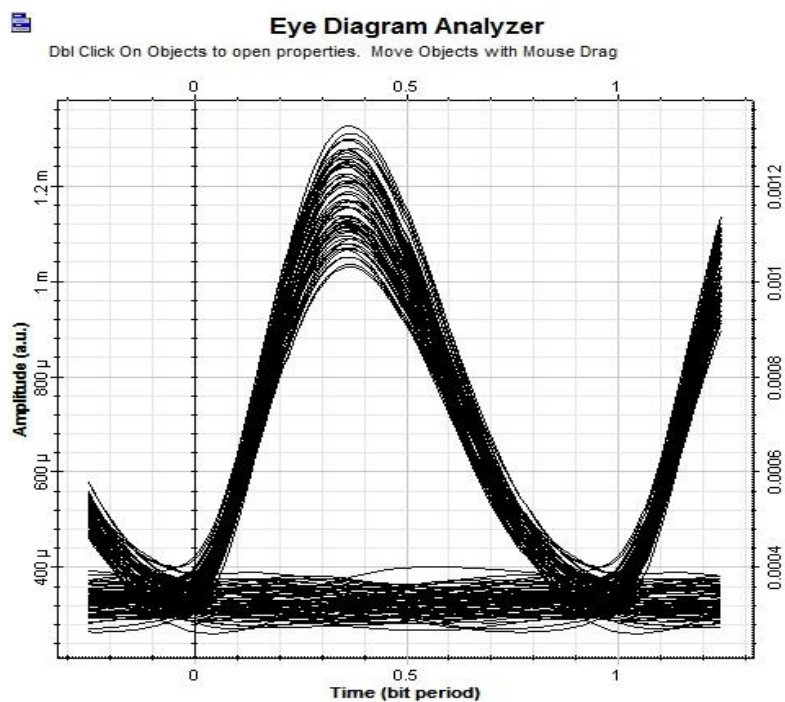


Figure 23 : Graph de la puissance du signal transmis sur la sortie de la ligne de transmission

-à la sortie, en utilisant le composant *Eye Diagram Analyzer* on récupère le diagramme de l'œil du signal transmis et le facteur Q correspondant :



Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

Figure 24 : Diagramme de l'œil pour une longueur de ligne de transmission de 291 Km

On a obtenu un facteur Q égale à : 8.31415 pour une seul boucle, la qualité du signal est supérieur à 6 donc la transmission sur une ligne de longueur de 291 Km est bonne malgré les atténuations rencontrées et l'apparence du bruit lors de la transmission du signal.

- Pour un nombre de boucle égale à 6 on a obtenu les signaux suivants :

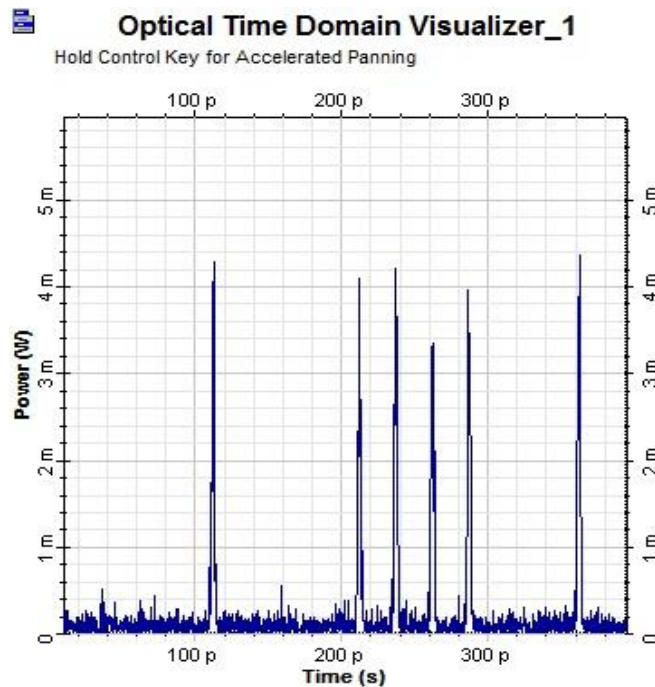


Figure 25 : Graph de la puissance du signal transmis sur la sortie de la ligne de transmission

-à la sortie, en utilisant le composant *Eye Diagram Analyzer* on récupérer le diagramme de l'œil du signal transmis et le facteur Q correspondant :

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

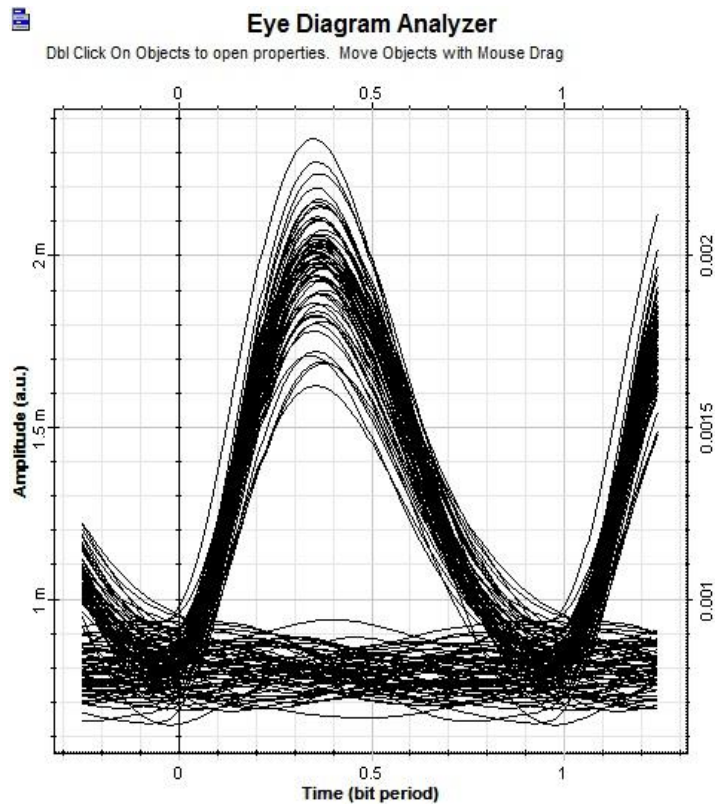


Figure 26 : Diagramme de l'œil pour une longueur de ligne de transmission de 582 Km

On a obtenu un facteur Q égale à : 6. 1242 pour une seul boucle, la qualité du signal est supérieur à 6 donc la transmission sur une ligne de longueur de 291 Km est bonne malgré les atténuations rencontrées et l'apparence du bruit lors de la transmission du signal.

- Pour un nombre de boucle égale à 7 on a obtenu les signaux suivants :

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

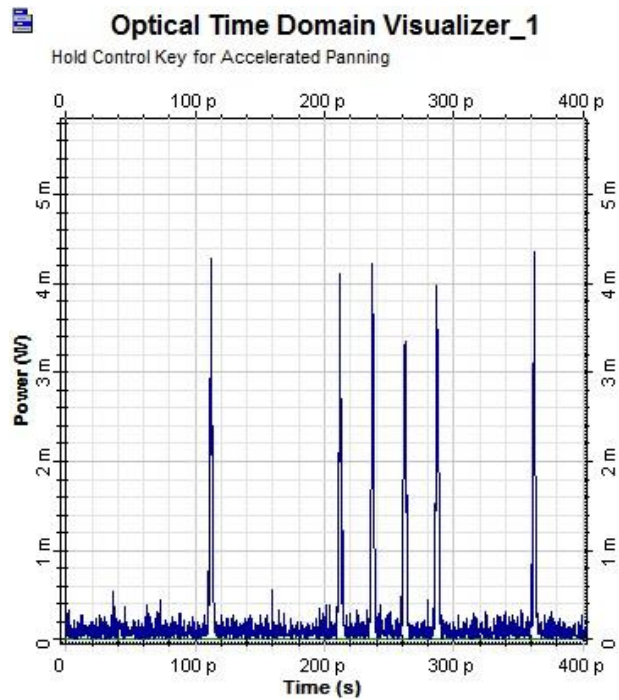
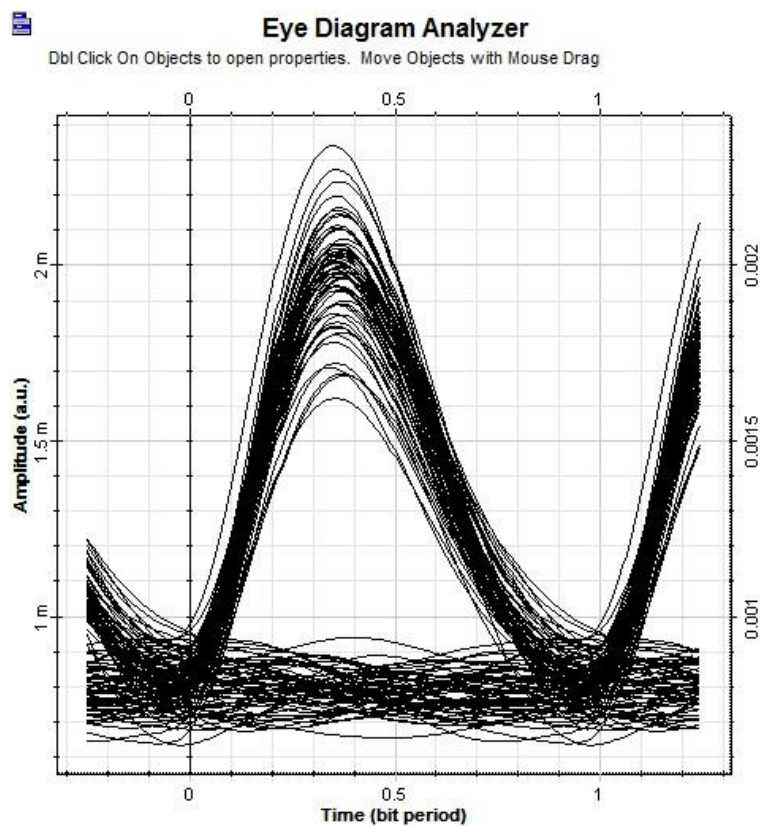


Figure 27 : Graph de la puissance du signal transmis sur la sortie de la ligne de transmission

-à la sortie, en utilisant le composant *Eye Diagram Analyzer* on récupère le diagramme de l'œil du signal transmis et le facteur Q correspondant :



Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

Figure 28 : Diagramme de l'œil pour une longueur de ligne de transmission de 679 Km

On a obtenu un facteur Q égale à : 5.49752 pour une seul boucle, la qualité du signal est inférieur à 6 donc la transmission sur une ligne de longueur de 679 Km est mauvaise due aux atténuations rencontrées et l'apparence très remarquable du bruit lors de la transmission du signal.

Conclusion :

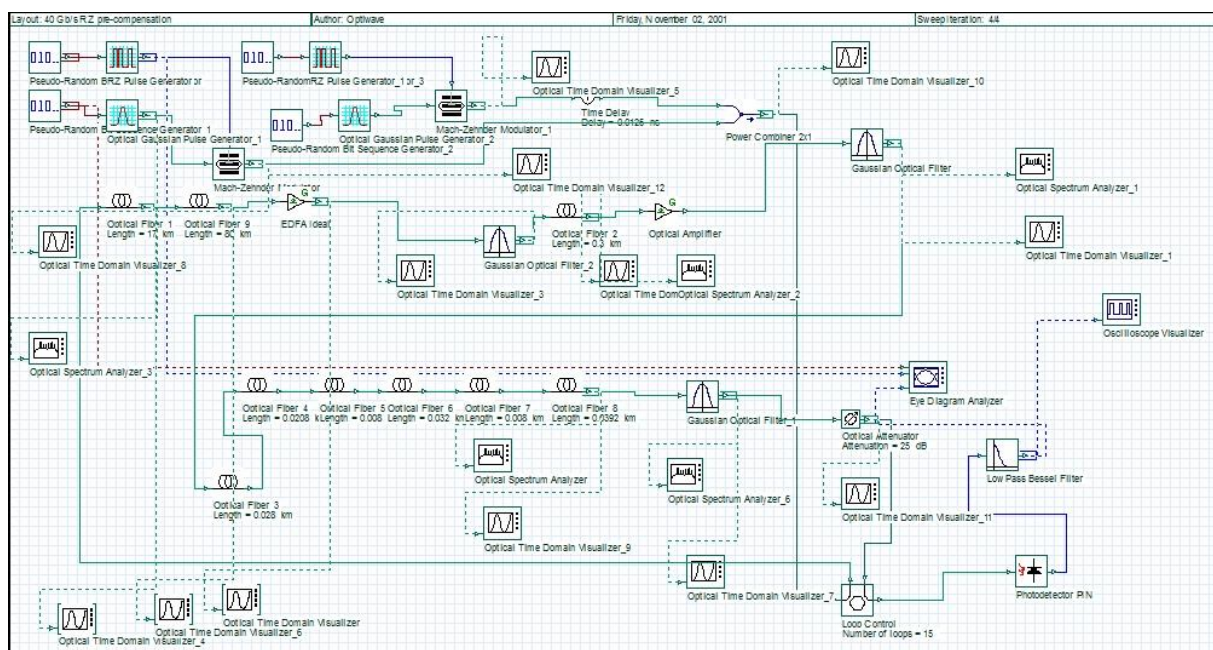
La transmission du signal sur des systèmes de transmission avec une régénération 1R nous permet de compensé un des effets non linéaire de la fibre optique sur des distances courtes (n'allant pas plus loin que 582 Km), cet effet rencontré lors de l'analyse est belle et bien l'atténuation, mais en augmentant la ligne de transmission on aura face au bruit.

En utilisant cette la régénération 1R on se limite à un débit de 40Gbits/s

III.3 - Deuxième Partie : système de transmission avec régénération 2R :

Dans la 2eme partie de la simulation on analysera la transmission avec régénération en utilisant un régénérateur 2R pour voir si on peut dépasser les limites de la régénération 1R

On réalise le schéma de transmission de la 1ere partie mais en implémentant un régénérateur Mamyshev comme représenté dans la figure ci-dessous :



Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

Figure 30 : Régénérateur Mamyshev sous OptiSystem

Cette transmission se base sur les composants cités dans la première partie de la simulation précédèrent, mais en ajoutant quelque composantes pour pouvoir implémenter le régénérateur Mamyshev

Cette transmission consiste a régénérer le signal après sa distorsion et elle se divise en 4 partie :

- Partie génératrice de deux signaux optiques multiplexé
- Une ligne de transmission basée sur une régénération 1R et de longueur minimale de 97 Km (L_m)
- Une partie de compression.
- Un photodétecteur en sortie.

Partie génératrice de deux signaux optiques multiplexé :

Le schéma ci-dessous indiquera la partie concerné par le multiplexage

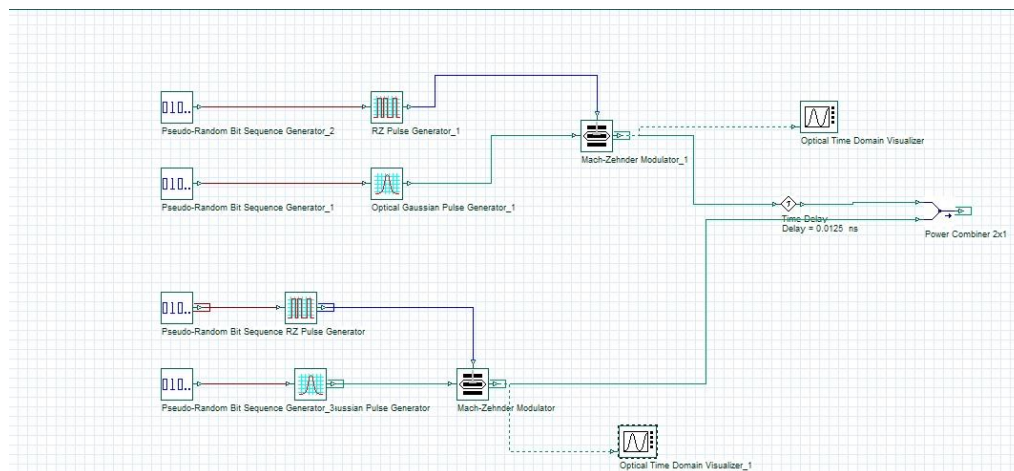


Figure 31 : Partie génératrice de deux signaux optiques multiplexé

Cette partie représente le multiplexage temporel de deux signaux à un débit de 40Gbits/s, on décale l'un des signaux par rapport à l'autre avec un décalage de 0.0125 ps

On a obtenu le signal d'entre comme l'indique le graph suivant :

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

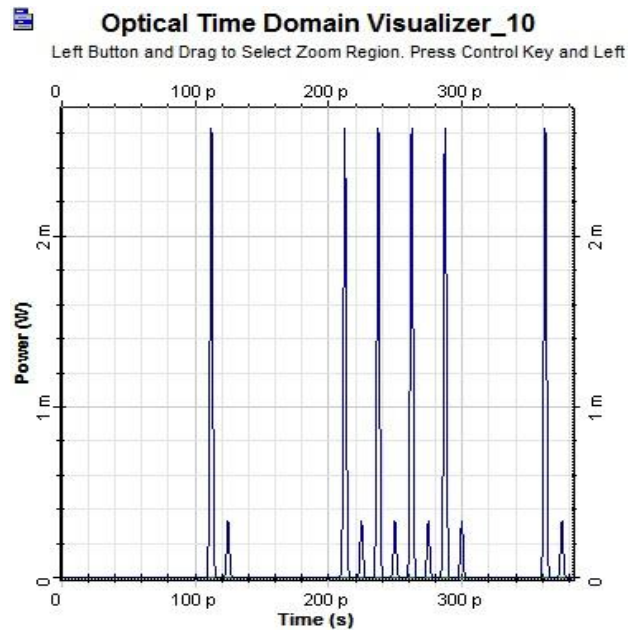


Figure 32 : Signal d'entrée de la ligne de transmission à injecter dans la ligne de transmission

Pour un nombre de boucle égale à 37 on a obtenu les signaux suivants

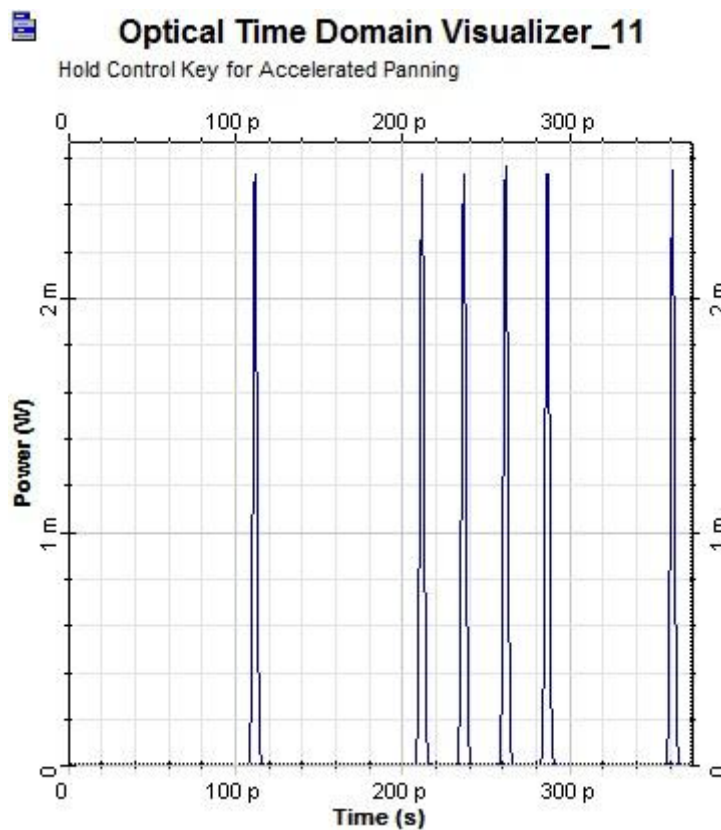
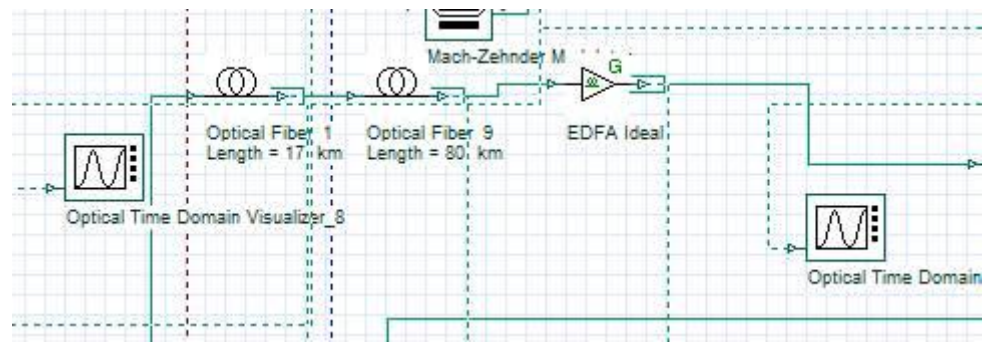


Figure 33 : Signal De sortie de la ligne de transmission

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

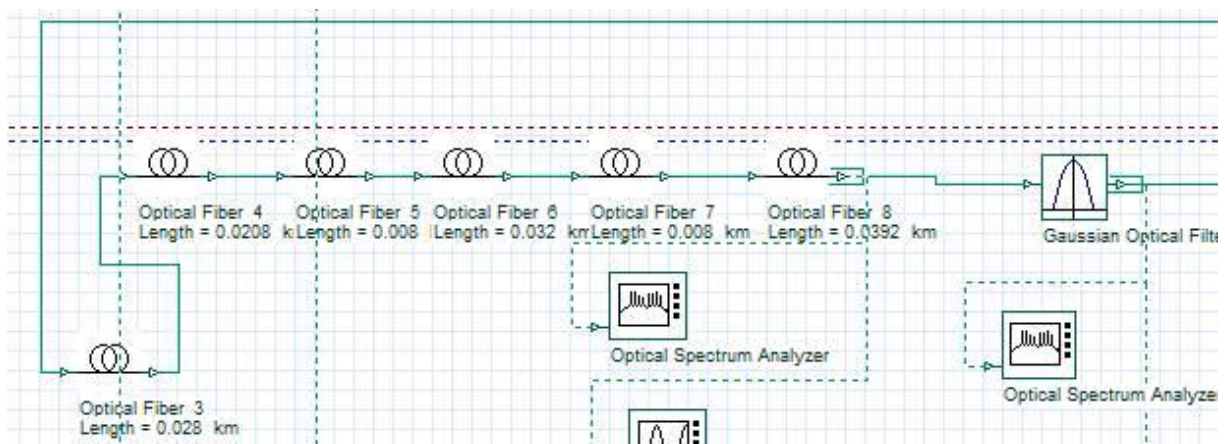
Une ligne de transmission basée sur une régénération 1R et de longueur minimale de 97 Km (L_m):



Ligne de transmission

Partie de compression :

Cette partie est simplifiée par le schéma suivant :



Partie de compression du régénérateur Mamyshev

Cette partie est composée de six tronçons de fibre avec dispersion atténuée afin de compresser le signal qui leurs traverse ce qui veut dire réduire le spectre du signal qui à été élargie due aux effets non linéaires de la fibre lors de sa transmission.

Un photodétecteur en sortie :

Chapitre III : Simulation d'une chaîne de transmission par fibre optique monocanal à OTDM

On a implémenté un photodétecteur en sortie pour pouvoir retransformer la séquence de bit portée sur le signal optique en un signal électrique une autre fois pour pouvoir déterminer sa qualité et le taux d'erreur binaire

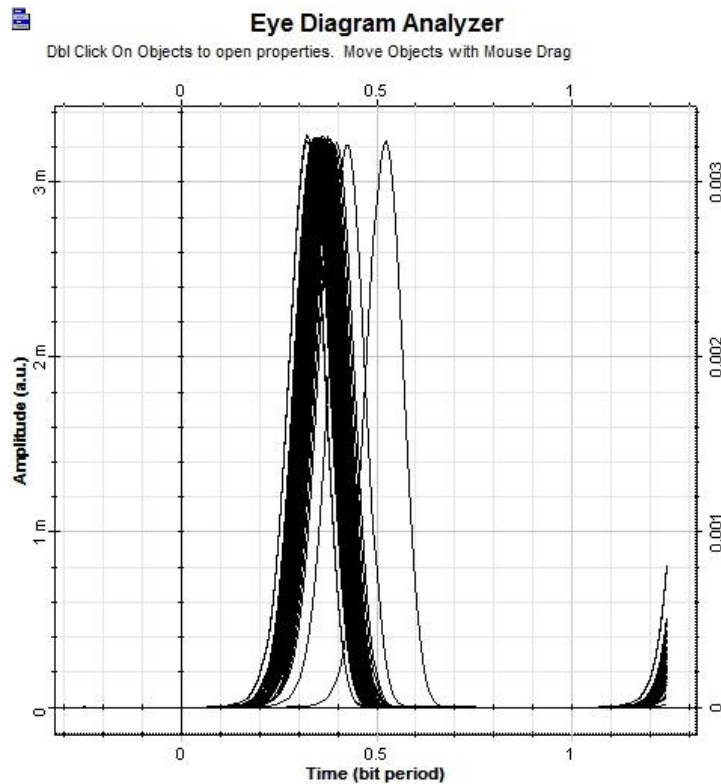


Figure 34 : Diagram de l'œil de la transmission 2R pour une ligne de 3589Km

Après avoir varié le nombre de boucles du composant *Loop Control* pour augmenter la longueur de la ligne de transmission et après plusieurs tests on a constaté que la longueur maximale pour qu'on obtient un signal de qualité (le facteur Q est supérieur à 6) pour 37 boucle avec un facteur de qualité de : 6.03106 et un taux de TEB égale à $4.07213e^{-10}$

Conclusion :

On a déduit que la longueur maximale de la ligne de transmission pour que le signal garde une bonne qualité est de : 3589 Km avec un facteur de qualité

La régénération 2R à pris en compte d'autre effet non-linéaire de la fibre optique, et on a pu éliminer le bruit rencontrer précédemment avec la transmission sans régénération.

On aussi pu réaliser une régénération pour un signal avec un débit de plus que 40 Gbits/s (environ 80Gbits/s).

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire, nous avons présenté un régénérateur 2R tout optique du signal pour les transmissions OTDM longues distances et à très hauts débits (40 Gbit/s et plus). Nous avons étudié une configuration à deux étages qui permet de restaurer la longueur d'onde initiale du signal à régénérer. Une telle configuration est indispensable si l'on désire concaténer les dispositifs. Nous avons cherché dans un premier temps à élaborer un dispositif simple étage de régénération 2R tout optique basé sur l'étude du régénérateur de Mamyshev combiné les apports des similaritons. Le dispositif qui compose le deuxième étage de régénérateur est basé également sur l'élargissement auto-similaire de manière passive. Ces deux dispositifs sont associés pour établir une configuration de régénérateur à double étages.

Ce régénérateur tout-optique élaboré est inclus dans une ligne de transmission pour tester ses performances, sa capacité de diminuer le bruit dans les '0' et les fluctuations d'intensité dans les '1' d'un flux de données optiques RZ de type OOK. Une portée de 3500 km de distance est atteinte avec un facteur de qualité supérieur à six et un débit de 80 Gbits/s.

Bibliographie:

1-Jean-Yves Didier & Samir Otmane, « introduction aux réseaux », Lsc université d'evry, p3

2-Thanh Nam Nguyen, « Etude de composants optiques à base de fibres optiques non-linéaires » thèse de doctorat de l' Université Rennes I, 2008.p20-21

3www.lafibrelyonnaise.fr/fibre-optique-définition

4-www.comsol.fr/wave-optics-module

5-Cyril. Billet. « Génération de similaritons optiques dans des amplificateurs a des amplificateurs dopées erbium » ,thèse de doctorat de l' Université de Franche-Comté, 2006. p 96

6-Brahimi Houda « Etude en bruit de systèmes optiques hyperfréquences Modélisation, caractérisation et application à la métrologie en bruit de phase et à la génération de fréquence » thèse doctorat de l' Université Paul Sabatier – Toulouse III, 2010, p17

7www.researchgate.net/publication/242159659_Propagation_autosimilaire_et_similariton_optique

8-Gewanaele Girault , « contribution a l'étude de portes optiques a bases d'amplificateurs optiques a semi conducteur pour le traitement tout-optique de signaux de télécommunication a très haut débits », thèse de doctorat de l' Université Rennes I, 2009 p 25

9-Celine Lacaux « Contribution `a la notion d'autosimilariée et `a l'`étude des trajectoires de champs aléatoires » p 86

10-Cyril. Billet, op cit, p 102

11-www.mi.parisdescartes.fr/~mea/cours/L3/L3.1.pdf

12- Cyril. Billet, op cit, p 13

13- Celine Lacaux,op cit 96

14-Gewanaele Girault,op cit, p37

15-Jean Louis Verneuil, simulation de système de télécommunication, thèse de doctorat, université de limoge, 2013,p 70

16- Thanh Nam Nguyen, op cit p 55