

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Année : 2019

Faculté: Sciences de l'Ingénierat
Département: Electronique

MEMOIRE

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

Intitulé :
**Propagation des impulsions solitoniques et
amplification Raman dans la fibre optique**

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electronique

Spécialité: Instrumentation

Par :
Ayad Hanane

DEVANT Le JURY

Président : M.Taibi	Pr	UBM Annaba
Directeur de mémoire: K.Saouchi	Pr	UBM Annaba
Examineur : F.Brik	MCB	UBM Annaba
Examineur: R.Kouachi	MCA	UBM Annaba

Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma mère qui, par son amour, ses conseils et sa présence, a œuvré pour ma réussite dans ce travail si modeste-il, qu'elle reçoit ici l'expression de mon éternelle gratitude.

A mon père pour m'avoir aidée à avancer dans la vie, qu'il peut être fier en trouvant ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations.

A mes sœurs, toute la famille "Ayad" et "Melouch"

A toutes mes amies

A tous mes professeurs

Remerciement

Avant toute chose je tiens à remercier Dieu.

Je tiens à exprimer mes remerciements a nos formateurs et

*Formatrice pour leurs aides et efforts fournis durant l'année
Scolaire.*

*Mes vifs remerciements à tous les responsables de l'Université
deBadji Mokhtar-Annaba .*

Mes profonds remerciements à Monsieur Saouchi Kaddour qui

*m'a encadrée et encouragée durant la période de préparation de ce
mémoire.*

*Un grand remerciement à M^{elle} Khadidja Khelil pour m'avoir
prodiguée ses conseils en toute occasion.*

*Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin
à élaborer ce travail.*

*Je remercie tout particulièrement mes très chers parents qui ont
toujours été présents pour moi.*

Résumé:

Un soliton optique est une impulsion localisée se propageant sans altérer son profil dans un milieu de propagation non linéaire donné. Physiquement, le soliton repose sur un équilibre entre la dispersion chromatique et la non linéarité Kerr. Principaux effets physiques intervenant dans la propagation de l'impulsion optique en régime picoseconde dans un milieu dispersif. Cependant, les milieux de propagation présentent généralement d'autres effets physiques qui peuvent modifier considérablement la propriété des solutions de type soliton. Certains effets peuvent être considérablement les propriétés comme des effets d'ordre supérieure, ils sont ajoutés à l'équation de Schrödinger non-linéaire gouvernant de propagation qui devient. Les solitons ont une large application dans les chaînes de transmission grâce à leur stabilité. Il y a une catégorie des solitons spéciale dite « solitons Raman » nécessite une étude approfondie vue l'importance de l'effet Raman sur les solitons, Dans mon travail, nous allons montrer l'effet Raman autant qu'amplificateur et son effet sur les solitons d'ordre supérieur.

Mot clé: Soliton optique, , L'équation de Schrödinger non linéaire(NLSE), Amplification Raman.

Abstract:

An optical soliton is a localized pulse propagating without altering its profile in a given nonlinear propagation medium. Physically, the soliton is based on a balance between chromatic dispersion and non-linearity Kerr. Main physical effects involved in the propagation of the optical pulse in picosecond regime in a dispersive medium. However, propagation media generally have other physical effects that can significantly modify the property of soliton-type solutions. Some effects can be considerably properties as higher-order effects, they are added to the non-Schrödinger equation. -linear governing of propagation that becomes. Solitons have a wide application in the chains of transmission thanks to their stability. There is a special category of solitons called "Raman solitons" requires a thorough study considering the importance of the Raman effect on solitons, In my work, we will show the Raman effect as much as amplifier and its effect on the solitons of higher order.

Keyword: Optical soliton,, The nonlinear Schrödinger equation (NLSE), Raman amplification.

المخلص

السليتون البصري هو نبضة موضعية تنتشر دون تغيير مظهرها في وسط انتشار غير خطي معين. فيزيائيًا، يركز السليتون بين التشتت اللوني وغير الخطي كار، الاثار الفيزيائية الرئيسية التي ينطوي عليها انتشار النبضة البصرية في نظم بيكو ثانية في وسط تشتت. ومع ذلك فان وسائط الانتشار عموما لها تاثيرات مادية اخرى يمكن ان تعدل بشكل كبير خاصية الحلول من نوع سوليتون. ويمكن ان تكون بعض التاثيرات خواص كبيرة كتاثيرات عالية المستوى وتضاف الى معادلة غير خطية شرودنجر. الحكم الخطي للنشر الذي يصبح تتمتع سوليتون بتطبيق واسع في سلاسل النقل بفضل ثباتها هناك فئة خاصة من سوليتون تسمى سوليتون رامون تتطلب دراسة شاملة تدرس اهمية تاثير رامان على سوليتون في عملي. سوف نظهر تاثير رامان بقدر مضخم الصوت وتاثيره على سوليتون من اجل اعلى .

. **الكلمة المفتاحية** البصرية الضوئية، معادلة شرودنجر ، تضخيم رامان

Table de matière

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Liste de figure.....	III
Liste de symbole.....	IV
Résumé.....	V
Introduction Générale.....	1
Chapitre 1:Generalites sur la fibre optique	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Notions de base sur la fibre optique.....	4
I.3 Les différentes type de fibre optique.....	5
I.3.1 La fibre monomode.....	6
I.3.2 La fibre multi mode.....	6
I.4 Les avantages de la fibre optique.....	8
I.5 L'atténuation de la fibre optique (les pertes de signal).....	8
I.6 La dispersion chromatique.....	10
I.7 L'effet Kerr optique.....	12
I.8 Conclusion.....	12
Chapitre 2: Les effets Solitonique	
II.1 Introduction	13
II.2 Rappel historique sur les Solitons optiques.....	13
II.3Théorie de les effets Solitoniques	14
II.4 Modélisation de la propagation des Solitons	15

II .4 .1 L'équation de Schrödinger non linéaire.....	15
II. 5 Le soliton fondamental et les solitons d'ordres supérieurs.....	17
II .6 La Méthode de Fourier a pas divise.....	19
II .7 La fission des Solitons d'ordres supérieurs.....	22
II 8/conclusion.....	22

Chapitre 3:Amplification Raman

III 1 Introduction.....	23
III 2 La diffusion Raman stimuler.....	23
III 3 L'effet Raman.....	25
III 4 Amplificateur Raman.....	25
III 5 Conclusion.....	...27

Chapitre 4:LA SIMULATION

IV 1 Introduction.....	28
IV 2 Atténuation	28
IV.3 Les solitions de l'équation de Schrödinger non linéaire(NLSE).....	28
IV 4 Les Solitons d'ordres supérieurs.....	30
IV.5 Amplification Raman.....	34
IV.1 Amplification Raman sur un Soliton fondamental.....	34
IV. 2 L'effet d'atténuation d'un Soliton fondamental et amplification Raman d'un soliton d'ordre1 (soliton fondamental).....	34
IV.3 Amplification Raman dans un soliton d'ordre supérieure :(La fission des soliton).....	35
IV.6 Conclusion.....	36
Conclusion Générale.....	37

Liste des figures

Chapitre I:

- ❖ **Figure(I.1)** Schéma d'un fibre optique.....4
- ❖ **Figure(I.2)** Coupe et profil d'indice de réfraction d'une fibre à saut d'indice et d'une fibre à gradient d'indice5
- ❖ **Figure(I.3)** Fibre monomode.....6
- ❖ **Figure(I.4)** Fibre multi-mode.....7
- ❖ **Figure(I.5)** Propagation de la lumière dans les trois types de fibre.....7
- ❖ **Figure(I.6)** Le spectre de la Perte d'une fibre monomode.....7
- ❖ **Figure I.7** Evolution typique de GVD et VG en fonction de la longueur d'onde.....11

chapitre II:

- ❖ **Figure II .8** Soliton optique..... 14
- ❖ **Figure II.9** Action de l'auto modulation de phase et la dispersion.....15
- ❖ **Figure(II.10)** L'évolution Temporelle d'un soliton d'ordre 3 en fonction de la longueur de propagation.....18
- ❖ **Figure(II.11)** La méthode de Fourier a pas divisé.....20
- ❖ **Figure(II.12)** Split step Fourier.....21

Chapitre III:

- ❖ **Figure(III.13)** (a) Diagramme représentant les échanges d'énergie intervenant dans le processus amplificateur Raman. (b) Forme spectrale du gain Raman pour une pompe située à 1455.....27

Chapitre IV :

- ❖ **Figure(IV.1):** atténuation du Soliton Fondamental par les pertes de la Fibre.....28
- ❖ **Figure IV (2. a):**L'impulsion Gausienene.....29
- ❖ **Figure IV (2. b):**L 'impulsion sécante -hyperbolique (Sech).....29
- ❖ **Figure (IV 3):**L'impulsion super-gaussienne.....30
- ❖ **Figure (IV .4 .1 a):** Soliton d'ordre2 sur une période.....30
- ❖ **Figure (IV.4.4 b) :** Soliton d'ordre 2 sur une période.....31
- ❖ **Figure (IV .4.2a):** Soliton d'ordre 3 sur une période.31
- ❖ **Figure (IV 4 .2.b) :** évolution du Soliton d'ordre 3.....32
- ❖ **Figure (IV 4.3.a):**Soliton d'ordre 4 sur un période.....32
- ❖ **Figure (IV 4 .3.b) :** évolution du Soliton d'ordre 4.33

- ❖ **Figure (4.4.a) :** soliton d'ordre5 sur une période.....33
- ❖ **Figure (IV .4.4.a) :** évolution du Soliton d'ordre 5.34

- ❖ **Figure (IV .5.1) :** Amplification Raman d'un soliton fondamental.....34
- ❖ **Figure (IV .5.2) :** Effet d'atténuation d'un Soliton1.....35
- ❖ **Figure (IV .5.3)** Amplification Raman d'un Soliton135
- ❖ **Figure (IV .5.4.a) :**Soliton d'ordre 2.....35

❖ Figure (IV .5.4.b):Amplification Raman dans un soliton 2.....	35
❖ Figure (IV .5.5.a) :Soliton d'ordre 3.....	35
❖ Figure (IV .5.5.a) : Amplification Raman dans un soliton d'ordre 3.....	35
❖ Figure (IV .5.5.a) :Soliton d'ordre 4.....	36
❖ Figure (IV .5.5.a) :Amplification Raman.....	36
❖ Figure (IV .5.6.a) :Soliton d'ordre 5.....	36
❖ Figure (IV .5.6.b):Amplification Raman dans un soliton 5.....	36

Liste des symboles

- ng:** Indice de réfraction de la gaine de la fibre optique.
- nc:** Indice de réfraction de cœur de la fibre optique.
- α :** Coefficient d'atténuation.
- Pi:** Puissance injecté dans la fibre.
- Ps:** Puissance de sortie de la fibre.
- λ :** Longueur d'onde.
- ω :** La fréquence.
- $\beta(\omega)$:** Constante de propagation.
- β_0 :** Constante de propagation a pulsation centrale
- β_1 :** Dispersion 1^{er} ordre
- β_2 :** Dispersion second ordre
- n:** Indice de réfraction.
- n0:** Indice de réfraction linéaire du milieu.
- n2:** Coefficient non-linéaire caractéristique du matériau.
- Vg:** Vitesse de groupe
- GVD:** Dispersion de la vitesse de group.
- E:** Champ électromagnétique.
- I:** Intensité.
- $X^{(3)}$:** Susceptibilité d'ordre 3eme du matériau.

- \vec{P}_{NL}** : Polarisation non linéaire.
- \vec{P}** : Polarisation.
- $-ut$** Caractérise l'évolution temporelle de l'onde se propageant dans une Direction.
- $-uux$** Décrit le redressement de l'onde (le non linéarité de l'onde).
- $-\gamma$** : Le coefficient de dispersion.
- $-$** : Le coefficient non linéaire qui peut être prendre n'importe quel nombre **réel**.
- $-KDV$** : Kerteweg et de Vries.
- $-SG$** : Sine-Gordon
- $-NLSE$** : Equation de Schrödinger Non Linéaire.
- $-A(Z, T)$** : Est l'enveloppe lentement du soliton optique.
- $-K$** : Nombre d'onde.
- $-SPM$** : Self-Phase Modulation ("auto-modulation de phase") .
- $-N$** : Le paramètre qui détermine la stabilité du soliton .
- $-L_{NL}$** : Longueur non linéaire.
- $-L_D$** : Longueur de la dispersion.
- $-P_0$** : Puissance crête.
- $-Z_0$** : La période du soliton.
- $-D$** : La dispersion.
- $-N$** : Le non linéarité.
- $-\omega P$** : Fréquence de pompe.

- ω_s : Fréquence de stocks.
- g_R : Coefficient gain Raman.
- I_p : Intensité pompe.
- I_s : Intensité stocks.
- **SRS**: Stimulated Raman Scattering
- **ISRS**: Intra-pulse Stimulated Raman Scattering
- C : Célérité de la lumière dans le vide.
- ω : Fréquence de l'onde.
- τ_R : Taux de Raman.
- T_R : Est liée a la fonction de réponse Raman
- F^{-1} : Fourier inverse
- F : Fourier

Introduction Générale:

L'emploi des fibres optiques dans les systèmes de transmission d'information (vidéo, échange de fichier, travail à distance, etc.) c'est en progrès depuis 1960, grâce à leur avantage de supporter l'information à travers longues distances, l'isolation électrique, la conduite des taux de transmission de données très élevés, et le non affectation par le bruit.

En parallèle, le laser a été inventé en 1961 cette maîtrise a permis de nombreux développements tel que les solitons au premier lieu, les amplifications optiques.....

Pendant quelques décennies passées, les solitons ont été le sujet des études théoriques et expérimentales intenses dans presque tous les domaines de la physique comme: l'hydrodynamique, le plasma, l'optique non linéaire, la biologie moléculaire, la théorie des champs, et l'astrophysique.

Mais sûrement, dans l'optique est le domaine où l'étude des solitons est la plus riche, l'information est transportée par les solitons qui se propagent idéalement sans se disperser, ni changer la fréquence. L'utilisation des solitons dans les communications améliore l'utilisation des fibres optiques puisqu'ils permettent de transporter une grande quantité d'information sur de très longues distances.

En Générale, les solitons se manifestent pratiquement dans tout le milieu qui possède des effets dispersifs et non linéaires. C'est le terme d'onde solitaire qui fut utilisé lors de la première observation du phénomène soliton par l'architecte naval John Scott Russel en 1834. Dans le domaine de l'optique non linéaire les solitons optiques résultent quand la dépendance non linéaire de l'indice de réfraction à l'intensité balance exactement la dispersion chromatique linéaire

La non linéarité compense l'élargissement due de la dispersion si le soliton est temporelle, ou bien la diffraction si le soliton est spatial comme il existe deux types de dispersion : "normal et anormal", la compensation avec l'effet de Kerr dépend du signe de la dispersion.

Pour le soliton si la non linéarité et la dispersion doivent être exactement compensées, ceci est valorisé par les deux longueurs non linéarité et dispersives, mais dans la réalité si la longueur non linéaire vaut double ou triple la valeur dispersive ces solitons sont dit "soliton d'ordre supérieur".

Ce mémoire est divisé en 4 chapitres donc l'organisation de cette mémoire est organisée comme suit:

*Après quelques rappels sur les fibres optiques nous présentons dans le premier chapitre les notions de base et les avantages de ce phénomène optique et nous avons donné les conditions et les caractéristiques nécessaires pour assurer une propagation d'un seul mode à l'intérieur d'une fibre optique : C'est le cas d'une fibre monomode, et les effets non linéaires et linéaires sont aussi décrits dans ce chapitre.

*Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté un petit rappel sur les solitons optiques, et comment ils se forment, la modélisation des solitons est faite par des équations : L'équation de Schrödinger qui est l'équation la plus célèbre. Nous avons fait une description de la méthode de diffusion inverse qui est utilisée pour résoudre analytiquement l'équation de Schrödinger non linéaire.

*Le troisième chapitre est consacré aux solitons Raman et consacré à l'étude de son effet linéaire "La diffusion Raman" sur les solitons d'ordre supérieur, et les avantages de cet amplificateur par rapport aux autres amplificateurs optiques.

*Enfin, dans le quatrième chapitre sont présentés les résultats de simulation, en utilisant un logiciel plus connu qui est "Matlab 2013a", nous avons illustré les solitons de l'équation de Schrödinger, les solitons d'ordre supérieur, l'effet Raman sur les solitons fondamentaux qui sont utilisés comme amplificateurs et son effet sur les solitons d'ordre supérieur (La fission de ce dernier).

Chapitre I : Généralités sur la fibre optique

I.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter d'une manière générale la technique de l'exploitation de la fibre optique dans un réseau de transmission des données, sa structure constructive et fonctionnelle ainsi que leurs caractéristiques.

Le guidage par fibre optique est basé sur le phénomène de la réflexion totale interne qui est connue à partir du dix-neuvième siècle. L'utilisation de la gaine optique ayant un indice de réfraction légèrement inférieure à celui du cœur a mené à des améliorations considérables dans leur caractéristique de guidage en particulier la réduction considérable du nombre de modes guides.

Le domaine de fibre optique a été développée rapidement dans les années 60 [1,2], mais l'utilisation des premières fibres pour la communication optique a été retardée à cause des pertes des fibres trop élevées (~1000 dB/km). Cependant la situation changée considérablement quand les pertes de fibres optiques de silice ont été réduites au-dessous de 20 dB/Km. Cette valeur a été encore diminuée jusqu'à 0.2dB/Km près de la région spectrale de 1.55µm. Pour compenser les pertes de la fibre on utilise des amplificateurs optiques pour régénérer le signal affaibli par l'atténuation répercutée le long de la propagation de plusieurs dizaines de kilomètres.

Malgré l'invention des amplificateurs optiques au début des années 60, c'était seulement après 1987 que leur développement a été élargi [1,3]. Les fibres optiques utilisées dans les réseaux de télécommunications sont à base de silice amorphe. Cependant, plusieurs équipes de recherche s'intéressent à la réalisation de fibres optiques exotiques à base d'autres types de verres comme le verre fluoré. L'intérêt est de disposer de forts indices de réfractions et des fenêtres de transparence très décalées dans l'infrarouge.

Par contre la fibre en verre non silicée présente des inconvénients de fabrication et des pertes très élevées.

Les applications de la fibre optique sont nombreuses et variées allant de la télécommunication jusqu'à la métrologie, les capteurs et les médecines.

On utilise la fibre optique pour la transmission de l'information telle que le téléphone, l'internet et la télévision.

En médecine: la fibre optique est utilisée en chirurgie associée avec un faisceau Laser pour pulvériser un calcul Renal, découper les tumeurs et réparer une rétine.....etc.

Le transport de la lumière est une des applications importantes des fibres optiques utilisées pour l'éclairage, les décorations, l'illumination des piscines, bassinsetc.

I.2 Notion de base sur les fibres optiques

La fibre optique est un fil transparent très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données. C'est un guide diélectrique de la lumière à symétrie de révolution. Elle est constituée d'un cœur d'indice de réfraction n_c entouré d'une gaine d'indice de réfraction n_g ($n_c > n_g$) dont le tout est entouré d'une gaine mécanique (revêtement de protection) protégeant la fibre mais n'ayant pas un rôle dans le principe du guidage optique.

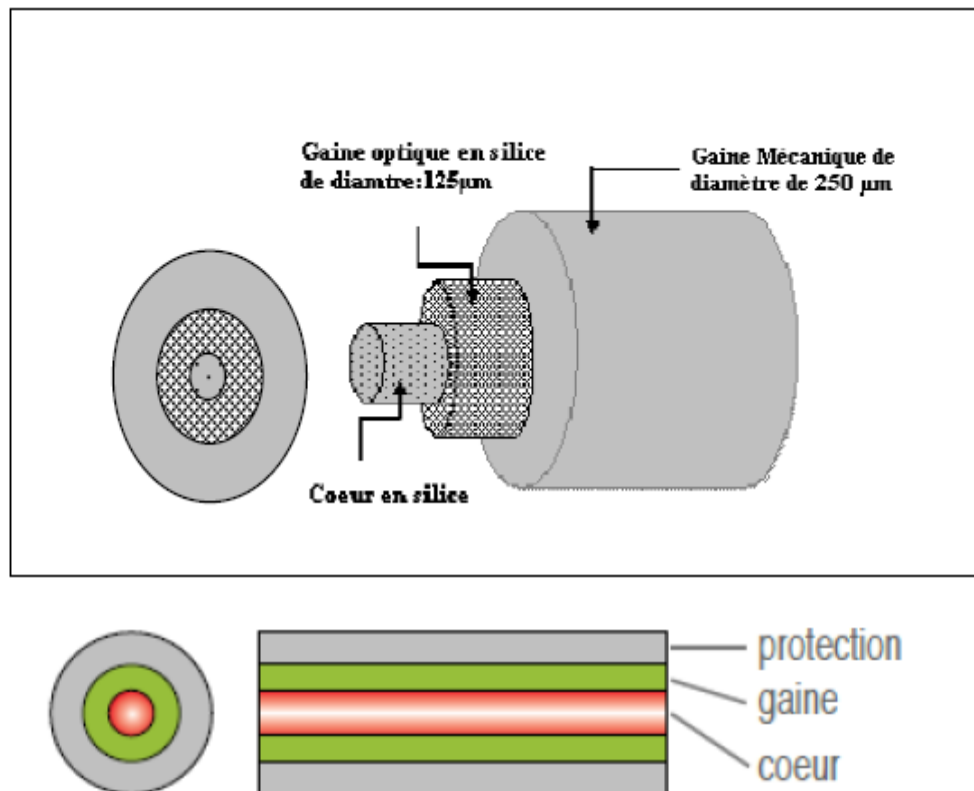


Figure I.1: schéma d'une fibre optique

Le cœur possède un diamètre allant de quelques microns à quelques dizaines de microns. L'augmentation de l'indice de réfraction de cœur est assurée par la présence de dopants qui sont généralement constitués de Germanium [1].

La gaine optique possède un diamètre de 125 µm en silice pure d'indice $n_g=1.46$, tandis que la gaine mécanique n'est là que la protection mécanique de la fibre.

*Les différents matériaux pouvant constituer une fibre optique sont les suivants:

1-les verres qui possèdent de bonnes propriétés mécaniques, mais de trop grandes atténuations (40-50 dB/ Km), sont utilisés plutôt pour de courtes distances.

Chapitre 1: Généralités sur la fibre optique

2-les liquides ont des atténuations très faibles.

3-le plastique dont les avantages sont le prix abordable et la facilité de pose est utilisé surtout dans les réseaux locaux et dans les équipements grand public.

4-la silice possède une absorption extrêmement faible pour les longueurs d'ondes courtes proches de l'infrarouge (1550 nm), mais ses propriétés mécaniques sont médiocres. C'est avec cette sorte de fibre que l'on obtient les meilleurs résultats de propagation.

-La silice est un composé oxygéné de silicium de formule SiO_2 [6] présent dans un grand nombre de minéraux tel que le quartz. La silice est un matériau dispersif (son indice de réfraction dépend de la longueur d'onde).

I.3 Les différents types de fibre optique

Il existe différents types de fibre optique classés selon le profil radial de l'indice de réfraction et des dimensions du cœur (Figure I.2)

- ✚ Selon la dimension du cœur on a :
 - ✓ Fibre monomode.
 - ✓ Fibre multi- mode
- ✚ Selon le profil d'indice de réfraction on a :
 - ✓ Fibre à saut d'indice.
 - ✓ Fibre à gradient d'indice.

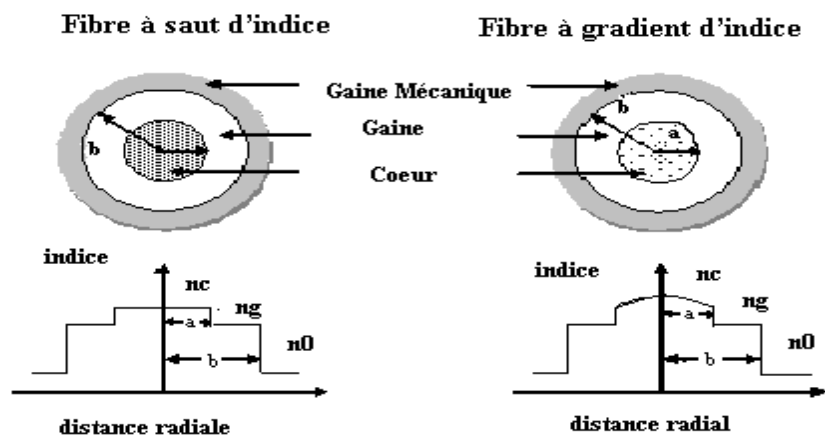


Figure I.2: Coupe et profil d'indice de réfraction d'une fibre à saut d'indice et d'une fibre à gradient d'indice.

I.3.1 Le fibre monomode

Ce type de fibre dit " monomode" en raison de la petite taille de cœur ($9\mu\text{m}$) et permettant qu'un seul mode de propagation de la lumière .Ce type de fibre assure un bon guidage du rayon lumineux, empêche les réflexions abusives et permet une bonne transmission dans la fibre (Figure I.3) .On l'utilise pour les transmissions de données rapides sur de grandes distances [7-8] .

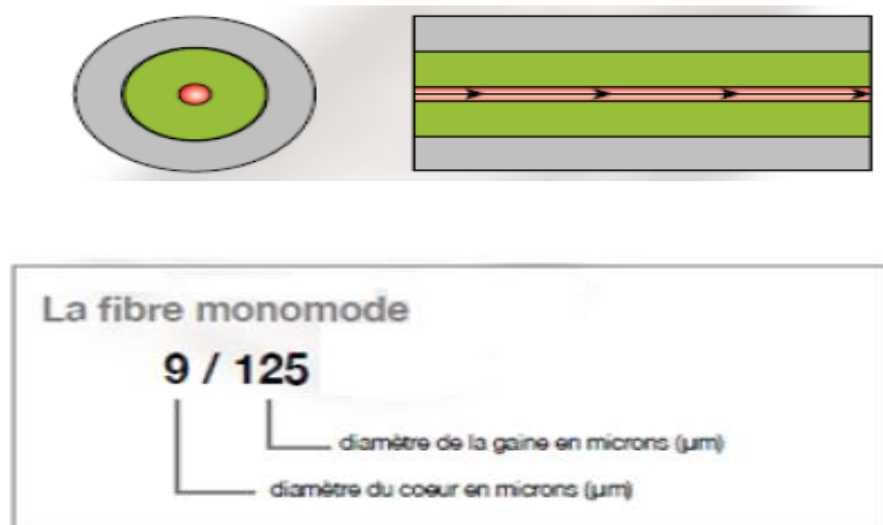
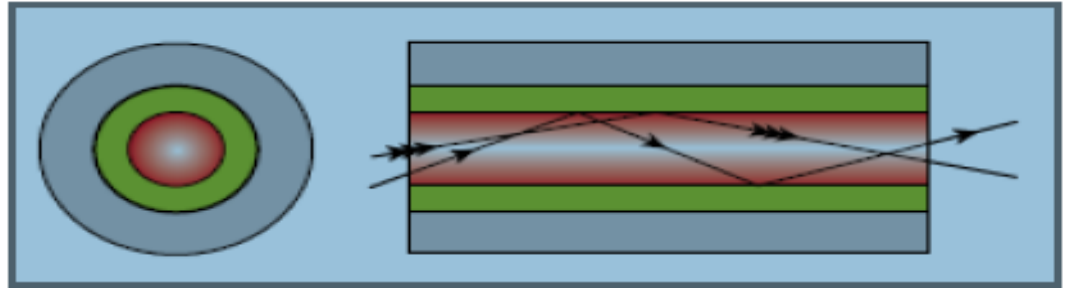


Figure I.3: Fibre monomode

I 3.2.1 Le fibre multi-mode:

Ce type de fibre dit "multi-mode " en raison de la propagation de la lumière selon plusieurs mode (pouvant suivre plusieurs trajets à l'intérieur du cœur). Cette fibre a diamètre de cœur plus important que la fibre monomode. Les gros diamètres de fibre tolère l'incidence sous plusieurs angles et permet la propagation sous plusieurs modes (Figure I.4). Cette fibre fut l'une des premiers réalisations.



La fibre multimode
50 / 125 ou 62,5 / 125
diamètre de la gaine en microns (μm)
diamètre du coeur en microns (μm)

Figure I.4: Fibre multi-mode

*La figure suivante représente la propagation de la lumière dans les trois familles de fibres optiques le plus utilisées actuellement (Figure I.5).

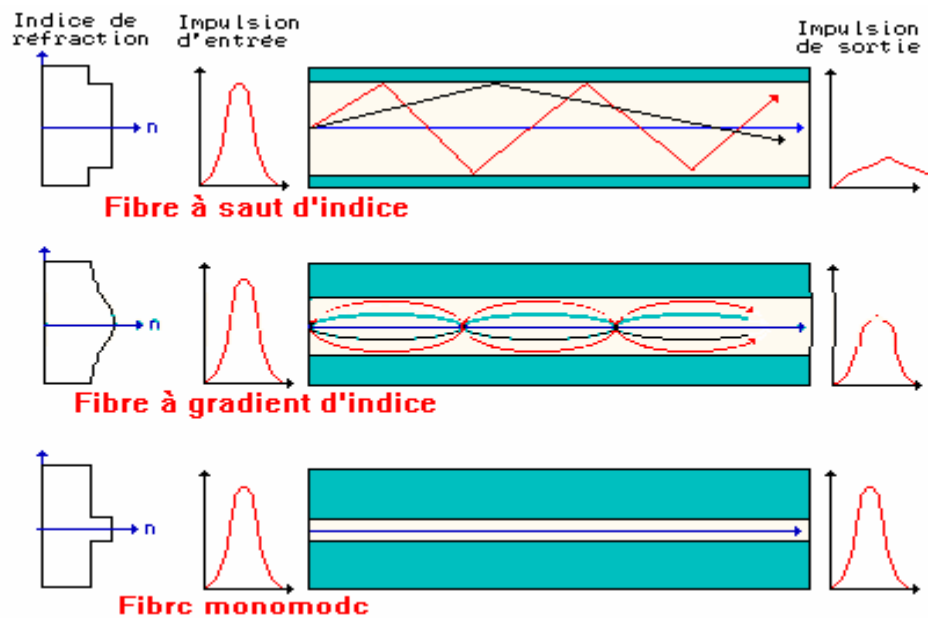


Figure I.5: Propagation de la lumière dans les trois types de fibre

I.4 Les avantages de la fibre optique:

Les principaux avantages de la fibre optique sont les suivants :

***Faible atténuation:** La fibre optique a une atténuation moins importante que les conducteurs électriques, ce qui permet de transmettre des informations sur de très longues distances en nécessitant moins d'amplificateurs.

***Grande bande passante:** La fibre permet d'atteindre des capacités de transport bien plus élevées que le cuivre.

***Insensibilités aux perturbations électromagnétiques :**

Les fibres optiques sont immunisées aux parasites électromagnétiques, et elles n'émettent aucun rayonnement.

***Liaison non détectable:**

Les câbles à fibre optique étant dans la plupart des cas totalement diélectrique, ils sont transparents vis-à-vis de tous types de détecteurs.

***Isolation électrique**

Les fibres optiques permettent d'effectuer des transmissions entre potentiels électriques différents et au voisinage d'installations à haute tension.

***Taille et le poids réduits:**

Pour faire passer une quantité d'information équivalente, le volume et la masse de câbles à fibres optiques à utiliser sont bien moindres qu'en câbles électriques.

I.5 L'atténuation de la fibre optique (les pertes de signal):

Dans une fibre optique l'onde lumineuse perd son énergie au cours de la propagation. Cette perte est essentiellement due soit par : l'absorption, la diffusion, ou les micros défauts de la structure du matériau. Toutes ces pertes sont dépendantes de la longueur d'onde sont caractérisées par la coefficient d'atténuation α .

La variation de la puissance du signal optique se propageant à l'intérieur d'une fibre optique est gouvernée par la loi de Bière [1].

$$\frac{dP}{dz} = -\alpha P \quad [I.1]$$

-Où α est le coefficient d'atténuation.

- P_i est la puissance injectée dans une fibre optique de longueur L.

- P_s : est la puissance de sortie qui donner par:

Chapitre 1: Généralités sur la fibre optique

$$P_s = P_i \exp(-\alpha L) \quad [I.2]$$

Dans la majorité de cas le coefficient α est exprimé en dB/Km suivant la relation suivante:

$$\alpha \text{ (dB / km)} = \frac{10}{L} \log_{10} \frac{P_i}{P_s} = 4.343\alpha \quad [I.3]$$

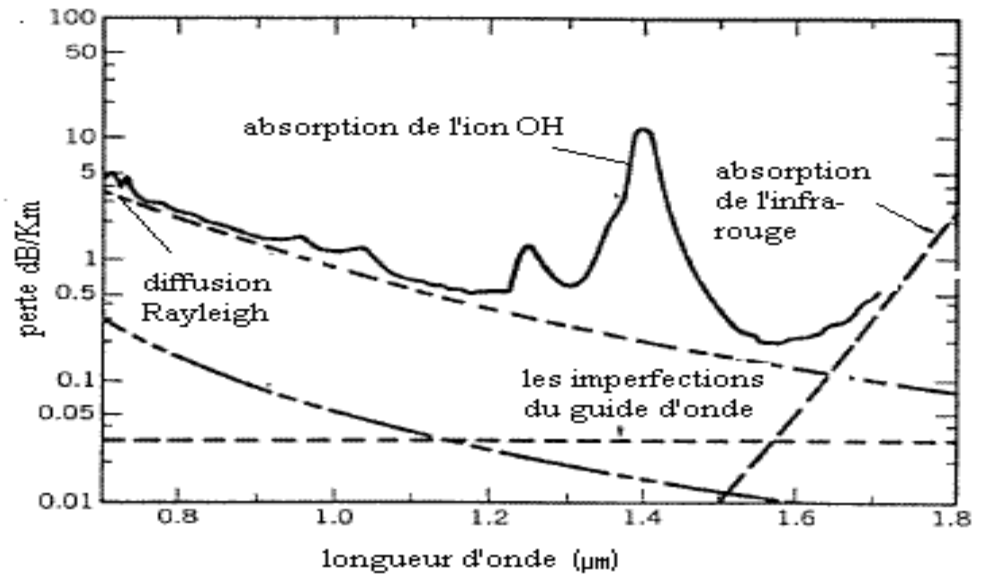


Figure I. 6: Spectre de perte pour une fibre monomode [1].

La figure (1.6) représente la variation du facteur d'atténuation en fonction de longueur d'onde ($\alpha(\lambda)$) d'une fibre monomode en silice amorphe. Les pertes pour les longueurs d'ondes correspondant au domaine ultraviolet sont liées essentiellement à "la diffusion Rayleigh" qui est un mécanisme fondamentale qui survient des fluctuations microscopiques locales de la densité du matériau.

Dans l'infrarouge l'atténuation est engendrée par l'absorption. L'absorption matérielle peut être divisée en deux catégories : les pertes de l'absorption intrinsèque correspondent à l'absorption par la silice amorphe alors que celles l'absorption extrinsèque sont en rapport avec les pertes causées par les impuretés dans la silice.

La valeur minimale des pertes se situe autour de 1,5 μm . Elle est de l'ordre de 0.2 dB/Km et correspond à la 3^{ème} fenêtre de télécoms.

Il existe un minimal secondaire près de 1.3 μm où l'atténuation est au-dessous de 0.5 dB/Km. puisque la dispersion de la fibre est aussi minimale près de cette longueur d'onde (1.3 μm).

Cette fenêtre de faible atténuation a été utilisée pour les systèmes d'ondes lumineuse de 2^{ème} génération correspond à la 2^{ème} fenêtre de télécoms [1].

Chapitre 1: Généralités sur la fibre optique

La première fenêtre qui a été utilisée par les premiers réseaux télécoms était autour de $0.8\mu\text{m}$.

Le spectre des pertes présente un pique près de $1.4\mu\text{m}$ et correspond à la présence de l'eau dans la fibre. Il est possible maintenant de diminuer de façon considérable le maximum du pique avec des procédés compliqués.

Pour compenser l'atténuation de la puissance lumineuse du signal optique, on utilise des amplificateurs optiques.

I.6 La dispersion chromatique:

Lorsqu'une onde électromagnétique se propage dans un milieu diélectrique, sa vitesse de propagation dépend généralement de sa fréquence. Cette propriété est appelée "*dispersion chromatique*".

La dispersion chromatique est un paramètre important puisqu'elle traduit la différence de vitesse de groupe entre différentes longueurs d'ondes. Elle résulte de la variation de l'indice de réfraction $n(\omega)$ en fonction de la fréquence, la dispersion chromatique (ou GVD pour Group Velocity Dispersion) introduit différents retards de propagation pour différentes composantes spectrales du signal, l'impulsion peut donc s'élargir.

Pour déterminer la valeur de la dispersion, il est nécessaire de procéder au développement en série de Taylor de la constante de propagation autour de la pulsation centrale ω_0 de l'onde [9].

$$\beta(\omega) = \beta_0 + \beta_1(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \beta_2(\omega - \omega_0)^2 + \frac{1}{6} \beta_3(\omega - \omega_0)^3 + \dots \quad [\text{I.4}]$$

$$\beta_n = \left(\frac{d^n \beta}{d\omega^n} \right)_{\omega=\omega_0} \quad [\text{I.5}]$$

Les trois premiers β_n sont:

* $\beta_0 = \beta(\omega_0)$ est la constante de propagation linéaire à la pulsation centrale.

* $\beta_1 = \frac{1}{v_g}$ est l'inverse de la vitesse de groupe (c'est une dispersion de premier ordre)

La constante de propagation $\beta(\omega)$ au 1^{er} ordre s'écrit:

$$\beta(\omega) = \beta_0(\omega_0) + \beta_1(\omega - \omega_0) \quad [\text{I.6}]$$

Chapitre 1: Généralités sur la fibre optique

* β_2 est reliée au paramètre de dispersion D par la formule suivante:

$$D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2 \quad [I.7]$$

$$\beta(\omega) = \beta_0 + \beta_1(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \beta_2(\omega - \omega_0)^2 \quad [I.8]$$

-Si β_2 est positif la dispersion D est négative on l'appelle alors Dispersion normale. Dans ce cas, les grandes longueurs d'ondes (dites fréquences rouges) se propagent plus rapidement que les courtes longueurs d'onde (fréquences bleues).

-Si β_2 est négatif la Dispersion est dite anormale (les grandes longueurs d'onde se propagent plus lentement que les longueurs d'ondes plus courtes).

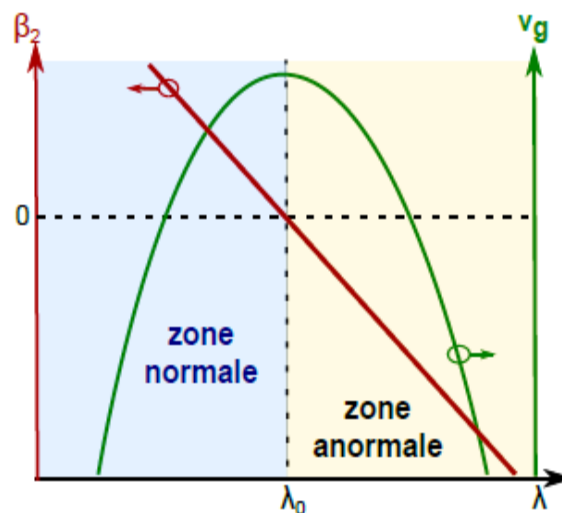
Dans les deux cas l'impulsion subit un élargissement temporel de son enveloppe.

Comme le montre la figure ci-dessous (Figure 1.7) on peut distinguer différents régimes de GVD suivant son signe:

***En zone de dispersion normale ($\beta_2 > 0$):** les composantes de plus faibles longueurs d'onde voyagent à des vitesses inférieures à celles des composantes de plus hautes longueurs d'ondes.

***En zone de dispersion anormale ($\beta_2 < 0$):** ce sont les composantes aux plus basses longueurs d'ondes qui voyagent le plus vite.

***En zone anormale ($\beta_2 = 0$):** On se trouve à la limite de ces deux zones. On définit alors (λ_0), la longueur d'onde de dispersion nulle.



GV (en rouge)

V_g (en vert)

Figure I.7: Evolution typique du GVD et V_g en fonction de la longueur d'onde

I.7 L'effet Kerr optique:

L'effet de Kerr optique est non linéaire et apparaît lorsque l'intensité du signal devient si importante qu'elle modifie significativement l'indice de réfraction n de la fibre [10].

L'effet de Kerr est découvert en 1875 par le physicien écossais "John Kerr". Ce phénomène se réfère à la dépendance en intensité de l'indice de réfraction. Il se traduit par une modulation de l'indice de réfraction du milieu en fonction de l'intensité de l'onde qui traverse le matériau. C'est cet effet qui est à l'origine de l'auto-focalisation des faisceaux lasers de très forte intensité.

$$n = n_0 + n_2 |E|^2 \quad [I.9]$$

-Ou n_0 : est représenté l'indice de réfraction linéaire du milieu.

- $|E|^2$: est la moyenne temporelle quadratique du champ.

- n_2 : est le coefficient non-linéaire caractéristique du matériau.

Dans sa plus simple forme, l'indice n_2 est couramment défini comme:

$$n = n_0 + n_2 I \quad [I.10]$$

L'indice de réfraction non linéaire n_2 est directement relié à la partie réelle de la susceptibilité non linéaire d'ordre trois $\chi^{(3)}$ déjà précisée auparavant.

$$\vec{P}_{NL} = \epsilon_0 \bar{\chi}^{(3)} \quad [I.11]$$

Où la partie réelle de $\bar{\chi}^{(3)}$ est responsable de la variation non linéaire de l'indice de réfraction, alors que la partie imaginaire est responsable des phénomènes d'absorption non linéaire et des diffusions Raman et Brillouin stimulées.

I.8 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons défini la fibre optique qui est support multimédia privilégié vis-à-vis d'autres supports puis décrit brièvement quelques phénomènes rencontrés lors de l'interaction signal lumineux avec la fibre optique.

Nous avons présenté les principes de base de la propagation de la lumière dans une fibre optique, enfin nous avons évoqué les principaux effets limitant le débit de transmission numérique optique.

II 1 Introduction

Dans ce qui suit nous parlerons de l'équation de Schrödinger non linéaire NLSE qui modélise la propagation des impulsions lumineuses dans une fibre optique et des conditions favorables la formation de solitons.

Dans le domaine de la propagation des impulsions dans les fibres optiques, le soliton se définit de façon simple comme une impulsion dont le profil et l'énergie se conservent au cours de la propagation. Cela est rendu possible par l'effet de Kerr optique présent dans la silice équilibrant la dispersion chromatique. Le soliton optique paraît comme un bon candidat pour les systèmes de communication par fibre optique à longue distance et ultrarapide .La cause est que ces impulsions peuvent se propager sur de longues distances sans changement de forme.

II 2 Rappel historique sur les solitons optiques:

L'onde solitaire a été observée en premier par un ingénieur écossais John Scott Russe alors qu'il montait à cheval le long d'un canal, proche d'Edinbourg en 1834[11].Il remarque une berge, en s'arrêtant soudainement, produit une onde importante qui continue de se propager en amont, sans atténuations de sa forme, ni de sa vitesse. Il suit, sur plusieurs kilomètres, l'onde qui remonte le courant en semblant ne pas vouloir faiblir. Il remarque aussi que les ondes de forte amplitude se déplacent plus vite que celles d'amplitudes faibles.

L'interprétation mathématique de ce phénomène hydrodynamique sera faite en 1895 par deux mathématiciens hollandais (KORTEWEG et VRIES) ,puis en 1965 par N.ZABSKY et "M.KRUSKAL. Ils découvrent qu'après collision de deux solitons , l'enveloppe et la vitesse de deux solitons sont gardés après séparation. De plus, quand deux solitons se rapprochent, ils se déforment graduellement, devenant un simple paquet d'ondes qui se divise ensuite en deux solitons ayant conservé leur forme et leur vitesse.

En 1971, V-ZAKHAROV et A-SHABAT montrèrent la possibilité de l'existence du soliton dans un milieu linéaire et dispersif.

En1973, A-HASEGAWA et F-TAPPERT ont montré théoriquement la possibilité de la propagation des solitons dans les fibres optiques .A-HASEGAWA a u l'idée de compenser la dispersion à1550nm par l'effet Kerr grâce aux solitons .

En 1980, l'observation expérimentale des solitons par L-MOLLENAUER.

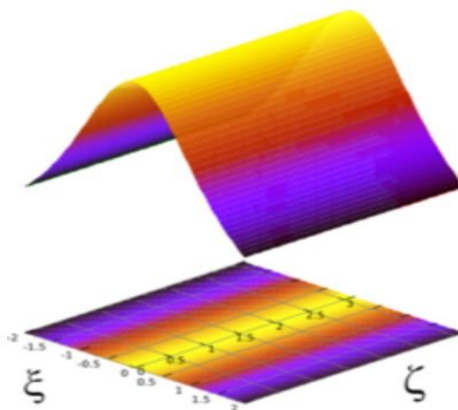
Chapitre2: Les effets solitoniques

En 1982, l'amplificateur optique par effet Raman permettait d'envisager une transmission transatlantique sans répéteur.

En 1986, L-MOLLENAUER proposa d'utiliser les solitons, pour lesquels la dispersion chromatique compense exactement les effets non linéaires. La possibilité d'utiliser les solitons optiques pour les communications à longues distances a été démontrée expérimentalement en 1988 [1].

II 3 Théorie des effets solitoniques :

Le soliton est une onde lumineuse initialement symétrique se propageant sans déformation ou modification de sa forme dans un milieu dispersif et non linéaire. En optique le soliton est utilisé pour décrire une impulsion (soliton temporel), ou bien un faisceau (soliton spatial). Le soliton est né d'un équilibre entre deux effets qui se compensent. Ces deux effets sont essentiellement l'auto modulation de phase et la dispersion, (l'auto modulation de phase est un processus non linéaire d'ordre trois, c'est un processus temporel la variation temporelle de l'indice de réfraction crée l'auto modulation de phase)



FigureII .8: Soliton optique

Le Schéma ci-dessus (Figure II.9) représente le principe de la propagation des solitons dans les fibres optiques. La non-linéarité de la fibre produit une dérive de fréquences qui compense exactement celle produite par la dispersion donc l'impulsion soliton se propage alors sans déformation.

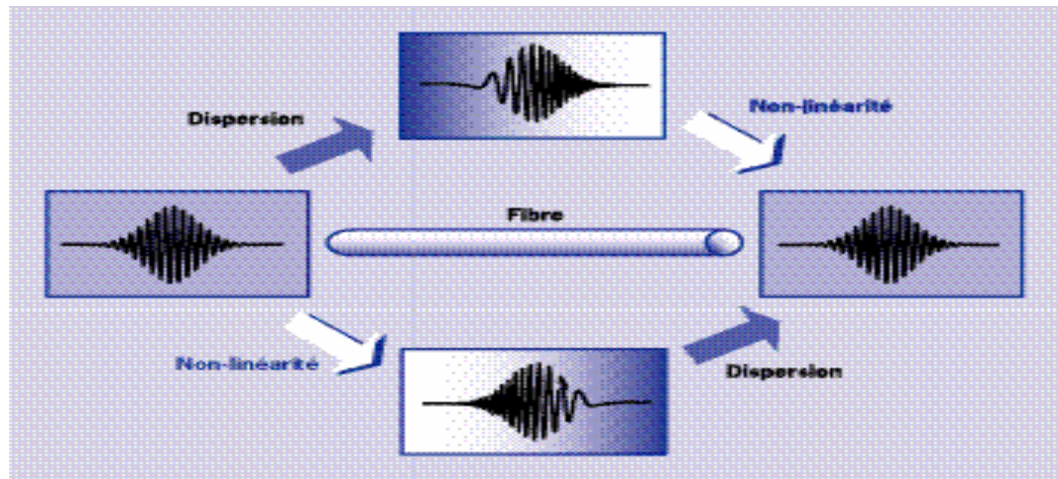


Figure II.9: Action de l'auto modulation de phase et la dispersion

II.4 Modélisation de la propagation des solitons:

II.4. 1: L'équation de Schrödinger non linéaire:

La propagation de la lumière dans une fibre optique peut être décrite analytiquement par l'équation de Schrödinger non linéaire (NLSE) [12]. L'équation de Schrödinger non linéaire (NLSE) est la plus célèbre dans la fibre optique, elle apparaît dans divers contextes physiques pour décrire la propagation des ondes non linéaires. Elle est d'une importance particulière dans la description des effets non linéaires dans les fibres optiques. Elle décrit le comportement des paquets d'ondes dans un environnement non linéaire. Cette célèbre équation peut sous certaines conditions, devenir analytiquement soluble mais elle permet surtout une résolution numérique des problèmes de propagation à l'aide d'un ordinateur. L'avantage de cette résolution numérique est qu'elle permet alors une bonne compréhension des différents phénomènes engendrés lors de la propagation.

$$i \frac{\partial A}{\partial z} + \frac{i}{2} \alpha A - \frac{1}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial T^2} - \frac{i}{6} \beta_3 \frac{\partial^3 A}{\partial T^3} + \gamma [|A|^2 A + \frac{i}{\omega_0} \frac{\partial}{\partial T} (|A|^2 A) - T_{RA} \frac{\partial |A|^2}{\partial T}] = 0 \quad [\text{II} .12]$$

-Les termes de gauche à droite correspondent respectivement à :

- Groupe vitesse ou dispersion du deuxième ordre
- 3eme ordre de dispersion
- Atténuation
- Auto-modulation de phase
- Auto-raïdissement
- Raman scattering

Chapitre2: Les effets solitoniques

A partir de l'équation de Schrödinger non linéaire d'ordre supérieure [II .12], on définit les paramètres suivants :

- $\mathbf{A}(\mathbf{Z}, \mathbf{T})$ est l'enveloppe lentement du soliton optique.

- $\mathbf{T} = \mathbf{t}_{lab} - \frac{\mathbf{Z}}{v_g} \equiv \mathbf{t} - \beta_1 \mathbf{Z}$ est la coordonnée temporelle dans une trame retardée se déplace à la vitesse de group V_g de l'impulsion qui se propage.

\mathbf{Z} est la coordonnée spatiale représente la distance de transmission.

β_n ne représente que des paramètres de dispersion d'ordre n , β_2 est la dispersion de vitesse de group deuxième ordre GVD. ; α est facteur d'atténuation.

Pour les fibres optiques de silice standard $\beta_2 \sim 20 \text{ ps}^2/\text{km}$ et $\lambda_0 \sim 1550 \text{ nm}$,

- $\gamma = n_2 \omega_0 / c A_{\text{eff}}$: est le coefficient d'effet Kerr non linéaire.

- n_2 est le coefficient d'indice non linéaire pour les fibres optiques de silice

- $n_2 = 2.2 \times \frac{10^{-20} \text{ m}^2}{\omega}$ à la même longueur d'onde

L'équation de Schrödinger simplifiée est comme suit:

$$\frac{\partial \mathbf{A}(\mathbf{Z}, \mathbf{T})}{\partial \mathbf{Z}} = -\frac{i}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial \mathbf{T}^2} + i \gamma [|\mathbf{A}|^2 \mathbf{A}] \quad \text{[II .13]}$$

On peut utiliser les variables suivantes:

$$u = \frac{A}{\sqrt{P_0}}; \xi = \frac{Z}{L_D}; \tau = \frac{T}{T_0}; \Gamma = \alpha L_D; \delta_3 = \frac{\beta_3}{6 T_0 \beta_2}; s = \frac{1}{T_0 \omega_0}.$$

*L'équation devient sous la forme simplifiée suivante:

$$i \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} + |u|^2 u = 0 \quad \text{[II .14]}$$

Cette équation est à la base de nombreux travaux de recherche dans le domaine de Télécoms et a été démontré dans les fibres optiques par Hasegawa et Trappert [13]. Dans sa version la plus simple, l'équation NLS ne tient compte ni des pertes optiques, ni des termes de dispersion et de non linéarité d'ordre supérieure, mais nous verrons par la suite que cette équation peut être généralisée à d'autres effets. L'équation NLS démontré par Hasegawa et Trappert permet tout de même de décrire des phénomènes aussi variés que la dispersion chromatique d'ordre 2, l'auto-modulation de phase, l'instabilité modulationnelle ou encore la propagation de soliton [13]

L'équation simplifiée, qui ne contient que les termes de dispersion du deuxième ordre et l'auto modulation de phase a comme solution les trois expressions :

- $u = A \exp(-\tau^2 / 2T_0)$, solution gaussienne. [II .15]

- $u = A^* \exp\left(-\frac{\tau^{2m}}{2mT_0^{2m}}\right)$, solution super gaussienne. [II .16]

- $u = \operatorname{sech}\left(\frac{\tau}{T_0}\right)$ où $A = A_0 \operatorname{sech}\left(\frac{\tau}{T_0}\right)$, solution Sécante-Hyperbolique.

[II.17]

Le soliton se propage sous la forme d'un soliton d'ordre supérieur dans le cas où N prend les valeurs 2;3;4.....; Dans ce cas son expression est donnée par:

$$A = N^2 A_0 \operatorname{sech}\left(\frac{\tau}{T_0}\right). \quad \text{[II .18]}$$

II.5 Le soliton fondamental et les solitons d'ordres supérieurs:

L'équation de Schrödinger non linéaire possède quelques solutions analytiques dans la plus simple pour N=1, c'est le soliton fondamental. Il résulte de la compensation parfaite entre l'AMP et la dispersion chromatique, le soliton conserve le même profil spectral et temporelle de propagation dans le cas d'une fibre optique est idéale, il en serait de même sur une longueur infinie.

L'équation est comme suit :

$$A = N A_0 \operatorname{sech}\left(\frac{\tau}{T_0}\right) \quad \text{[II .19]}$$

- Ou N=1 c a d l'expression devient: $A = A_0 \operatorname{sech}\left(\frac{\tau}{T_0}\right)$ [II .20]

-T₀ est la durée de l'impulsion initiale.

-A₀ est égal $\sqrt{P_0}$ (P₀ est la puissance crête)

-N est un paramètre qui détermine la stabilité du soliton, correspond à:

$$-N = \sqrt{N^2} = \gamma P_0 \frac{T_0^2}{|\beta_2|} = \sqrt{\frac{L_D}{L_{NL}}} \quad (\text{c'est l'ordre soliton}) \quad \text{[II .21]}$$

$$-L_{NL} = \frac{1}{\gamma P_0} \quad \text{[II .22]}$$

$$-L_D = \frac{T_0^2}{\beta_2} \quad \text{[II .23]}$$

Où

- P₀=la puissance crête de l'impulsion.

-L_D=la longueur de dispersion.

-L_{NL}=la longueur de non linéarité.

*Dans le cas particulier où (L_D=L_{NL}) l'effet linéaire de la dispersion de la vitesse de groupe est compensé par l'effet non linéaire d'auto- modulation de phase, on aura un soliton fondamental (N=1) décrit par l'expression [II .19] donc conserve sa forme de la propagation.

Chapitre2: Les effets solitoniques

En conséquence la puissance crête nécessaire pour l'existence d'un soliton fondamental est :

$$P_0 = \frac{|\beta_2|}{\gamma T_0^2} \quad [\text{II} .24]$$

Si $LD \gg LNL$, on augmente alors le rapport N . Lorsque il passe par un entier supérieure à un, cela correspond aux solitons d'ordres supérieure.

En revanche, dans le cas où $N > 1$, le soliton est dit d'ordre supérieur qui peut être vu comme une superposition de N solitons fondamentaux possédant la même vitesse de groupe mais des puissances crêtes et des durées différentes au cours de la propagation de façon périodique (ils peuvent être décrits comme plusieurs solitons fondamentaux)

Ainsi le soliton va respirer avec une période Z_0 qu'on appelle longueur de respiration du soliton":

$$Z_0 = \frac{\pi T_0^2}{2 |\beta_2|} \quad (\text{c'est la période du soliton}) \quad [\text{II} .25]$$

L'expression est donnée par :

$$A = N^2 A_0 \operatorname{sech}(T/T_0) \quad [\text{II} .26]$$

*L'évolution est donc ce cas périodique de z . L'interprétation physique est que le chirp positif généré par SPM est supérieur au chirp négatif produit par GVD.

*Lors de la propagation du soliton d'ordre supérieur à l'intérieur d'une fibre optique, il se désintègre en solitons fondamentaux qui se recombinent après la période soliton pour en former le même soliton d'ordre supérieur. Ce cycle se répète pendant la propagation.

La figure suivante montre l'évolution temporelle d'un soliton d'ordre 3 en fonction de la longueur de propagation. L'évolution du soliton d'ordre trois peut être présenté plusieurs pics où l'impulsion de départ peut retrouver sa forme initiale de façon périodique.

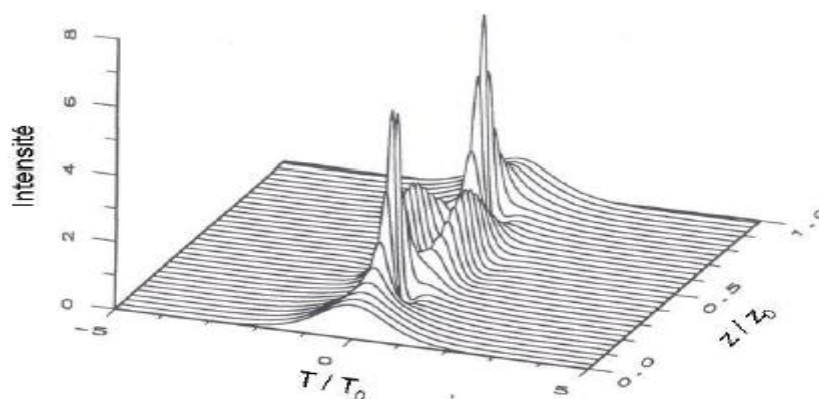


Figure II.10:L'évolution Temporelle d'un soliton d'ordre 3 en fonction de la longueur de propagation

L'utilisation des solitons dans les fibres optiques peut présenter des avantages importants dans les liaisons transocéaniques à haut débit .Cependant, il existe d'autres effets conduisant à la perte de l'information même si le soliton est stable .

II.6 La Méthode de Fourier à pas divisé:

La méthode à pas divisé (plus communément appelé méthode du "split step Fourier") est une méthode pseudo-spectrale rapide consiste alors à recourir à l'algorithme de la transformée de Fourier à pas divisés ,qui permet de résoudre numériquement l'équation de Schrödinger non linéaire[4].C'est une méthode largement utilisé pour simuler les solutions numériques non linéaires de l'équation de Schrödinger non linéaire, par conséquent ,c'est une méthode puissante avec une très haute vitesse dans les calculs ,

un outil puissant qui permet de simuler la propagation d'impulsions dans les fibres optiques, et donc de développer la simulations des systèmes de transmission d'informations par fibres optiques .Dans cette partie, les résultats des simulations numériques présentes ont été réalisés à l'aide de cette méthode de résolution et grâce à des algorithmes développés sous un environnements "Matlab".

Le principe de cette méthode est de considérer l'équation de Schrödinger non linéaire comme pouvant se mettre sous la forme suivante [4]:

$$\frac{\partial A}{\partial z} = (\hat{D} + \hat{N})A$$

[II .27]

Chapitre2: Les effets solitoniques

* \hat{D} : représente l'operateur des effets linéaires (ici la dispersion chromatique d'ordre 2), auquel peuvent venir s'ajouter la dispersion d'ordre 3 ou les pertes de la fibre.

* \hat{N} : représente l'operateur des effets non linéaires (ici l'auto- modulation de phase par effet Kerr') auquel peuvent venir également s'ajouter des effets d'ordres supérieures : effets Raman, l'auto redressement.....Ces opérateurs sont données par:

$$\hat{D} = -i \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \quad \text{[II .28]}$$

$$\hat{N} = i\gamma |A|^2 \quad \text{[II .29]}$$

-Il est reconnu que la dispersion chromatique et le non linéarité agissent simultanément au cours de la propagation dans la fibre optique. Cependant, la méthode de Fourier à pas divisé est basée sur une approximation qui consiste à dire que sur de très courtes distances de propagation h , les opérateurs \hat{D} et \hat{N} commutent. Les effets linéaires et non linéaires peuvent alors être découplés et appliqués successivement à l'impulsion considérée comme le montre la figure suivante:

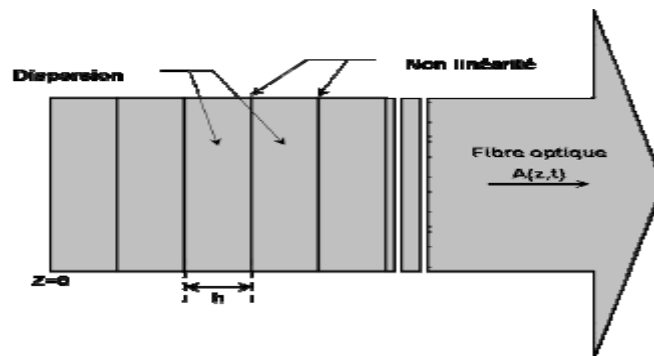


Figure II.11: La méthode de Fourier à pas divisé

La propagation entre les points Z et $Z+h$ se fait donc en 2 étapes.

Dans un premiers temps, seule la dispersion chromatique est appliquée à l'impulsion ($\hat{N}=0$) puis, dans un 2^{ieme} temps ($\hat{D}=0$) et seul l'effet non linéaire agit

Dans ces conditions, la résolution de l'équation conduit à 2 étapes:

- **Etape 1: pas dispersif:**

II .7 La fission des Solitons d'ordres supérieures:

Les Solitons fondamentaux composant le Soliton d'ordre supérieure voyageant ensemble et de même vitesse de groupe .sous l'effet d'une perturbation (due l'effet d'auto-redressement de l'impulsion et la diffusion Raman ou aux effets de dispersion d'ordres supérieures), les vitesses de groupes des Solitons fondamentaux sont changée et la puissance aussi la durée sont différents.

Par conséquent on aura un processus de la fission Soliton ou le Soliton d'ordre "N" éclate en un nombre "N" de Solitons fondamentaux.

Dans le cas des impulsions ayant une largeur temporelle supérieure à 200fs, le phénomène de fission Soliton est dû à la diffusion Raman. [5].

II.8 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions de base sur les solitons optiques. La formation de ces derniers est le résultat d'une balance entre la dispersion et l'effet Kerr. La méthode de Fourier a pas divisé les solitons d'ordre supérieure la fission de ces solitons .L'utilisation des solitons dans les fibres optiques peut présenter des avantages importants.

Chapitre III : Amplification Raman

III 1: Introduction:

Dans ce chapitre, nous présentons la diffusion Raman stimulée, l'effet du "Raman" au cours de la propagation dans la fibre optique, l'amplification Raman et les avantages de cette amplification par rapport aux autres types d'amplifications optiques.

III 2: La diffusion Raman stimulée:

Les Solitons sont affectées par la diffusion Raman qui joue un rôle considérable dans l'ordre supérieur des effets non linéaires inélastiques. Sa première mise en évidence dans la fibre optique fut réalisée dans les années 1970.

La diffusion Raman stimulée (SRS) pour "Stimulated Raman Scattering" est un processus non linéaire important. Il se produit quand un champ optique intense se propage dans un milieu non linéaire. Alors, le photon de l'onde pompe à la fréquence " ω_P " est diffusé en un photon de fréquence " ω_S ". La différence d'énergie ($\Omega = \omega_P - \omega_S$) est absorbée par le centre diffuseur.

Il est important à noter que l'excitation du milieu se traduit par une modification du niveau vibrationnel des molécules.

Deux cas sont mentionnés. Le premier est que ce processus donne naissance à un photon de plus faible fréquence "ondes Stokes" alors que la deuxième donne naissance à un photon de plus grande fréquence "onde anti-Stokes".

Généralement, l'intensité de la lumière diffusée à la fréquence anti-Stokes est plus faible que celle diffusée à la fréquence Stokes de plusieurs ordres de grandeurs.

Le processus de la diffusion Raman spontanée est caractérisé par un faible transfert d'une fraction de la puissance de l'onde pompe à l'onde Stokes (typiquement $\sim 10^{-6}$) [2].

Cependant, en présence d'une onde intense (ω_P) le phénomène non linéaire de la diffusion Raman stimulée peut se produire d'une manière où on aura un processus d'amplification de l'onde Stokes (ω_S) au détriment de l'onde (ω_P).

Ce processus d'amplification peut être très efficace ($> 10\%$ de la valeur de l'onde pompe) [2].

La variation de l'intensité Stokes par rapport à la distance est donnée par la relation suivante [1,2] :

$$\frac{d I_S}{dZ} = g_R I_P I_S \quad \text{[III 32]}$$

Où:

* g_R : coefficient gain Raman qui est environ 10^{-13} m/w .

* I_P : Intensité pompe.

* I_S : Intensité Stokes.

En pompant une fibre optique à la fréquence ω_P , l'onde Stokes est générée à

$\omega_S = \omega_P - \Omega$ et son intensité croît expérimentalement d'après la relation suivante:

$$I_S(t) = I_S(0) \exp(g \cdot I \cdot L) \quad \text{[III 33]}$$

Où L : est la longueur de propagation.

Les solitons ayant une durée typiquement inférieure à 100fs se propageant dans une fibre optique possèdent une largeur spectrale supérieure au décalage Raman. Il en résulte un recouvrement entre le spectre de l'impulsion et le gain Raman qu'elle génère. Cette situation peut mener à un transfert d'énergie des grandes longueurs d'onde vers les longueurs d'onde courtes du spectre d'une même impulsion au cours de sa propagation dans la fibre optique, ce mécanisme appelle "la diffusion Raman stimulée intra –impulsionnel"

La diffusion Raman stimulée intra pulse (**ISRS**) est un phénomène qui apparaît pour les impulsions avec un large spectre. L'énergie est transférée des composantes de haute fréquence de la même impulsion aux composantes de basses fréquences. Le résultat de ce processus est que le spectre d'impulsion se déplace vers le côté rouge des fréquences. Le changement vers le côté rouge du spectre est appelée

"soliton self –frequency shift (SSFS)" et son origine physique est liée à la nature retardée de la réponse Raman.

ISRS est utile pour générer des solitons Raman dont la longueur d'onde porteuse peut être réglée en changeant la longueur de la fibre ou la puissance du pic d'entrée. En outre ce phénomène est responsable de désintégration du soliton .

Le processus de diffusion Raman peut limiter la puissance de pic dans les dispositifs à fibre optique et peut causer des problèmes dans les lasers à fibre de haute puissance et les amplificateurs.

III 2 L'effet Raman:

L'effet Raman est l'un des effets d'ordre supérieurs dans l'équation de Schrödinger, malgré les dommages qu'il induit sur les solitons, il peut être d'un grand profit s'il est utilisé comme amplificateur optique, en plus de plusieurs autres avantages parmi lesquelles la production des impulsions à fréquences réglables en fonction de la longueur de la fibre ou la puissance d'entrée. Dans ce qui suit, nous considérons une situation sans laquelle le champ optique transfère une partie de son énergie vers le milieu non linéaire. Ces effets sont donc qualifiés d'inélastiques en référence à la non conservation de la quantité du mouvement en mécanique et ils font intervenir la partie imaginaire de la susceptibilité non linéaire d'ordre trois.

L'équation non linéaire de Schrödinger avec terme Raman s'écrit comme suit :

$$i \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} + |u|^2 u = \tau_R u \frac{\partial}{\partial \tau} |u|^2 \quad [\text{III 34}]$$

L'effet Raman est un des effets qu'on ne peut résoudre directement dans l'équation de Schrödinger :

$$i \frac{\partial A}{\partial Z} + \frac{i}{2} \alpha A - \frac{1}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial T^2} - \gamma [|A|^2 A - T_{RA} \frac{\partial |A|^2}{\partial T}] = 0 \quad [\text{III 35}]$$

* La simulation est donc faite à l'aide de la transformée de Fourier à pas divisé

III. 3 Amplificateur Raman:

Pour amplifier périodiquement le signal il y a plusieurs méthodes optiques ayant comme support des fibres optiques existant:

L'amplificateur par fibre optique dopées terre-rare:

C'est une méthode physique qui a joué un rôle important dans le développement des télécommunications optiques actuelles. Dans ces amplificateurs un pompage permet de faire passer les ions dopants vers des niveaux d'énergie plus hauts.

L'amplificateur à semi-conducteur:

Même structure que diode lasers de type Fabry –pérot, ce dispositif c'est de petite taille, le pompage est électrique, introduire plus de bruit et le gain est modeste.

L'amplification Raman:

C'est un dispositif qui amplifie un signal lumineux, et se base sur l'échange de l'énergie par diffusion Raman. Il n'existe pas des transitions atomique d'ion dopé terre rares .cet amplificateur a des avantages par rapport à les autre amplificateurs :

Chapitre 3: Amplification Raman

*Ne nécessite pas de fibre spéciale.

*Utilise directement dans la fibre de communication.

*Amplificateur distribué, dégrade moins le rapport signal bruit.

*Amplificateur Raman présente des atomes non négligeables dans la communication multiplexée : parce que la bande passante est supérieure par rapport aux autres techniques d'amplification.

*il est utilisé pour compenser l'atténuation "les pertes optiques".

*Provoque la fission des solitons d'ordre supérieure en plusieurs solitons fondamentaux.

L'amplificateur Raman n'a pas recours à des ions terres-rares mais utilise les propriétés intrinsèques de la silice pour obtenir une amplification.

L'amplification Raman se déroule quand une pompe suffisamment puissante est injectée dans une fibre et permet un processus d'émission Raman stimulée. Le transfert de l'énergie se passe quand les photons de pompe libèrent leur énergie sous la forme d'un nouveau photon à la même longueur d'onde que le signal auquel s'ajoute un peu d'énergie résiduelle qui est absorbée par des photons sous forme d'énergie vibrationnelle.

La Figure (III.13 .a) représente schématiquement ce processus. Le niveau supérieur indiqué sur ce schéma indique simplement un état transitoire ou aucune énergie n'est stockée, au contraire d'un système à deux niveaux caractéristique d'un amplificateur dopé terre-rares.

Si la silice entrant dans la composition des fibres optiques était sous la forme cristalline, un seul état vibrationnel serait possible. Mais, la silice étant sous forme amorphe, une grande plage d'états vibrationnels est possible au-dessus de l'état de basse énergie. La plage de gain disponible est par conséquent très large (environ 6THZ).

La Figure (III.13 b) représente l'évolution du gain en fonction de la longueur d'onde pour une longueur de pompe à 1455nm. Nous constatons que le gain augmente de manière approximativement linéaire avec l'écart de fréquence entre la pompe et le signal pour atteindre une valeur maximale pour un décalage de 13THZ. Le gain chute ensuite assez rapidement.

Au contraire de l'amplification à base de fibre dopée terre-rares, l'amplification Raman ne repose pas sur des transitions entre niveaux énergétiques déterminés par les ions dopants.

Il est donc possible de décaler la longueur d'onde centrale du gain simplement en modifiant la longueur d'onde de la pompe. Cela permet d'exploiter le gain Raman pour n'importe quelle longueur d'onde, la seule condition étant de disposer d'une pompe adéquate.

Avec une bande de gain de près de 6THZ, l'amplificateur Raman présente un avantage considérable par rapport à la longueur de bande limitée des amplificateurs dopés terres-rares.

Chapitre 3: Amplification Raman

En combinant plusieurs pompes à différentes longueurs d'ondes ou bien une pompe élargie spectrale ment, il est de plus possible d'élargir et d'aplanir la bande de gain.

L'amplification Raman est donc une solution idéale pour l'amplification des signaux télécom multiplexes en longueurs d'onde.

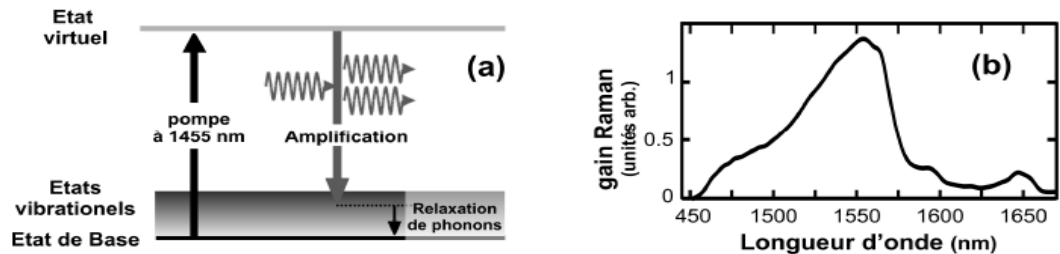


Figure III.13: (a) Diagramme représentant les échanges d'énergie intervenant dans le processus amplificateur Raman. (b) Forme spectrale du gain Raman pour une pompe située à 1455 nm.

Un inconvénient de l'amplification Raman reste les puissances de pompe importantes pour réaliser une amplification efficace. Même avec des puissances de pompe de l'ordre du watt, le gain de ces amplificateurs (quelque DB/km) demeurera ainsi bien inférieur aux gains disponibles à partir des technologies à base de fibres dopées terres-rares. Il sera donc assez difficile de réaliser des amplificateurs Raman compacts, d'autant plus que l'amplification Raman s'appuie généralement sur des fibres monomodes, excluant ainsi l'utilisation de fibres à large cœur employées pour l'amplification de fibres dopées terres-rares. Par contre, le processus Raman se révélera parfaitement adapté pour compenser dans les fibres de transmission des pertes optiques. On parlera alors d'amplification distribuée. À noter que les techniques Raman et Erbium peuvent être combinées pour obtenir une amplification hybride.

III 4 Conclusion:

Les impulsions Soliton à l'intérieur des fibres optiques sont affectées par de nombreux types d'effets non linéaires. Dans ce chapitre nous avons étudié les impulsions qui sont affectées par la diffusion Raman. Nous avons vu que ce processus peut limiter la puissance de l'impulsion dans les appareils optiques.

IV Simulation:

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, on se propose de simuler l'amplification tout optique par l'effet Raman, la propagation des impulsions solitoniques modélisés avec l'équation de Schrödinger, leurs solutions (sécante –hyperboliques, gaussienne, super gaussienne), les solitons d'ordres supérieures, tout en tenant compte de l'atténuation.

IV. 2 Atténuation

La figure suivante (**Figure IV 1**) représente les résultats de simulation d'atténuation dans une fibre optique de longueur ($L=5000\text{Km}$), parcourue par une impulsion (sech), L'atténuation du spectre est proportionnelle au coefficient de perte α . Le Soliton Fondamentale connait une diminution en intensité si les pertes sont linéaire(c a d lorsqu'on augmente l'atténuation l'intensité diminue)

Les résultats de simulations pour différents coefficients d'atténuation ($\alpha=0, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5$) sont respectivement.

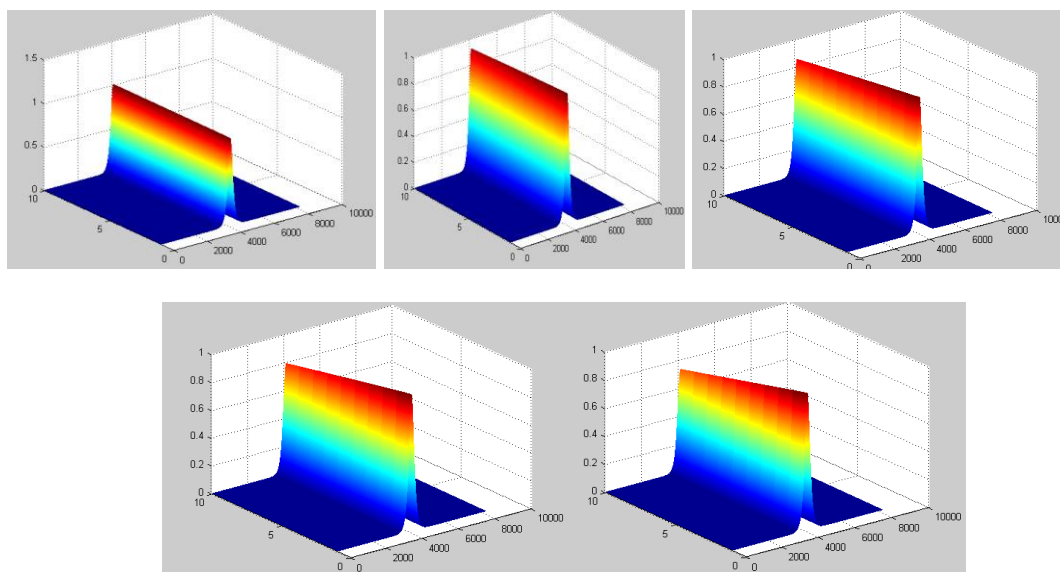


Figure (IV.1): atténuation du Soliton Fondamental par les pertes de la Fibre.

IV.3 Les solitons de l'équation de Schrödinger non linéaire(NLSE):

*Résultats:

Ces spectres sont illustrés dans les figures (2-a) qui représente "l'impulsion sécante hyperbolique" et (2-b) qui représente "l'impulsion gaussienne"

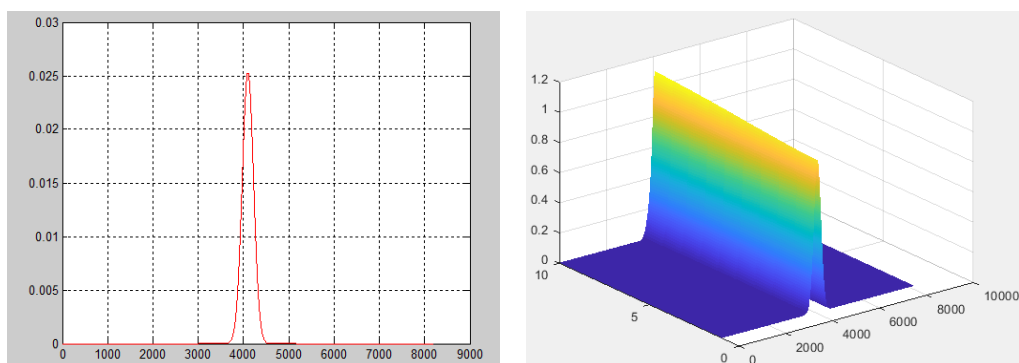


Figure IV (2. a):L'impulsion Gaussienne

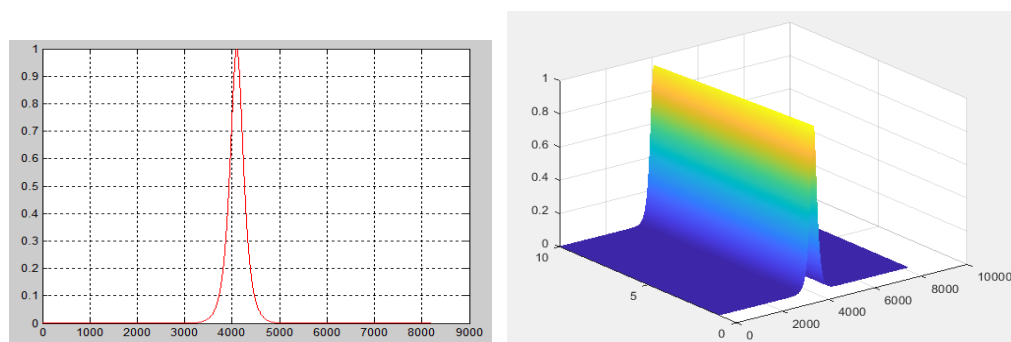
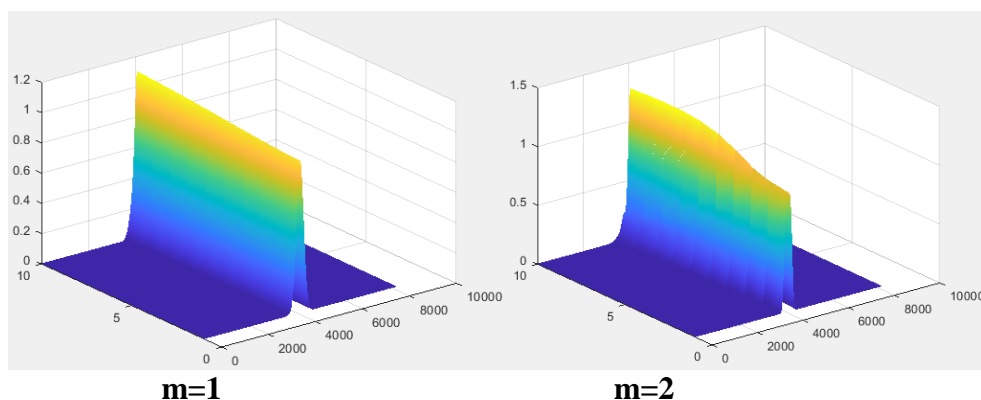


Figure IV (2. b):L 'impulsion sécante -hyperbolique (Sech)

*Si on compare les deux figures (**Figure IV (2. a)** et **Figure IV (2. b)**), qui représentent les pulsations : gaussienne et séchant-hyperbolique, on remarquera que la pulsation séchant-hyperbolique possède l'amplitude la plus intense ; de l'ordre de 1 ; alors que l'autre pulsation a l'amplitude : 0.025, respectivement ; voir figure (2-a) (2-b), raison pour laquelle la pulsation sécante est la plus estimée par les expérimentateurs.

*Voilà aussi quelque résultat de simulation de l'impulsion super -Gaussienne qui représenter dans la figure (**IV .3**) pour différente valeur de m:



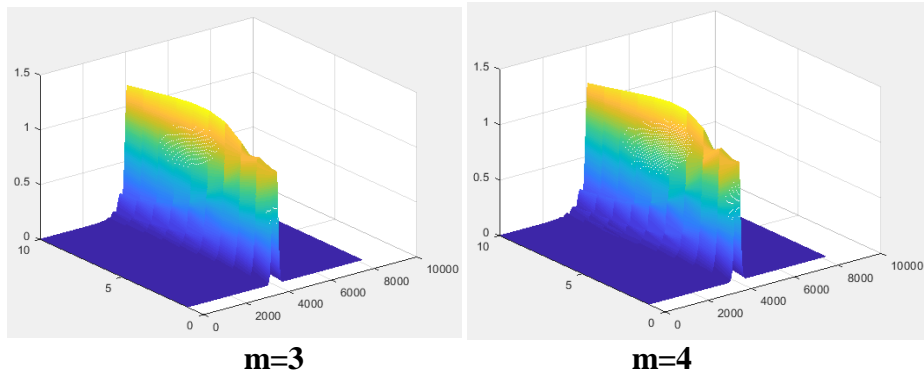


Figure IV 3:L'impulsion super-gaussienne

IV. 4 Les Solitons d'ordre supérieur :

* Soliton d'ordre 2 :

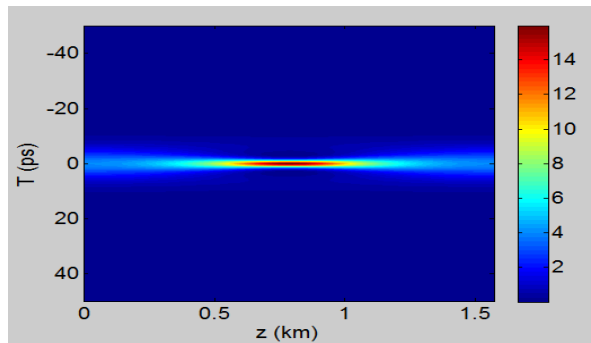
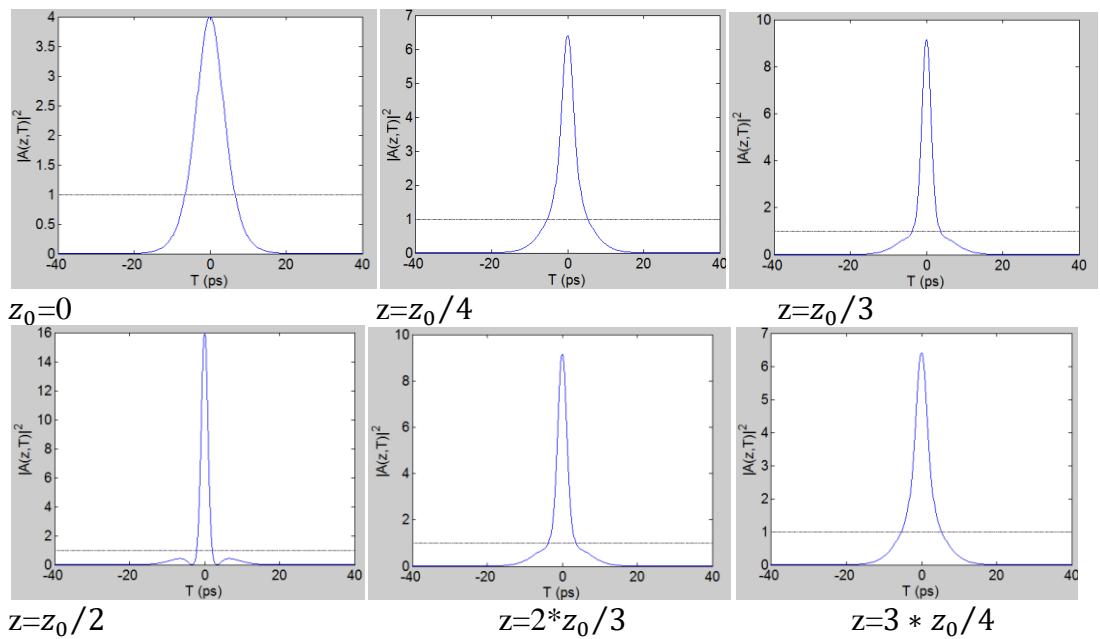


Figure (IV .4 .1 a): Soliton d'ordre2 sur une période



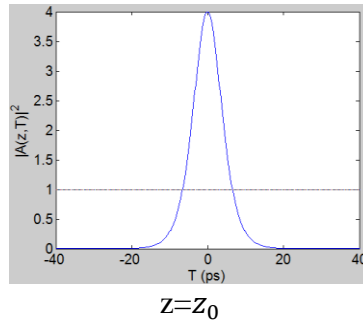


Figure (IV.4.4 b) : Soliton d'ordre 2 sur une période

***Soliton d'ordre 3**

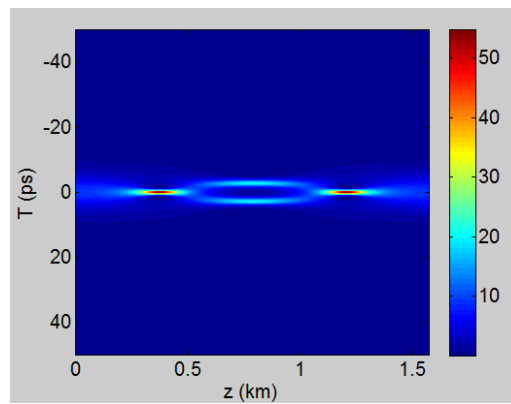
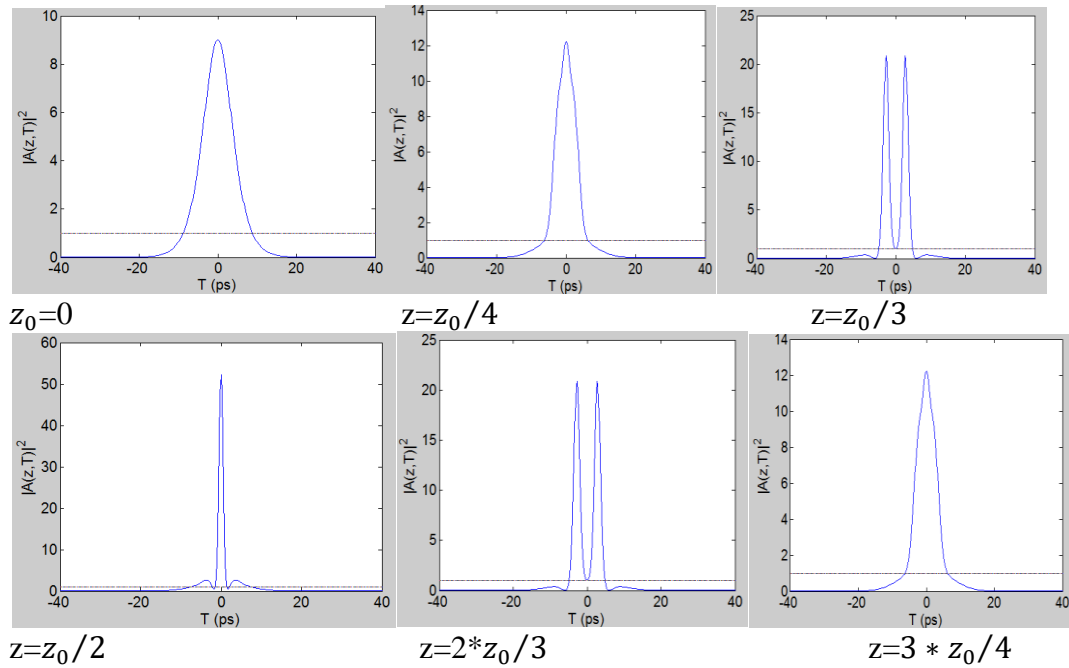


Figure (IV .4.2a): Soliton d'ordre 3 sur une période.



Chapitre 4: La simulation

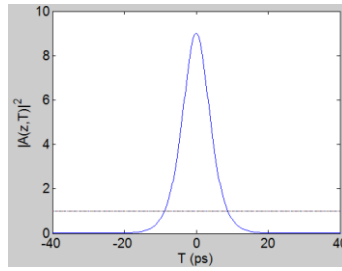


Figure (IV 4 .2.b) : évolution du Soliton d'ordre 3.

*Soliton d'ordre 4:

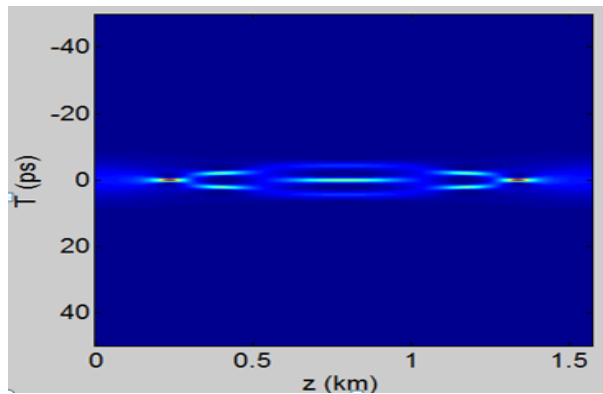
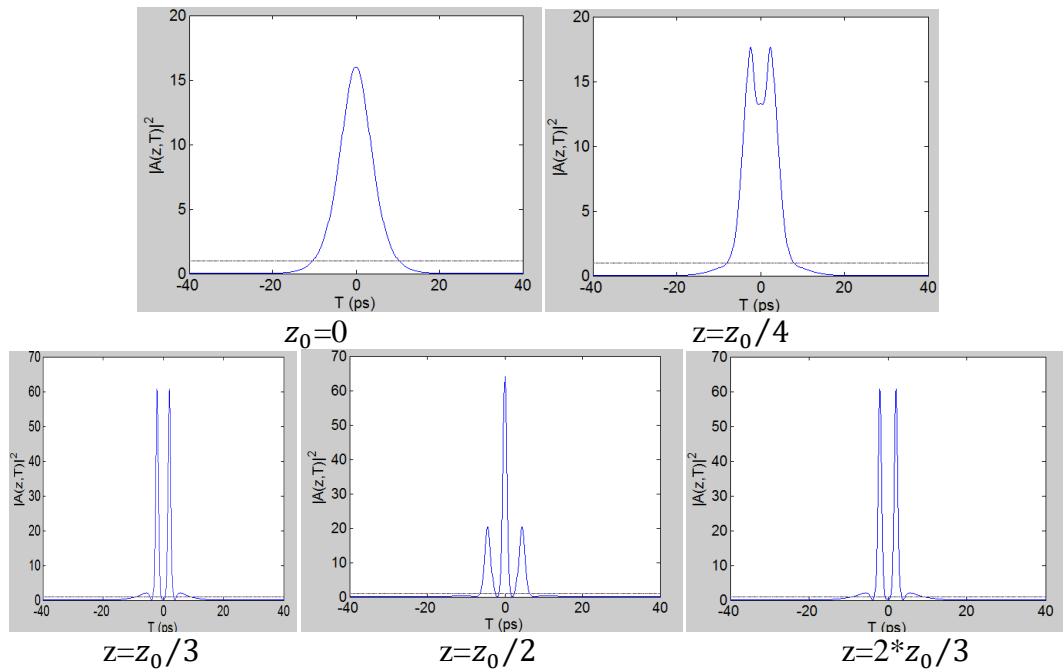


Figure (IV 4.3.a): Soliton d'ordre 4 sur un période.



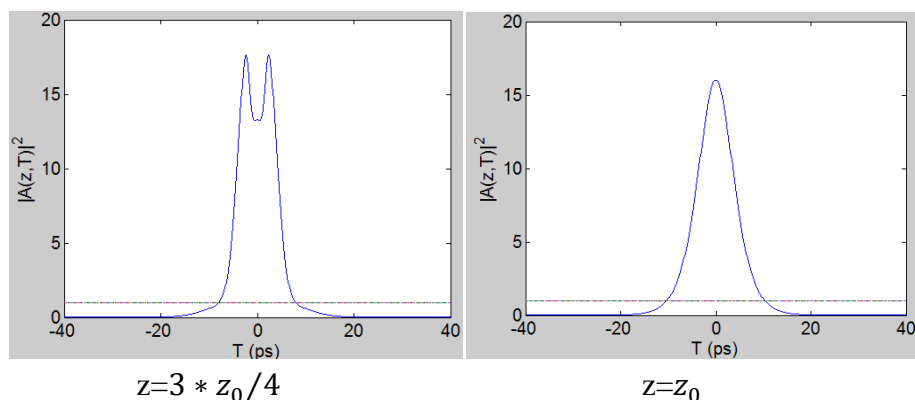


Figure (IV 4 .3.b) : évolution du Soliton d'ordre 4.

***Soliton d'ordre 5:**

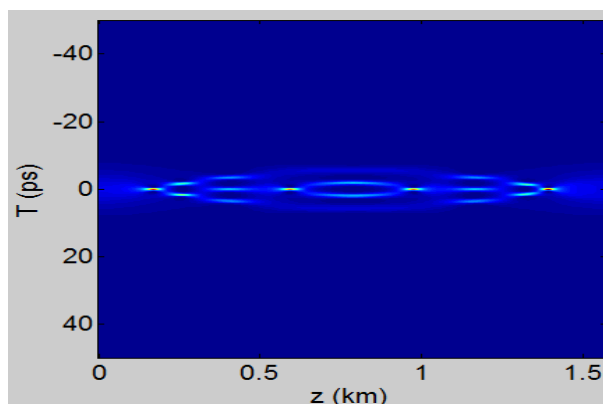
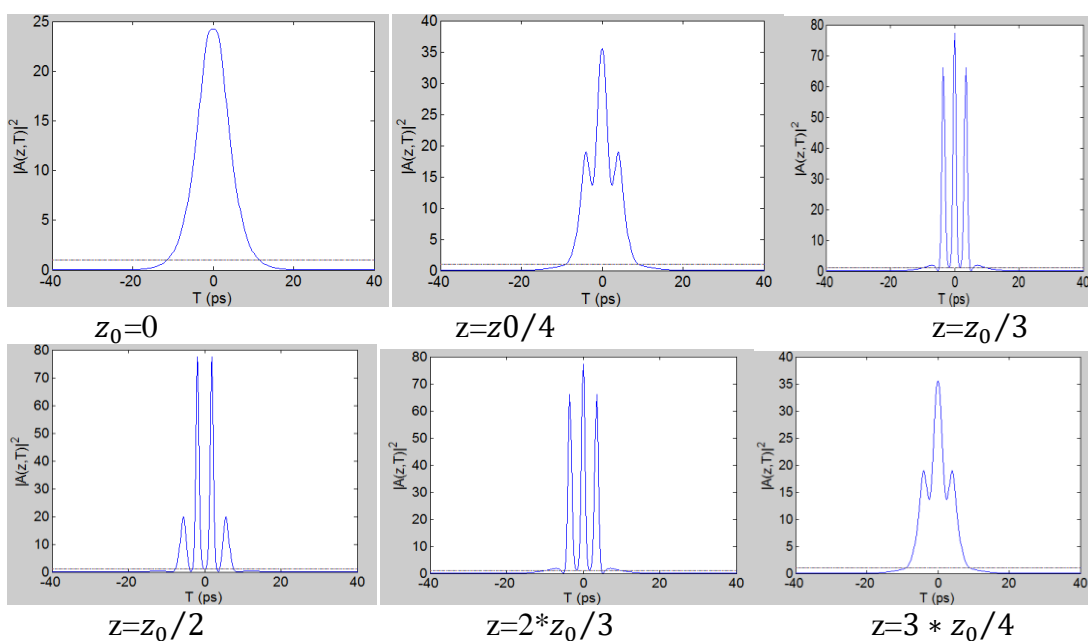


Figure (4.4.a) : soliton d'ordre5 sur une période



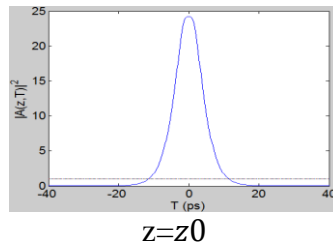


Figure (IV .4.4.a) : évolution du Soliton d'ordre 5.

IV.5 Amplification Raman:

*1/Amplification Raman sur un Soliton fondamental:

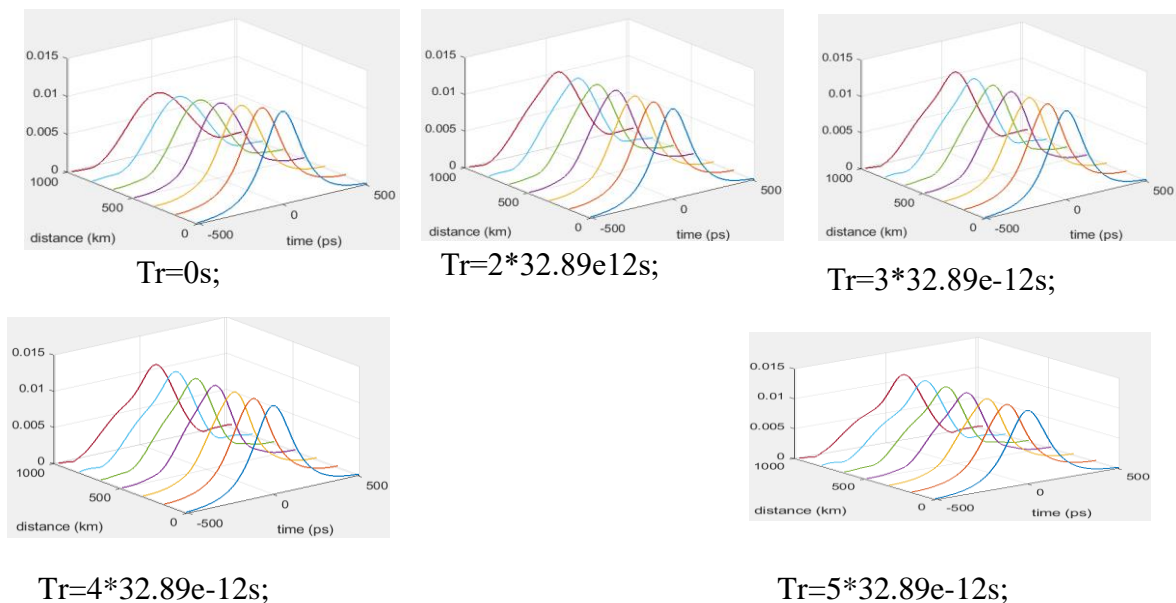


Figure (IV .5.1) : Amplification Raman d'un soliton fondamental

*2/ L'effet d'atténuation d'un Soliton fondamental et amplification Raman d'un soliton d'ordre1(soliton fondamental):

-La figure (IV .5.2) confirme la proposition donnée par les chercheurs, on a vérifié que pour la même valeur de l'atténuation : ($\alpha= 0.001 \text{ km}^{-1}$)

-Le soliton fondamental s'amplifie par l'effet Raman Figure (IV .5.3), pour cette raison l'effet Raman est considéré comme amplificateur, et il existe même des chercheurs qui le propose comme solution pour rectifier les pertes dans la fibre optique, sur tout vue l'avantage que c'est un amplificateur qu'on peut produire par la fibre elle-même sans instruments. Cependant le bruit d'amplification est l'un des problèmes majeurs de transmission.

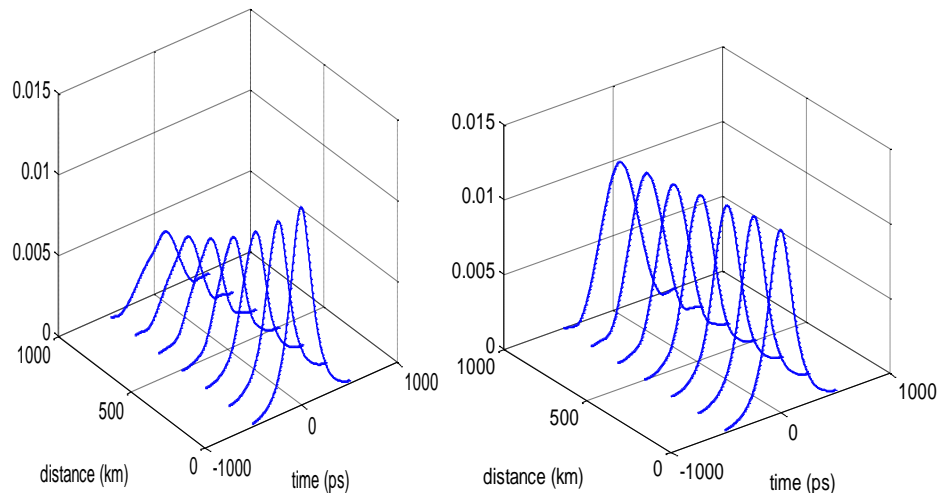


Figure (IV .5.2) : Effet d'atténuation d'un Soliton1, Figure (IV .5.3) Amplification Raman d'un Soliton1

3/Amplification Raman dans un soliton d'ordre supérieure :(La fission des soliton)

***N=2 ; Tr=32.89e-12s;**

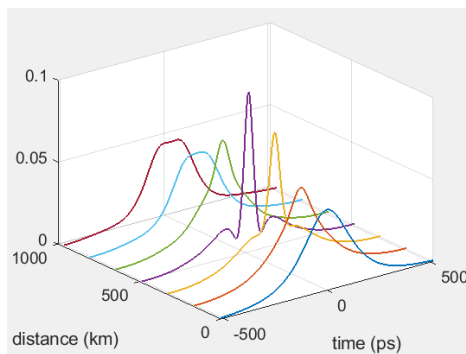


Figure (IV .5.4.a) :Soliton d'ordre 2.

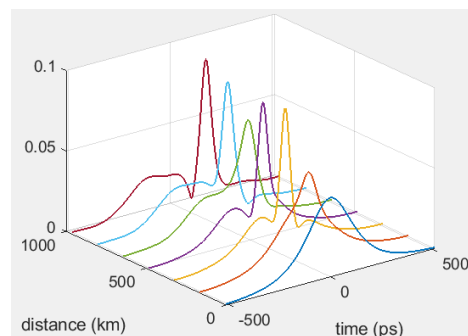


Figure (IV .5.4.b):Amplification Raman dans un soliton 2.

***N=3 ; Tr=32.89e-12s;**

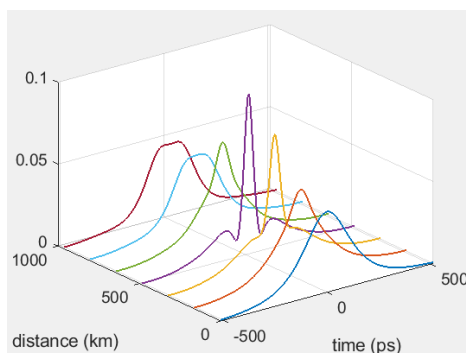


Figure (IV .5.5.a) :Soliton d'ordre 3

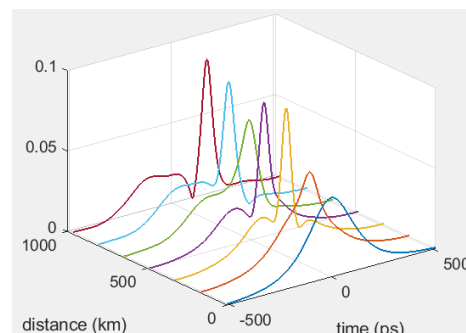


Figure (IV .5.5.a) : Amplification Raman dans un soliton d'ordre 3

*** $N=4$; $T_r=32.89e-12s$;**

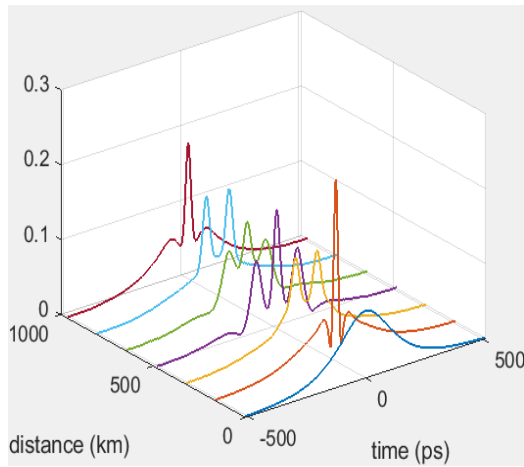


Figure (IV .5.5.a) :Soliton d'ordre 4

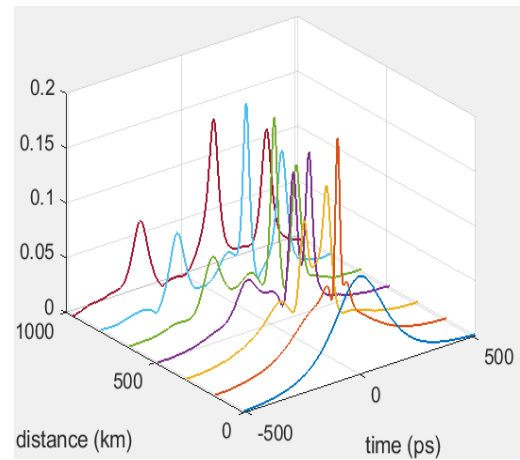


Figure (IV .5.5.a) :Amplification Raman

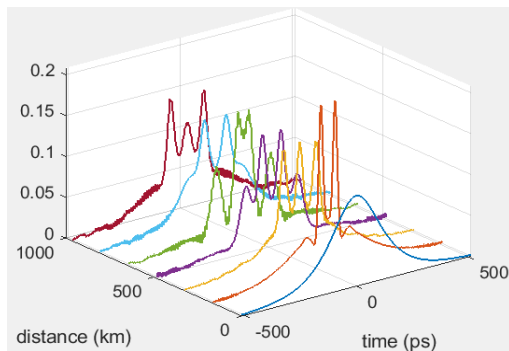


Figure (IV .5.6.a) :Soliton d'ordre 5

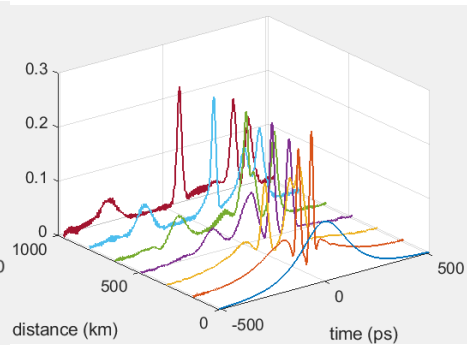


Figure (IV .5.6.b):Amplification Raman dans un soliton 5

IV.6 Conclusion:

Dans ce chapitre on a illustré l'effet Raman sur les Solitons d'ordre supérieurs, ainsi que son effet en tant qu'un amplificateur. L'effet Raman provoque la fission des Solitons d'ordre supérieurs en plusieurs Solitons Fondamentaux, et ainsi provoque la désintégration des solitons qui ont une structure périodique.

L'effet Raman peut servir comme amplificateur pour compenser l'atténuation. Ces solitons dont la stabilité est garantie compensation de la dispersion avec la non-

Linéarité et l'atténuation neutralisée par amplification Raman.Ils sont appelés « Solitons dissipatifs ».

Conclusion Générale

Le système le plus attirant à l'heure est le transfert de l'information par la lumière dans une fibre optique en silice. Il excite deux effets conduisant à sa distorsion : La dispersion chromatique d'ordre 2, et l'effet Kerr qui jouent un rôle essentiel pour la création d'un soliton. Ces deux effets limitent la capacité des lignes de transmission optique, par contre la dispersion chromatique équilibre exactement la non linéarité Kerr et on aura donc la formation d'un soliton optique qui se propage sans déformations de son profil.

On a démontré qu'il y a plusieurs équations qui modélisent la propagation des solitons dans les fibres optiques. On s'est basé dans ce mémoire sur l'équation de Schrödinger non linéaire en raison de sa large application dans la télécommunication. Dans l'équation de Schrödinger, les termes non linéaires d'ordre supérieure sont négligeables pour pouvoir trouver une solution stable la propagation des solitons dans une fibre optique est calculée numériquement. On remarque que, dans le cas des solitons d'ordre supérieures, la fission se fait par l'effet Raman.

L'effet Raman peut servir comme amplificateur à n'importe quelle longueur d'onde grâce au décalage Stokes, ceci est mieux que l'amplification par dopage (fibre dopé) ou les amplificateurs optoélectroniques, car l'effet Raman peut rendre la fibre elle-même en amplificateur pour compenser l'atténuation.

Références Bibliographies

- [1]: G. P. AGRAWAL, Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition, 2002.
- [2]: G. P. AGRAWAL, Nonlinear Fiber Optics, Academic Press, Fourth edition, US, 2007.
- [3]: P. KAEWPLUNG, T. VIJITRMEKTHONG, Ideal Soliton transmission in lossy optical fiber, ISCIT 2004, 2004, 884-889.
- [4]: G. P. AGRAWAL, Applications of non linear fiber optics, Academic Press, 2001.
- [5]: A. HASEGAWA, Theory of information transfer in optical fibers: A tutorial review, Optical Fiber Technology 10 (2004) 150–170.
- [6]: Les Fibres optiques, Dossier technique, Theme d'autonomie 1999.
- [7]: E. Wu, Measuring chromatic dispersion of single-mode optical fibres light interferometry, a thesis submitted in fulfilment of the requirements for the Master of Science in Physics, The University of Auckland, 2006.
- [8]: F. Baribeau, Guide d'onde effile comme compensateur de dispersion chromatique dans les systemes de communications multi- longueurs d'onde' memoire presente a la faculte des etudes superieures de l'universite Laval pour l'obtention du grade de maitre des sciences (M.Sc.), Avril, 2001.
- [9]: A.E. Willner, Chromatic dispersion and polarisation-mode dispersion : managing key limitations in optical communication systems, in Optics & Photonics News .Mars 2002. p. 16-21.
- [10]: Web Page: www.forceinc.com, The effects of fibre nonlinearities on high speed fiber optic data transmission, a brave new world of complexity.
- [11]: P. G. DRAZIN & R. S. JOHNSON, Solitons: an Introduction, Cambridge University Press, 1989.
- [12]: G. P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, Third ed. New York: Academic press, 2001.
- [13]: Dmitrie V.G, Habdbook of Nonlinear Optical Crystals ,Springer(1997).