

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur

Et de la Recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de télécommunications

Réalisé par :

LAZAR Asma & TLIBA Chouikha & BEN AROUS Sawsen

Thème :

**Source large bande destinée aux
systèmes de communications optiques
multi-longueur d'ondes**

Devant le jury composé de:

Dr. LAKHDAR Nacereddine
Dr. GHENDIR Said
Dr. MEDJOURI Abdelkader

MCA
MCB
MCA

Président
Examineur
Rapporteur

Juin 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شكر وتقدير

نشكر الله تعالى على فضله، فله الشكر والحمد الكاملين على اتمام عملنا.
كما نتقدم بالشكر إلى كل استاذ خاطب عقولنا بحكمة وتواضع
إلى كل مَنْ علمنا أن النجاح جهد ومُثابرة
إلى كل من أصلح أخطاءنا من غير من ولا فخر
على رأسهم الأستاذ الدكتور "مجوري عبد القادر" الذي أشرف على مذكرتنا ولم
يبخل علينا بنصائحه وتوجيهاته القيمة.
لهم جميعا ولكل مَنْ شجعنا جزيل الشكر.

Résumé

Le travail de ce mémoire a pour objectif l'étude, via des simulations numériques, d'une source laser large bande destinée aux systèmes de communications optiques haut débit à multiplexage par longueur d'ondes. La source est obtenue via la génération d'un supercontinuum, l'effet Kerr et l'effet Raman via l'injection d'une impulsion laser femto seconde à très haut intensité lumineuse dans le cœur d'une fibre optique à cristaux photonique présentant un profil de dispersion chromatique négative sur toute l'intervalle spectrale.

Mots clés

Communications optiques, génération de supercontinuum, WDM.

Abstract

The objective of the memoir is to study, via digital simulations, a broadband laser source intended for high-speed optical communications systems with wavelength-division multiplexing. The source is obtained via the generation of a supercontinuum, Kerr effect and Raman effect via the injection of a very high light intensity femtosecond laser pulse into the core of a photonic crystal optical fiber exhibiting a negative chromatic dispersion profile over the entire interval spectral.

Keywords

Optical communications, supercontinuum generation, WDM.

ملخص

الهدف من الأطروحة هو دراسة ، من خلال المحاكاة الرقمية ، مصدر ليزر عريض النطاق مخصص لأنظمة الاتصالات الضوئية عالية السرعة مع تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي. يتم الحصول على المصدر من خلال توليد استمرارية فائقة مع تأثيرات كار ورامون عن طريق حقن نبضة ليزر الفيمتو ثانية بكثافة عالية جدًا في قلب الألياف الضوئية البلورية الضوئية التي تظهر مظهر تشتيت لوني سلبي على كامل الفترة الطيفية.

كلمات مفتاحية

الاتصالات الضوئية، جيل استمرارية فائقة، الطول الموجي المقسم WDM.

SOMMAIRE

Remerciement	I
Résumé	II
SOMMAIRE	III
LISTE DE FIGURES	VI
LISTE DE TABLEAUX	VIII
TABLE DES ACRONYMS	IX
TABLE DES SYMBOLES	XI
INTRODUCTION GENERALE	1
I. Chapitre I: Systèmes de Communications Optiques	3
I.1. Introduction	4
I.2. Schéma de principe d'un système de communication optique	4
I.2.1. Liaison point à point	4
I.2.2. L'émetteur TX	5
I.2.2.1. Source laser	5
I.2.2.2. Modulation source laser	6
I.2.2.3. Les formats de modulation	6
I.2.3. Les techniques de multiplexages	7
I.2.3.1. Le multiplexage temporel (TDM)	7
I.2.3.2. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)	8
a) Les principes généraux	8
b) Description	8
c) Application	8
I.2.3.3. Comparaison entre TDM et WDM	9
I.2.4. Fibre optique	9
I.2.5. Amplificateur	9
I.2.6. Dispersion chromatique	10
I.2.7. Le récepteur RX	10
I.3. La fibre optique	11
I.3.1. Structure d'une fibre optique	11
I.3.1.1. Le cœur	11
I.3.1.2 La gaine	12
I.3.1.3. Revêtement de protection	12
I.3.2. Le principe d'une fibre optique	12
I.3.3. Les types de fibre optique	13
I.3.3.1. Multimode (MMF)	13
a) Saut d'indice	13
b) Gradient d'indice	13
I.3.3.2. Monomode (SMF)	14
I.3.4. Les avantages et les inconvénients de la fibre optique	14
I.3.4.1. Les avantages	14
I.3.4.2. Les inconvénients	14
I.4. Les réseaux optiques	15

I.4.1. Le réseau locale (LAN)	15
I.4.2. Le réseau métropolitain (MAN)	15
I.4.3. Le réseau long distance (WAN)	17
I.5. Conclusion	17
II. Chapitre II : Effets Non-Linéaire de la Fibre Optique	18
II.1. Introduction	19
II.2. Optique non linéaire	19
II.2.1. Équation de propagation nonlinéaire	19
II.3. Effets non linéaire	20
II.3.1. Effets Kerr	21
II.3.1.1. Auto-modulation de phase (SPM)	21
II.3.2. Effets Raman	22
II.4. Équation de Schrödinger nonlinéaire généralisée	23
II.4.1. Équation d'enveloppe nonlinéaire	23
II.4.2. Dispersion chromatique	24
II.4.3. Le terme de choc optique	24
II.5. Le supercontinuum	24
II.5.1. Évolution de la génération de supercontinuum	24
II.6. Conclusion	25
III. Chapitre III : Simulation et Résultat	26
III.1. Introduction	27
III.2. Structure de la fibre cristaux photonique	27
III.3. Propriétés de la fibre (PCF)	28
III.4. Simulation de la génération de supercontinuum	28
III.4.1. Première simulation	29
III.4.1.1. Domaine temporel	29
III.4.1.2. Domaine spectrale	29
III.4.1.3. Les évolutions des impulsions dans LCPCF	30
III.4.2. Impacte de la puissance Pic (P_0)	30
III.4.2.1. Domaine temporel	31
III.4.2.2. Domaine spectrale	31
III.4.2.3. Les évolutions des impulsions dans LCPCF	32
III.4.3. Impact de la durée (T_0)	32
III.4.3.1. Domaine temporel	33
III.4.3.2. Domaine spectrale	33
III.4.3.3. Les évolutions des impulsions dans LCPCF	34
III.4.4. Impact de la longueur de la fibre	34
III.4.4.1. Domaine temporel	35
III.4.4.2. Domaine spectrale	35
III.4.4.3. Les évolutions des impulsions dans LCPCF	36
III.4.5. Impact de l'effet Raman	36
III.4.5.1. Domaine temporel	36
III.4.5.2. Domaine spectrale	37
III.4.5.3. Les évolutions des impulsions dans LCPCF	37

III.5. Cohérence de supercontinuum	37
III.6. Conclusion	38
Conclusion Générale	39
Référence bibliographique	41
Annexe	44

LISTE DE FIGURES

Figure I-1: Liaison optique point à point	4
Figure I-2: Schéma des processus d'émission spontanée (a), d'absorption (b) et d'émission stimulée (c)	6
Figure I-3: Représentation d'un multiplex TDM (4 voies vers 1) en fonction des données initiales	7
Figure I-4: Schéma de principe du multiplexage WDM dans les communications par fibre optique (avec 3 longueurs d'ondes)	8
Figure I-5: TDM vs. WDM	9
Figure I-6: Schéma d'un récepteur de données à détection directe	11
Figure I-7: Structure d'une fibre optique	12
Figure I-8: Lois de propagation du signal dans une fibre optique	12
Figure I-9: Dispersion intermodale dans une fibre multimode à saut d'indice	13
Figure I-10: Profil d'une fibre multimode à gradient d'indice	13
Figure I-11: Profil d'une fibre monomode à saut d'indice	14
Figure I-12: Le réseau local français	15
Figure I-13: Réseau métropolitain structurant et réseau métropolitain d'accès	16
Figure III-1: Coupe transversale du LCPCF proposé	27
Figure III-2: Courbes GVD des LCPCF avec différents pas	28
Figure III-3: L'enveloppe de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge), pour (a) impulsion gaussienne et (b) impulsion hyperbolique	29
Figure III-4: Spectre de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge), pour (a) impulsion gaussienne et (b) impulsion hyperbolique	29
Figure III-5: Les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long du LCPCF, pour (a) impulsion gaussienne et (b) impulsion hyperbolique	30
Figure III-6: L'enveloppe de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge), pour les puissances (a) 800 W, (b) 900 W et (c) 1000 W	31
Figure III-7: Spectre de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge), pour les puissances (a) 800 W, (b) 900 W et (c) 1000 W	31
Figure III-8: Les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long du LCPCF, pour les puissances (a) 800 W, (b) 900 W et (c) 1000 W	32
Figure III-9: L'enveloppe de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge)	33
Figure III-10: Spectre de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge)	33
Figure III-11: Les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long du LCPCF	34
Figure III-12: L'enveloppe de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge)	35
Figure III-13: Spectre de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge)	35
Figure III-14: Les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long du LCPCF	36
Figure III-15: L'enveloppe de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge) pour $f_R = 0.89$ (a) et $f_R = 0$ (b)	36
Figure III-16: Spectre de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge) pour $f_R = 0.89$ (a) et $f_R = 0$ (b)	37

Figure III-17: Les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long du LCPCF pour $f_R = 0.89$ (a) et $f_R = 0$ (b)	37
Figure III-18: Cohérence de SC pour différentes longueurs de fibres	38

LISTE DE TABLEAUX

Tableau II-1: Phases d'évolution de la génération de SC en fonction du milieu non-linéaire .24

TABLE DES ACRONYMS

Acronymes	Signification Anglo-Saxons	Signification française
ASK	Amplitude Shift Keying	Modulation par déplacement d'amplitude
CD	Chromatic Dispersion	Dispersion chromatique
CW	Continu Wave	Onde continu
DML	Direct Modulation Laser	Laser à modulation directe
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	Multiplexage dense en longueur d'onde
EAM	Electro-Absorption Modulator	Modulateur à électro-absorption
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifiers	Amplificateur à fibre dopée à l'Erbium
FWM	Four Wave Mixing	Mélange à quatre ondes
GNLSE	Generalized Non-Linear Schrödinger Equation	Equation de Schrödinger non linéaire généralisée
GVD	Group Velocity Dispersion	Dispersion de vitesse de groupe
ISI	Inter-Symbol Interference	Interférence inter-symbole
LAN	Local Area Network	Réseau local
LCPCF	Liquid Core Photonic Crystals Fiber	Fibre à cristal photonique à noyau liquide
MAN	Metropolitan Area Network	Réseau métropolitain
MMF	Multi-Mode Fiber	Fibre multimode
MZM	Mach-Zehnder Modulator	Modulateur Mach-Zehnder
NLO	Non-Linear Optics	Optique non linéaire
NLSE	Non-Linear Schrödinger Equation	Equation de Schrödinger non linéaire
NRZ	Non Return to Zero	Non-Retour à Zéro
PCF	Photonic Crystals Fiber	Fibre à cristaux photonique
PSK	Phase Shift Keying	modulation par changement de phase
RX	Receiver	Récepteur
RZ	Return to Zero	Retour à Zéro
SC	Super-Continuum	Super-Continuum
SMF	Single-Mode Fiber	Fibre monomode

SPM	Self-Phase Modulation	Auto-modulation de phase
SRS	Stimulated Raman Scattering	Diffusion Raman stimulée
TDM	Time Division Multiplexing	Multiplexage temporel
TX	Transmitter	Emetteur
WAN	Wide Area Network	Réseau long distance
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Multiplexage en longueur d'onde
WPM	Cross-Phase Modulation	Modulation en phase croisée

TABLE DES SYMBOLES

Symboles	Signification
L	Longueur de fibre optique
k_0	Le vecteur d'onde
I	L'intensité lumineuse
P	Puissance
$\Delta\Phi_{\text{SPM}}$	Déphasage nonlinéaire
γ	Effet Kerr
$n (n_1 / n_2)$	L'indice de réfraction
A_{eff}	Aire effective
$A(z, T)$	Une onde
z	distance
R	Effet Raman
$h_r(t)$	Réponse Raman retardée
$h_R(t)$	Réponse Raman temporelle
f_R	La fraction de la réponse Raman retardée
$\delta(\tau)$	Le non linéarité de Kerr instantanée
$\tau (\tau_1 / \tau_2)$	Temps
β	La constante de propagation
ϵ_0	Permittivité
$\hat{D}$	Dispersion chromatique
α	Perte
τ	Terme de choc

Introduction Générale

Introduction Générale

Depuis que le premier système de téléphonie optique a été installé en Californie en 1977, dans lequel des fibres optiques produites par des scientifiques de Corning Glass Works ont été utilisées, qui transportent des informations plus de 65 000 fois qu'un câble existant à l'époque, les réseaux de communication optique ont été témoins et sont toujours témoin d'une évolution très rapide en termes de débit de transmission Information qui a conduit à la suppression partielle et dans certains cas totale du câble coaxial.

Les transmissions par fibre optique sont devenues une variété de techniques qui diffèrent selon le type de source, la fibre optique et les types de technique de multiplexage, qui sont les éléments les plus importants qui déterminent la qualité du signal reçu. Ces éléments sont les bases de notre projet de fin d'étude, que nous abordons en trois parties :

Dans le premier chapitre, nous parlons d'abord de la communication optique et particulièrement de liaisons point à points et ses parties commençant par l'émetteur et puis le multiplexage, la fibre optique, l'amplificateur et en fin le récepteur. On va donner un aperçu sur les différentes composantes en mettant le point sur les fibres optiques. Les réseaux optiques présentent l'élément avec lequel on termine le chapitre.

Dans la deuxième partie, on va parler sur l'optique nonlinéaire et ses caractéristiques commençant par l'équation de propagation nonlinéaire. Puis, nous passerons aux effets nonlinéaires comme effet Kerr et Raman et ses manifestations, par exemple auto-modulation de phase, tout en présentant le modèle mathématique adéquat. Parmi plusieurs modèles employés pour décrire la propagation des impulsions optiques ultra-courtes, nous détaillons celui basé sur l'équation nonlinéaire généralisée de Schrödinger. En fin, on présente brièvement le processus de la génération de supercontinuum.

Nous terminons ce mémoire en présentant les différents résultats de simulations numériques. Nous commençons par donner la structure de la fibre à cristaux photonique qui sera jouera le rôle de milieu nonlinéaire ainsi que ses propriétés propagatoires. La fibre utilisée a un cœur rempli d'un liquide optique compatible ayant une transparence qui couvre l'infra-rouge autour de $1.55 \mu\text{m}$. Cette simulation se concentre sur la génération de supercontinuum dans différentes variables que nous essayons de contrôler, commençant par les deux différentes impulsions gaussiennes et hyperboliques qui nous aident à décider d'utiliser l'impulsion hyperbolique dans le reste de simulations. Dans le reste des simulations, nous modifions une variable et voyons les différences que cela pourrait causer ou impacter, ce qui nous permet de choisir les meilleures variables pour obtenir les résultats que nous voulons. Les variables sont : la puissance, la durée, la longueur de fibre et l'impact d'effet Raman. Et finalement, on discute la cohérence de supercontinuum réalisé.

On termine ce mémoire par une conclusion générale dans laquelle on adresse les différents résultats portant sur la génération de supercontinuum et des éventuelles perspectives.

Chapitre I

Systemes de Communications Optiques

I.1. Introduction

Un système de communication optique est un système très compliqué qui transmette l'information en utilisant la lumière dans des câble qui a appelé fibre optique.

Peu importe combien nous parlerons de système de communication optique ne suffira pas devant le développement quotidien et la nouvelle réalisation, c'est pourquoi nous ne parlerons que des généralités du système de communication et de la fibre optique à partir du schéma de principe d'un système de communication optique.

I.2. Schéma de principe d'un système de communication optique

Le principe général dans la communication optique est de transporter l'information à la forme de lumière où des impulsions lumineuses entre d'émetteur et le récepteur dans des guides des ondes optiques où l'espace libre.

Dans notre travail nous avons besoin de faire l'étude dans le cas liaison optique point à point. Cette liaison composé d'une émetteur TX qui reçoit un message électrique et le convertir en signal numérique optique. Suivie par le multiplexage et la fibre optique qui doit être une fibre monomode où multimode (Dans le figure I-1 la fibre est monomode). Pour préserver le signal optique reçu en distance de quelques kilomètres il faut l'amplifier avec une où des amplificateurs. Puis il y a l'effet de dispersion chromatique à base de fibres spéciales et le démultiplexage. En fin, nous avons le récepteur qui transfère le signal optique reçu au message électrique.

Et tout ce qui a été mentionné est dans le schéma principal ci-dessous.

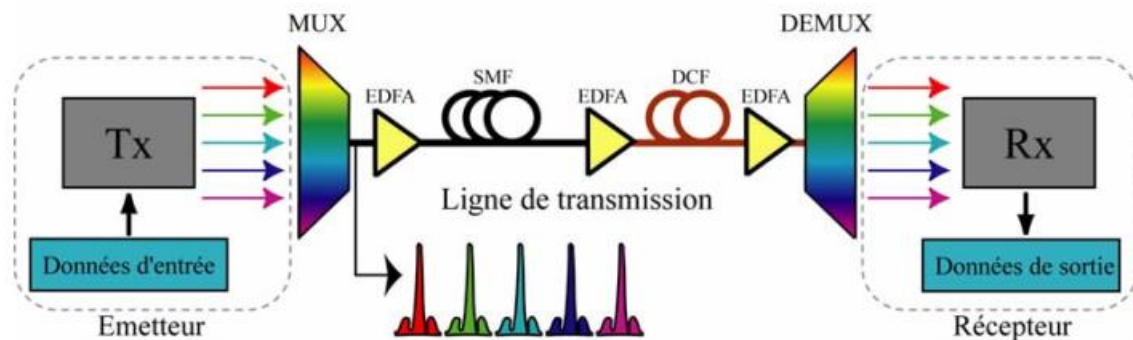


Figure I-1 : Liaison optique point à point [6]

I.2.1. Liaison point à point

Le type de liaison point à point est utilisé généralement dans les liaisons longues et très longues distances. La fibre n'utilise pas la liaison en anneau parce que son architecture structure plus complexe par rapport où la fibre relie un point à un autre.

La fibre optique véhicule les impulsions optiques entre l'émetteur et le récepteur, qui sont les extrémités des systèmes de transmission point à point. La liaison point à point constitue l'armature des réseaux optiques. [6]

I.2.2. L'émetteur TX

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques s'est porté sur les émetteurs à semi-conducteur à cause de leurs petites dimensions en rapport avec celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité que l'on a à moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique. Ainsi la diode laser est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre. [5]

L'objectif principal d'un émetteur optique est de convertir les données électriques vers le domaine optique. Il y a 3 différents moyens pour y parvenir qui sont : des lasers à modulation directe (DML), des modulateurs à électro-absorption (EAM), des modulateurs de Mach-Zehnder (MZM) ou des modulateurs de phase.

Ci-dessous, nous parlerons de source laser.

I.2.2.1. Source Laser

Le mot LASER ce qui veut dire en anglais Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, indique l'amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement. En 1960, en utilisant un barreau de rubis, Mainman a pu montrer l'effet du laser.

Un laser est un dispositif qui émet de la lumière grâce au phénomène d'émission stimulée. En effet, dans un semi-conducteur, un électron peut passer d'un état à un autre de trois façons : [5]

- 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. [5]

- 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). [5]

- L'émission stimulée : Frappé par un photon, l'électron peut retomber dans l'état le moins énergétique (état lié) en émettant un photon stimulé dont le rayonnement correspond à la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation et la même directivité spatiale que le photon incident. On parle alors de lumière cohérente. Avec l'émission stimulée s'introduit la notion de gain ou d'amplification du rayonnement incident puisque, à partir d'un photon, on en obtient deux. [5]

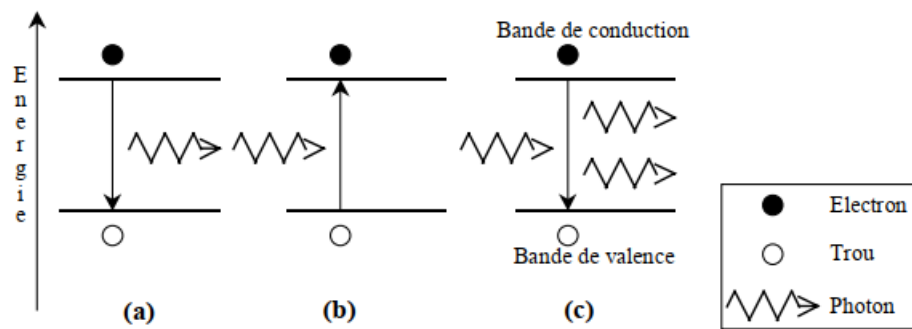


Figure I-2 : Schéma des processus d'émission spontanée (a), d'absorption (b) et d'émission stimulée (c). [5]

Les pertes de fibre optique diminuent comme les années passent jusqu'à ce que sa longueur d'onde atteigne à 1550 nm, et c'est grâce à l'évolution de laser à semi-conducteur émettant sur un seul mode longitudinal.

L'émission et l'absorption se compensent à nouveau par l'absorption électronique du photon émis. Deux conditions doivent être remplies pour obtenir l'effet laser et donc rendre l'émission stimulée prépondérante obtenue, à savoir:

- a) On peut réaliser une inversion de population de ce qui est ayant assez d'électron dans l'état d'énergie supérieure. Dans un semi-conducteur, grâce à l'opération de pompage, cette inversion est obtenue pour fournir de l'énergie aux électrons afin qu'ils passent dans la bande de conduction.
- b) Les photons d'émission spontanée amorçant la réaction lorsque en enfermant le semi-conducteur dans une cavité résonante constituée. Cela se fait en forçant l'énergie lumineuse à s'accumuler en place, ce qui nous donne un nombre suffisant de photons excitateurs.

I.2.2.2. Modulation d'une source laser

Les deux principaux moyens pour moduler la source continue des lasers afin d'inscrire l'information à transmettre dans le signal optique, sont soit une modulation directe du laser par modulation du courant traversant la zone active soit une modulation externe de la lumière émise par la diode laser au moyen de composants modulateurs. [3]

I.2.2.3. Les formats de modulation

Le signal optique est codé par des différents types de modulation du signal. Il y a deux catégories principales, la modulation d'amplitude (ASK pour Amplitude Shift Keying) au laquelle la présence du signal optique ou non qui détermine le passage d'un symbole binaire à l'autre, et la modulation de phase (PSK pour Phase Shift Keying) où la variation de la phase du signal détermine le passage d'un symbole binaire à l'autre.

Les deux principaux formats de modulation d'amplitude sont : le format NRZ pour Non-Retour à Zéro c'est-à-dire que l'amplitude de l'enveloppe ne revient pas au niveau bas entre deux symboles «1» et le format RZ pour Retour à Zéro ou l'on revient au niveau bas entre deux symboles «1». [3]

I.2.3. Les techniques de multiplexage

Avec le développement de la technologie, il est devenu nécessaire de trouver un moyen d'augmenter la taille et le nombre de signaux transmis dans les fibres optiques. Pour cela, les scientifiques ont trouvé des moyens d'augmenter le débit d'information, qui sont les techniques de multiplexage.

Il y a plusieurs types de multiplexage, les plus importants sont : Le multiplexage temporel (TDM : Time Division Multiplexing), Le multiplexage en longueur d'onde (WDM : Wavelength Division Multiplexing).

I.2.3.1. Le multiplexage temporel (TDM)

Le multiplexage TDM (Time Division Multiplexing, multiplexage à répartition temporelle (MRT)) vise à augmenter la capacité d'une porteuse par division du temps d'émission entre plusieurs utilisateurs.

L'allocation de cette bande passante se fait en divisant l'axe du temps en périodes de durée fixe, et chaque utilisateur ne va transmettre que pendant une de ces périodes déterminées. [5]

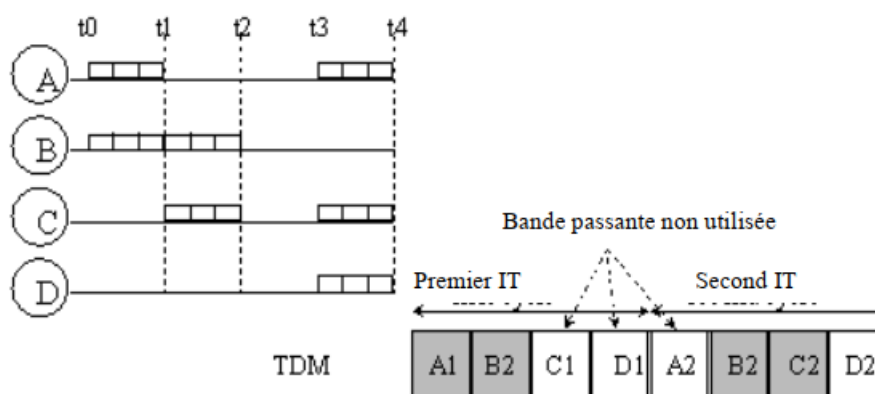


Figure I-3 : Représentation d'un multiplex TDM (4 voies vers 1) en fonction des données initiales. [5]

Le multiplexage temporel permet typiquement de passer d'un débit de 10 Gbit/s à 40 Gbit/s ou même à 160 Gbit/s. La technique électronique est limitée actuellement à 40 Gbit/s. La technique optique est possible uniquement avec un format impulsionnel court pour qu'une impulsion n'interfère pas avec les impulsions adjacentes. [4]

I.2.3.2. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM)

a) Le principe général

Les systèmes actuels de transmission optique qui transmettent l'information dans fibre optique utilisent le multiplexage en longueur d'onde ou WDM. Pour les débits très élevés.

La large bande passante de la fibre optique permet de transporter plusieurs signaux (N) à des longueurs d'onde différentes dans la même fibre optique (WDM), augmentant d'autant la capacité de la liaison qui souvent écrit $N \cdot D_b$. Chaque porteuse est transmise indépendamment des autres, dans la mesure où les deux canaux sont suffisamment espacés spectralement [4]. Par conséquent, l'addition des capacités individuelles pour chaque canal donne la capacité totale du système.

Cette grandeur dépend de plusieurs choses : qualité de la fibre, qualité des multiplexeur/démultiplexeur, longueur de transmission, qualité des sources, débit des données de chaque source. [5]

b) Description

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à des longueurs d'ondes différentes mais assez proches (dans le voisinage des 1550 nm), et de multiplexeur/démultiplexeur optiques pour combiner/séparer l'ensemble des signaux optiques dans/de la fibre. [5]

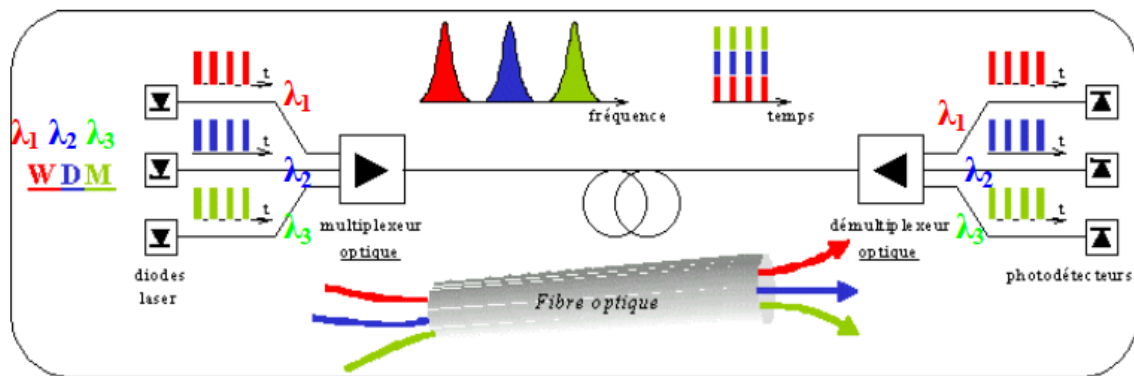


Figure I-4 : Schéma de principe du multiplexage WDM dans les communications par fibre optique (avec 3 longueurs d'ondes). [5]

c) Application

Aujourd'hui, il existe des systèmes à $4 \cdot 10$ Gbits/s, $16 \cdot 10$ Gbits/s et la science ne s'est pas arrêtée là, elle travaille à trouver des systèmes à 40 Gbits/s par longueur d'onde seront installés.

Mais le véritable point de départ du développement des systèmes de transmission WDM s'est fait lorsqu'il a été associé à l'amplification optique. En effet, l'apparition des amplificateurs à fibre dopée à l'Erbium (EDFA) a permis l'amplification simultanée de l'ensemble des N canaux d'un multiplex, sans distorsion du signal utile. Envoyer N canaux

dans une fibre optique plutôt que N fibres devenait un avantage économique indiscutable. Si, il y a encore peu de temps, l'espacement entre canaux était de l'ordre de 1nm, le terme de DWDM (Dense WDM) est maintenant utilisé. En effet, avec l'apparition, sur le marché, de lasers accordables de très bonne qualité, l'espacement entre les longueurs d'onde a pu être progressivement réduit, et est descendu à 0.8 nm ou 0.4 nm. [5]

I.2.3.3. Comparaison entre TDM et WDM

La principale différence entre eux est que TDM transmet une seule longueur d'onde dans un canal, donc le nombre des signaux transmis est le même que le nombre des canaux. Mais WDM transmet plusieurs longueurs d'ondes dans un canal, donc le nombre des signaux transmis est le nombre des longueurs d'ondes multiple au nombre de canaux ce qui est bien plus que TDM. C'est-à-dire que la capacité de système qui utilise WDM est plus grande qu'un système utilise TDM.

Cette figure montre toutes les différences qui existent entre TDM et WDM :

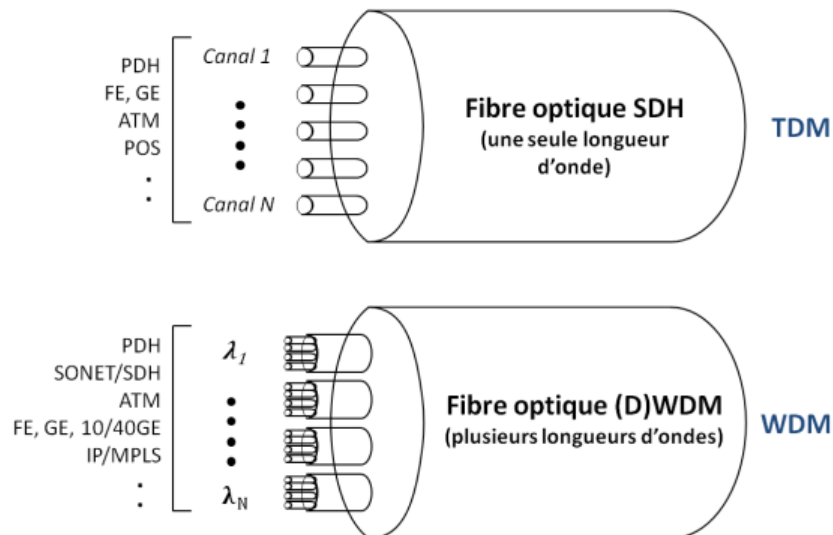


Figure I-5: TDM vs. WDM. [1]

I.2.4. Fibre optique

La fibre optique est une fibre transparente flexible en verre pur (silice) ou en plastique, et elle est utilisée dans les communications optiques, en raison de sa capacité à transmettre des distances plus éloignées et des longueurs d'onde (taux de transfert de données) plus élevées que les câbles métalliques traditionnels. Nous entrerons plus en détail à ce sujet dans le prochain titre.

I.2.5. Amplificateur

La présence de bruits parasites spontanés provoqués par des amplificateurs à fibre optique saturés en erbium est la principale cause de l'accumulation de bruit dans la corrélation. De plus, différents phénomènes physiques conduisent à une amplification du

signal. En outre, l'amplificateur à fibre dopée erbium est un haut-parleur qui s'est imposé dans le domaine de la communication.

Pour la première fois, avant de s'intéresser au bruit généré, son principe a été introduit dans les amplificateurs. L'amplificateur à fibre dopée a fait ses preuves dans le domaine des télécommunications et ceci grâce à sa transparence vis-à-vis du débit et des canaux adjacents.

Le principe d'amplification est basé sur le phénomène d'émission stimulée. L'amplificateur est en effet constitué de fibre dont le cœur est dopé aux ions terre rare (la plupart du temps des ions Erbium car ils présentent une transition radiative autour de 1.55 μm). Un pompage optique conduit à l'inversion de la population des ions terre rare qui passent dans un état excité. Le pompage s'effectue autour de 980 nm ou 1480 nm, où les ions Erbium présentent deux pics d'absorption. Le signal optique qui traverse la fibre dopée stimule le retour à l'équilibre des ions Erbium dans la fibre. L'émission radiative stimulée autour de 1.55 μm qui en résulte amplifie le signal. [4]

I.2.6. Dispersion chromatique

Le paramètre de dispersion chromatique (D) est défini comme la dérivée du temps de propagation de groupe par rapport à la longueur d'onde, pour une longueur de fibre de 1 km. On le donne généralement en ps/(nm.km), les picosecondes correspondant à l'élargissement temporel, les nanomètres à la largeur spectrale et les kilomètres à la longueur de fibre. En fait, la dispersion chromatique est la somme d'un terme de matériau pur (dispersion matériau) et d'un terme dû au guidage de l'onde (dispersion modale). [5]

La dispersion chromatique (CD) fait référence à la dépendance de la longueur d'onde de l'indice de réfraction de la fibre qui implique un déphasage entre les différentes composantes spectrales le long de la transmission traduit par un élargissement d'impulsion dans le domaine temporel. Cela provoque des interférences entre symboles (ISI) et limite donc la portée maximale réalisable des systèmes de transmission optique sans gestion de la dispersion chromatique. [2]

La variation de l'indice de réfraction avec la fréquence du milieu de propagation, conduit à des variations de vitesses des différentes composantes spectrales du signal. La différence de vitesse entre les différentes composantes spectrales du signal conduit à un élargissement des impulsions qui peut être dramatique pour la transmission du signal. Si l'élargissement temporel des impulsions est tel que les impulsions sortent de leur temps bit, l'impulsion interfère avec les impulsions voisines ce qui conduit à des interférences entre symboles. [4]

I.2.7. Le récepteur RX

Comme pour les émetteurs, de nombreux efforts sont faits pour rendre la réception plus efficace. Le rôle du récepteur est de convertir au maximum le signal lumineux en signal électrique et de dépendre de la technologie de détection directe. Cette unité est constituée de plusieurs blocs fonctionnels.

Y retrouve trois parties : Le bloc de "premier étage" composé du photo-détecteur. Il peut être accompagné d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photo-courant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photo-détecteur. Le bloc "linéaire", composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre, réducteur de bruit. Le bloc "récupération des données". Correspondant au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation. [5]

La figure suivant illustre les types mentionnés précédemment :

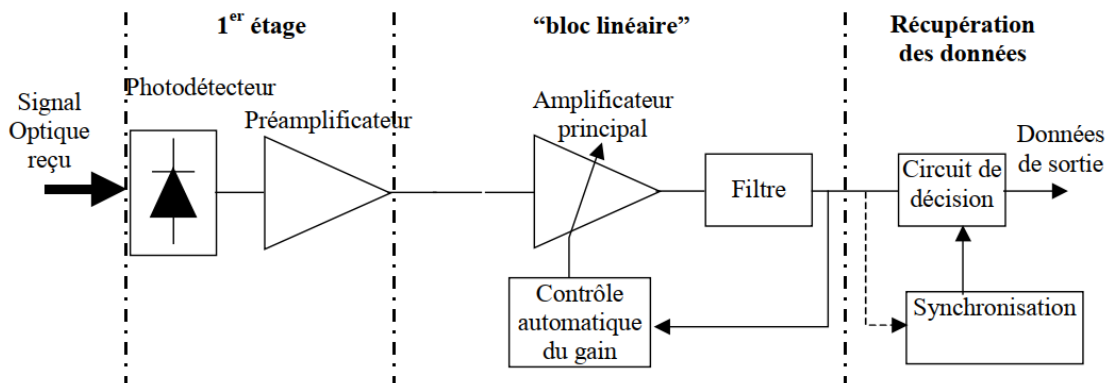


Figure I-6 : Schéma d'un récepteur de données à détection directe. [5]

I.3. La fibre optique

C'est une fibre transparente flexible en verre pur (silice) ou en plastique, avec un diamètre légèrement plus épais que le diamètre d'un cheveu humain, et est utilisée dans les communications optiques, en raison de sa capacité à transmettre des distances plus lointaines et des ondes longitudinales plus élevées (taux de transfert de données) que les câbles métalliques traditionnels.

Les fibres sont utilisées à la place des fils métalliques car les signaux y circulent avec le moins de risque de perte, et les fibres sont insensibles aux interférences électromagnétiques dont les fils métalliques souffrent grandement.

I.3.1. Structure d'une fibre optique

Une fibre est un guide d'onde cylindrique et diélectrique. Elle est constituée de deux diélectriques de même axe :

I.3.1.1. Le cœur

À travers elle, le signal optique est transmis et c'est un milieu interne, ce qui signifie que la majeure partie de l'énergie lumineuse qui traverse la fibre y est confinée, caractérisée par un indice de réfraction n_1 .

I.3.1.2. La gaine

Entour le cœur d'un milieu diélectrique permet d'éviter que le signal optique sort du cœur ce qui est connu par la réflexion totale, elle caractérisée par indice de réfraction n_2 , il faut que n_1 soit supérieur n_2 que ($n_1 > n_2$) pour réaliser, la réflexion totale.

I.3.1.3. Revêtement de protection

La dernière couche de la fibre optique offre une protection contre les parasites, de l'ordre de 230 μm .

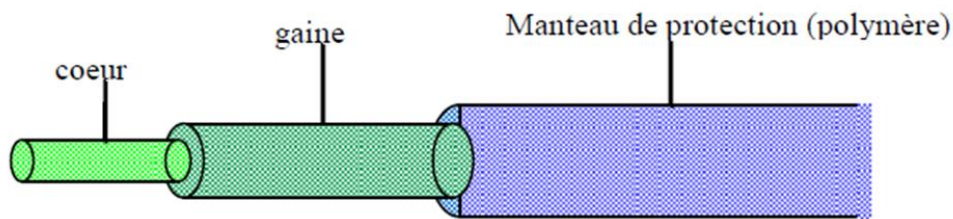


Figure I-7 : Structure d'une fibre optique. [5]

I.3.2. Le principe d'une fibre optique

Le guidage du signal optique est basé sur la loi de Descartes. La lumière se propage le long de la fibre par réflexions successives entre le cœur et la gaine (Figure I-7). Cela n'est possible que si le cœur et la gaine sont constitués de matériaux transparents et que l'indice de la gaine est inférieur à celui du cœur (une différence de quelques % est suffisante). La seconde condition est d'envoyer le signal lumineux dans la fibre avec un angle, par rapport à l'axe, inférieur à l'ouverture numérique. L'ouverture numérique (ON) représente l'ouverture angulaire limite avant une transmission et non une réflexion totale sur le dioptré cœur-gaine de la fibre ($ON = (\sqrt{n_1^2 - n_2^2})$). [5]

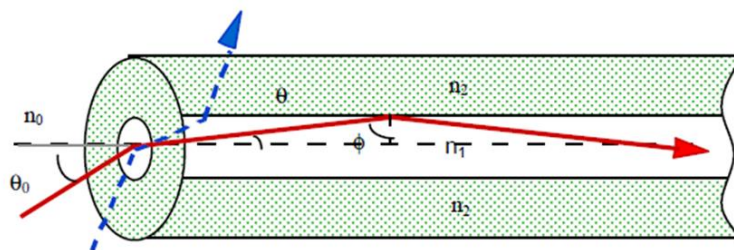


Figure I-8 : Lois de propagation du signal dans une fibre optique. [5]

I.3.3. Les types de fibre optique :

On peut classer les fibres optiques en deux types selon leurs diamètres :

I.3.3.1. Multimode (MMF):

Les diamètres des diélectriques sont plus importants que ceux d'une fibre monomode ($\emptyset$ du cœur ≈ 50 microns et $\emptyset$ de la gaine ≈ 125 microns) [5] il existe deux de fibre multimode :

a) Saut d'indice :

Dans ce type les différents rayons empruntent des trajectoires différentes. Leurs chemins optiques et donc leurs temps de propagation sont différents. Il en résulte donc une dispersion intermodale. [5]

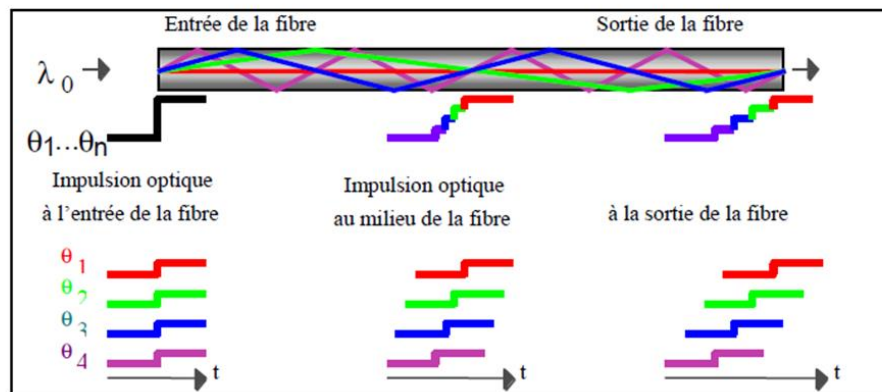


Figure I-9 : Dispersion intermodale dans une fibre multimode à saut d'indice. [5]

Pour diminuer cet effet a été créé le deuxième type.

b) Gradient d'indice :

Le profil d'indice du cœur peut être modifié de telle sorte à créer un « gradient d'indice » et non un saut d'indice (l'indice n_1 n'est pas constant mais possède une symétrie autour de l'axe). Cela permet de réduire les différences de temps de propagation en réduisant les écarts entre chemins optiques. [5]

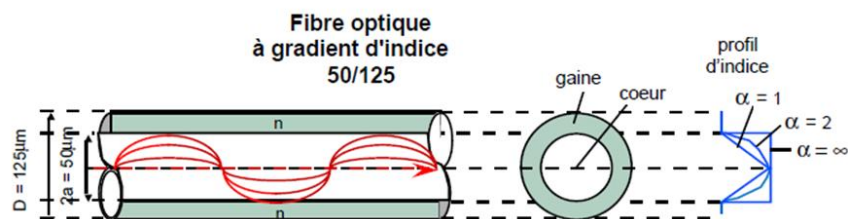


Figure I-10 : Profil d'une fibre multimode à gradient d'indice. [5]

I.3.3.2. Monomode (SMF) :

La fibre monomode caractérisée par un diamètre du cœur plus petit (8 à 10 microns en général). Donc il y a un seul trajet c'est-à-dire une seule onde lumineuse qu'il utilise pour les grandes distances.

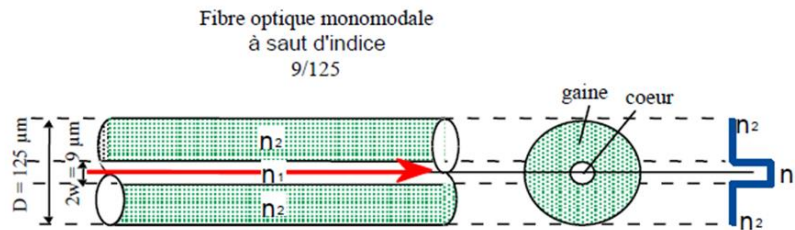


Figure I-11 : Profil d'une fibre monomode à saut d'indice. [5]

I.3.4. Les avantages et les inconvénients de la fibre optique :

I.3.4.1. Les avantages :

- Très large bande passante.
- Très faible atténuation, qui permet d'envisager un espacement important des points de régénération des signaux transmis ce qui permet une excellente qualité de transmission.
- Résistance à conditions environnementales adverses. Moins d'influence des liquides corrosifs, gaz et variations de température.
- Le poids du câble optique est très léger et la taille est petite, ce qui est environ neuf fois moins que le poids d'un câble conventionnel.
- Absence de rayonnement, ce qui rend son emploi particulièrement intéressant pour les applications militaires.
- Les débits sont très élevés et symétriques, le débit est identique pour le téléchargement des données (download) et pour la transmission (upload).
- Le cycle de vie du réseau de fibre optique est de 20 ans, et leur entretien est moins coûteux que certains autres types de câbles.

I.3.4.2. Les inconvénients:

- Dispersion chromatique (élargissement du signal entre le début et la fin de la fibre).
- Difficultés de raccordement aussi bien entre deux fibres qu'entre une fibre et le module d'émission ou de réception. En laboratoire, on peut réaliser des connexions pour lesquelles les pertes sont inférieures à 0.2 dB. Sur le terrain, il faut appel à des connecteurs amovibles, qui demandent un ajustement précis et occasionnent des pertes supérieures à 1 dB.
- Les interfaces électriques/optiques ainsi que les connecteurs sont d'un prix élevé.
- Coût exploitation élevé.
- La fibre optique ne peut pas être courbée car ses composants sont fragiles.

I.4. Les Réseaux optiques :

I.4.1. Le réseau local (LAN) :

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. [5]

Il est toujours constitué par une partie en fibre optique entre l'autocommutateur et la terminaison de réseau optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné. Cependant, il est de plus en plus envisagé dans l'avenir de réduire la contribution de l'électrique pour aller vers le tout optique dans le but d'augmenter le débit disponible chez l'abonné. [5]

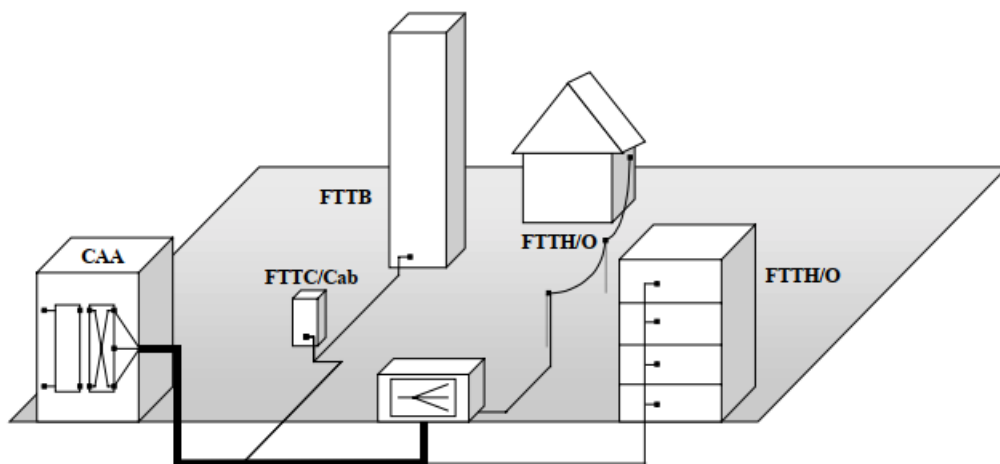


Figure I-12 : Le réseau local français. [5]

I.4.2. Le réseau métropolitain (MAN) :

Le réseau urbain est encore appelé réseau intermédiaire et connaît actuellement une réelle prospérité. Déployés entre le dernier central automatique du réseau longue distance et une zone confinée (quartier, campus, petite ville, etc.), ils sont souvent très complexes et variés. Au fond, on peut distinguer la structuration des réseaux urbains des réseaux d'accès urbains, car la structure du réseau urbain est généralement constituée d'anneaux de circonférence de 80 à 150 km avec six à huit nœuds, tandis que les réseaux d'accès urbains sont des anneaux de circonférence de 10 à 40 km avec trois ou quatre nœuds avec des succursales vers des sites distants. Selon le réseau ou le pays, ces chiffres peuvent varier considérablement. En particulier, il existe des différences notables entre les régions densément peuplées d'Europe et d'Asie, où les distances seront plus courtes, et les États-Unis, où les applications métropolitaines ressemblent à de véritables réseaux régionaux.

Les structures logiques (profils de trafic) des réseaux de métro sont fondamentalement différentes de celles des réseaux longue distance. Il s'agit essentiellement de lignes interurbaines point à point avec un ou deux au plus un multiplexeur optique (OADM) pour entrer et extraire le trafic aux points intermédiaires. Les réseaux métropolitains fournissent

une infrastructure visuelle avec un haut degré de connectivité. Les boucles urbaines présentent généralement un trafic réseau avec un certain degré de concentration associé à l'interconnexion de réseaux longue distance. En revanche, les boucles collectent généralement le trafic de plusieurs nœuds et le concentrent sur un nœud commun avec un réseau de métro de base.

La complexité de ce réseau ne se reflète pas seulement dans le haut degré de connectivité. Contrairement aux réseaux longue distance, les réseaux urbains doivent prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers, un mixage de trafic en hiérarchie numérique synchrone (SDH), un réseau optique synchrone (SONET), ou autres. Pour supporter cette diversité, ces réseaux sont souvent équipés de cartes transpondeurs universelles multi débits, acceptant tous les débits de 100 Mbps à 2.5Gbps, qui peuvent alors garantir un trafic 10 Gb/s sans modulation (exemple du réseau Alcatel moderne 1696 Metro Span), et complètement transparent sur tous les formats et protocoles.

Dans ces réseaux fondamentalement ouverts à tout type de signal, le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM), il détecte une application importante en combattant le fouillis qu'il peut fournir tout en minimisant le coût du service fourni. De même, les amplificateurs optiques sont essentiels pour structurer les applications des réseaux métropolitains. Les pertes de fibre élevées (dus à l'interconnexion entre de courtes sections des fibres) et l'accumulation de pertes associées à tous les transits optiques dans les nœuds successifs peuvent en fait nécessiter une amplification d'un signal optique. L'amplificateur optique peut dans de nombreux cas être une solution moins coûteuse par rapport à la révision optique et électro-optique.

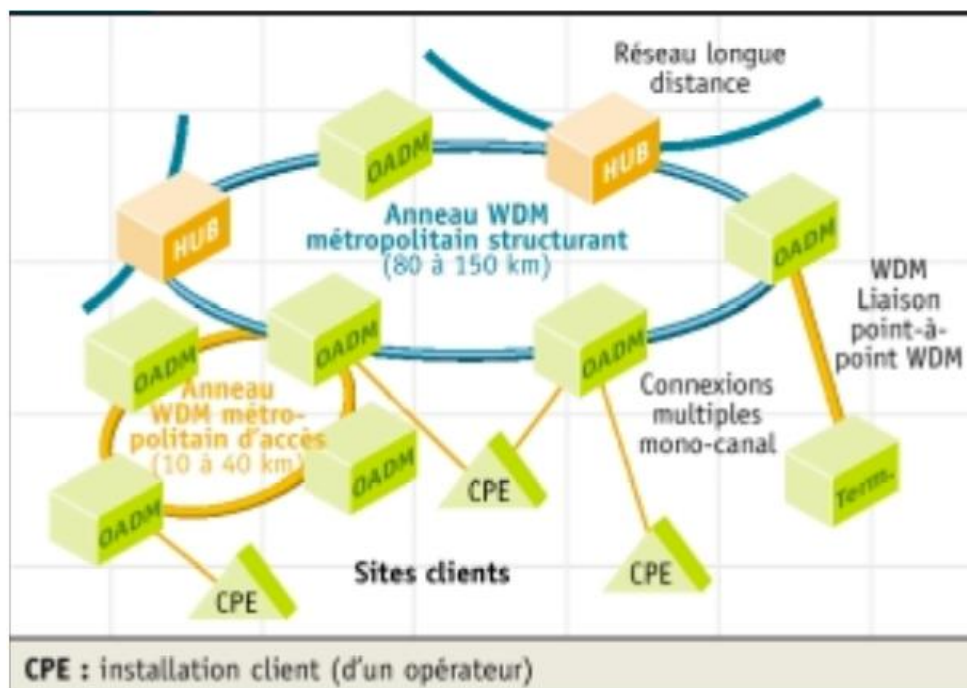


Figure I-13 : Réseau métropolitain structurant et réseau métropolitain d'accès. [5]

I.4.3. Le réseau long distance (WAN) :

Cette partie du réseau représente la couche supérieure du réseau de communication. Il se compose de deux échanges automatiques autodirigés, dont le rôle est d'acheminer les informations d'une région à une autre, de la zone de transmission à la zone de livraison. Les informations sont désormais transmises via des fibres optiques d'une longueur d'onde de 1.55 μm et d'un débit enlevé qui continue d'augmenter (des débits de 2.5 Gb / s sont installés et 10 Gb/s déjà et 40 Gb/s serait très enlevé comme ça)

Cette capacité ne peut être obtenue qu'en introduisant des fibres optiques dans la chaîne. Ils ont permis de gagner du flux et de l'espacement entre répéteurs par rapport aux systèmes actuels, c'est-à-dire câble coaxial (la distance varie généralement de 2 à 100 km).

Outre l'abandon de nombreux dispositifs électroniques (tels que la détection optique, l'amplification électrique, l'optique et la reconversion) au profit d'amplificateurs optiques, qui se déploient environ tous les cent kilomètres, il a permis un bond en termes de capacité de liaison. Depuis le début des années 1990, l'amplification optique a démontré la possibilité de transmettre des signaux, sans répéteur, à 5 et 10 Gb/s sur des distances océaniques. Obligatoire le réseau longue distance est désormais entièrement visuel.

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a étudié le système de communication optique commençant par le schéma de principe d'un système de communication optique dans lequel nous avons parlé de toutes les parties principales de celui-ci, comme l'émetteur TX, le multiplexage, la fibre optique, l'amplificateur, la dispersion chromatique et enfin le récepteur et tout ça dans un type de liaison qui s'appelle liaison point à point.

Puis dans la deuxième partie nous avons parlé en détail des fibres optiques, de leurs composants les plus importants, de leurs types, de leurs avantages et inconvénients.

Dans la dernière partie, nous avons mentionné les trois types de réseaux optiques utilisés.

Chapitre II

Effets Non Linéaire de la Fibre Optique

II.1. Introduction

Par rapport à la partie linéaire de polarisation, la partie nonlinéaire est plus faible, son effet est donc considéré comme une perturbation. Bien qu'il soit considéré comme une petite interférence dans la solution linéaire, le facteur nonlinéaire a une grande influence sur la transmission de la fibre optique sous la condition d'une grande distance de propagation, d'une faible perte et d'une faible concentration de puissance optique dans le cœur de la fibre optique. Certains effets correspondent à l'interaction entre le champ électrique et le nuage d'électrons matériel, et ils sont regroupés selon le terme de l'effet Kerr. D'autres impliquent des vibrations mécaniques des noyaux et des matériaux atomiques, ces vibrations sont provoquées par l'excitation du champ électrique. C'est l'effet Raman (SRS: Stimulated Raman Scattering).

Nous parlerons dans ce chapitre de ces deux effets ainsi que des optiques nonlinéaires et de ce qu'elles contiennent.

II.2. Optique nonlinéaire

L'optique nonlinéaire (NLO) est une branche de l'optique qui décrit le comportement de la lumière dans un milieu nonlinéaire, c'est-à-dire que l'intensité de polarisation P répond au champ électrique E de la lumière de manière nonlinéaire. La non linéarité est généralement observée à une intensité lumineuse très élevée (valeur du champ électrique atomique, généralement 108 V/m) (comme l'intensité lumineuse fournie par un laser). Au-delà de la limite de Schwinger, l'espace lui-même doit devenir nonlinéaire. En optique nonlinéaire, le principe de superposition n'existe plus.

II.2.1. Équation de propagation nonlinéaire

Le point de départ de tout modèle de diffusion optique est les équations de Maxwell. Comme mentionné ci-dessus, Hosako et Herman ont utilisé des solutions numériques simples dans certains des premiers modèles de génération Supercontinuum (SC) de fibre cristaux photonique (PCF). Cependant, comme cette méthode ignore la diffusion Raman stimulée, la plupart des études ultérieures de diffusion d'impulsions PCF utilisent une forme d'équation de diffusion nonlinéaire pour l'enveloppe d'impulsions, qui peut inclure directement la diffusion Raman.

Un autre avantage de la méthode de l'enveloppe est qu'elle a été largement utilisée pour modéliser la propagation d'impulsions nonlinéaires dans les fibres optiques depuis les années 1970, et qu'elle est facile à comparer avec les résultats obtenus dans de nombreuses études antérieures. Cependant, par rapport à la modélisation de fibres optiques standard précédentes, la dispersion et les caractéristiques nonlinéaires du PCF conduisent à une grande différence quantitative dans l'étalement spectral nonlinéaire observé, ce qui conduit à certains problèmes pour garantir des résultats de simulation précis. En outre, certains processus physiques qui peuvent être ignorés en toute sécurité lors de la simulation de la propagation d'impulsions dans des fibres optiques standard deviennent importants dans le PCF et devraient être spécifiquement inclus dans tout modèle numérique. L'équation de diffusion décrivant l'évolution de l'enveloppe d'impulsion optique dans les fibres optiques peut être dérivée d'une

simplification analytique des équations de Maxwell. Sous l'hypothèse de la propagation numérique unidirectionnelle et de la méthode unidirectionnelle, les travaux de Kodama et Hasegawa ont fourni une description complète de la procédure impliquée, avec de nombreuses références aux premières dérivations de l'équation de diffusion NLSE bien connue. Ils ont également développé l'importante équation de Schrödinger nonlinéaire généralisée (GNLSE) pour inclure les effets de la diffusion de haut niveau et de la dispersion Raman induite. Blow and Wood, Mamyshev et Tchernikov ont dérivé des équations de propagation numériques plus générales, y compris une contribution dérivée du temps dans le terme nonlinéaire afin de modéliser la dépendance en fréquence de la réponse nonlinéaire médiane. Les travaux complémentaires de François ont dérivé une équation de diffusion équivalente qui, contrairement à ce qui précède, s'exprime en fréquence plutôt que dans le domaine temporel.

Toutes les approches GNLSE n'incluent cette première dérivée que par rapport aux coordonnées spatiales longitudinales le long de la direction de propagation, et on suppose souvent que cela limite sa validité par rapport à l'équation de forme d'onde de Maxwell. Une préoccupation connexe est que la décomposition de champ en termes d'enveloppe et de support introduit nécessairement une approximation à variation lente.

Une étude importante menée par Brabeck et Krause a extrait une équation d'enveloppe tridimensionnelle nonlinéaire générale et a montré sa validité jusqu'au système à un cycle par comparaison directe avec la solution numérique des équations de Maxwell. Pour le cas particulier de la propagation dans les fibres optiques, Karasawa et ses collègues ont adopté la même approche, dérivant une équation d'enveloppe nonlinéaire, unidimensionnelle, à cycle bas et nonlinéaire essentiellement identique à celle obtenue précédemment par Blow et Wood. L'équation Blow-Wood a depuis été démontrée pour décrire quantitativement les propriétés des spectres SC observés dans les expériences, et est la base de la modélisation numérique décrite ici. Nous notons, cependant, que les travaux théoriques en cours continuent de pousser la validité de l'approche adverbiale nonlinéaire à ses limites, et les systèmes nécessitant une correction potentielle sont actuellement en discussion.

II.3. Effets nonlinéaire

Nous décrivons ici la partie nonlinéaire de la réponse du matériau: l'effet de P sur la propagation des signaux optiques. Par rapport à la partie linéaire de polarisation, la partie nonlinéaire est plus faible, son influence est donc considérée comme une interférence. Dans la méthode des perturbations, les modes de propagation des perturbations sont considérés comme ayant la même distribution modale transversale, qui est la solution de l'équation de propagation linéaire, mais le mode z suivant: $B(\omega)$ la constante de propagation de la perturbation est modifié en tenant compte de ce non linéarité. Bien que considéré comme une petite perturbation dans la solution linéaire, le facteur nonlinéaire affectera grandement la transmission par fibre optique dans le cas d'une grande distance de propagation, de faibles pertes et d'une puissance de fibre concentrée dans le cœur de la fibre.

II.3.1. Effet Kerr

Ensuite, nous avons étudié l'effet Kerr. Rappelons que ce phénomène se réfère à la dépendance de l'intensité de l'indice de réfraction. Cette dépendance des supports transparents vis-à-vis de l'intensité lumineuse est appelée effet optique Kerr. La conséquence directe du changement d'intensité de l'indice de réfraction est l'apparition d'effets nonlinéaires, en particulier l'auto-modulation de phase (SPM) et la modulation en phase croisée (XPM). Dans le cas de l'auto-modulation de phase, l'indice est légèrement plus élevé lorsque le pic d'impulsion passe que lorsqu'il passe par ses fronts montants et descendants. Cette différence d'indice affecte la phase du signal et l'indice du front est inférieur à la valeur de crête. Le résultat est une auto-modulation de phase, qui impose un retard de phase sur l'impulsion, qui augmente avec l'intensité lumineuse, atteint un maximum avec un pic, puis diminue. Un champ suffisamment intense qui se propage dans une fibre de longueur L subit un déphasage nonlinéaire proportionnel à l'intensité du champ [8] :

$$\Delta\Phi_{SPM} = n_2 k_0 I L = \gamma P L \quad \text{II-1}$$

Avec :

k_0 : Le vecteur d'onde.

I : L'intensité lumineuse.

P : la puissance.

Le non linéarité d'une fibre optique est généralement défini à partir de son coefficient nonlinéaire lequel est :

$$\gamma = \frac{2\pi n_2}{\lambda A_{eff}} (W^{-1}.Km^{-1}) \quad \text{II-2}$$

Où le coefficient nonlinéaire γ est relié au paramètre aire effective du mode guidé $A_{eff}(\omega)$ donnée par :

$$A_{eff}(\omega) = \frac{\left(\iint_{-\infty}^{+\infty} |\tilde{F}(x,y,\omega)|^2 dx dy \right)^2}{\iint_{-\infty}^{+\infty} |\tilde{F}(x,y,\omega)|^4 dx dy} \quad \text{II-3}$$

L'effet Kerr donne lieu à trois importants effets : L'auto-modulation de phase (SPM - Self Phase Modulation), la modulation de phase croisée ou intermodulation de phase (XPM - Cross Phase Modulation) et le mélange à quatre ondes (FWM – Four Wave Mixing). Et le plus important dont nous parlerons est SPM.

II.3.1.1. Auto-modulation de phase

L'auto-modulation de phase consiste en l'application la plus directe de la dépendance en intensité de l'indice de réfraction totale. Ainsi, en considérant une onde $A(z, T)$ s'étant propagée sur une distance z dans la fibre, on retrouve un terme de déphasage nonlinéaire apparaissant de manière proportionnelle à la distance de propagation tel que

$A(z,T)=A(0,T)\exp(i\phi_{SPM}z)$. Dans ce cas, le terme de déphasage donné par ϕ_{SPM} résultant de l'auto-action d'une l'onde sur elle-même est alors [9]:

$$\phi_{SPM} = \gamma_{NL}|A(0,T)|^2 \quad \text{II-4}$$

Évidemment, le déphasage induit n'a pas d'influence sur le profil temporel de l'impulsion tel que $|A(z,T)|^2 = |A(0,T)|^2$ mais modifie, en revanche, la forme du spectre de l'impulsion étant donné que ce déphasage nonlinéaire possède une dépendance temporelle. Bien que l'effet de la SPM dépende largement du chirp de l'impulsion initiale et de la forme de son enveloppe, une impulsion aux limites de Fourier subira systématiquement un élargissement spectral au cours de la propagation. On notera que dans ce cas, l'auto-modulation phase de l'impulsion mène à un élargissement symétrique du spectre de l'impulsion. [9]

II.3.2. Effet Raman

La diffusion Raman joue également un rôle majeur dans la génération de SC avec de longues impulsions ou un rayonnement CW. Cependant, comme la bande passante spectrale des impulsions sur plusieurs picosecondes est beaucoup plus petite que la déviation de fréquence Raman de 13.2 THz dans la silice fondue, les impulsions de pompe ne souffrent pas autant de la dispersion Raman dans les impulsions que dans le cas des femto secondes. La fission induite par Raman n'est pas non plus importante car, comme nous l'avons vu, la fission ne se produit pas avec les périodes d'impulsion considérées ici. En variante, l'effet de diffusion Raman est démontré par une amplification à partir du bruit de fréquence 13.2 THz transmettant la bande latérale de Stokes à partir de la pompe. Cette onde de Stokes est fortement amplifiée par Co-reproduction avec la pompe, et la génération de commandes Raman supplémentaires peut être décalée vers le bas par un processus successif. [7]

En fait, il convient de considérer une réponse du milieu selon plusieurs échelles de temps. En effet, lors de la propagation d'un champ, la formation de dipôles s'effectue d'une part par un déplacement des électrons liés, mais aussi par un déplacement des noyaux constitutifs du milieu de propagation. Cette vibration moléculaire induite par le déplacement des noyaux s'effectue elle aussi de manière nonlinéaire mais avec une réponse temporelle beaucoup plus lente (~ 60 fs) que celle des électrons. Néanmoins, il convient de noter que la réponse nonlinéaire du milieu sous l'action d'une onde électromagnétique se devra d'être intégrée dans le temps afin de prendre en compte toutes les contributions temporelles de la polarisation nonlinéaire induite.

La réponse Raman retardée $h_R(t)$ qui est définie par la relation suivante :

$$R^{(3)}(\tau) = 2n_2n_L(\omega)[(1 - f_R)\delta(\tau) + f_R h_R(\tau)] \quad \text{II-5}$$

Où f_R représente la fraction de la réponse Raman retardée qui contribue à n_2 lié à $R^{(3)}$. En effet, et $h_R(t)$ est la réponse Raman temporelle exprimée par :

$$h_R(t) = \frac{\tau_1^2 + \tau_2^2}{\tau_1 \tau_2} \exp(-t/\tau_2) \sin(t/\tau_1) \quad \text{II-6}$$

Avec :

$\tau_1=12.2$ fs et $\tau_2=32$ fs.

II.4. Équation de Schrödinger nonlinéaire généralisée

Où en anglais Generalized Nonlinear Schrödinger Equation (GNLSE), à partir de ces normalisations et changements de variables, l'équation nonlinéaire d'enveloppe obtenue pour modéliser les effets vus précédemment est donnée par :

$$\frac{\partial A}{\partial z} + \frac{\alpha}{2}A - \hat{D}'A = i\gamma_{NL} \left(1 + i\tau_{shock} \frac{\partial}{\partial T}\right) \left(A(z, T) \int_{-\infty}^{+\infty} R(T') \times |A(z, T - T')|^2 dT'\right) \quad \text{II-7}$$

L'équation précédent est communément appelée Équation de Schrödinger Non-Linéaire (ESNL) généralisée étant donné l'inclusion de termes correctifs à l'Équation de Schrödinger Non Linéaire standard. Ainsi, on peut noter la modélisation des effets linéaires dans la partie gauche de l'équation où l'on identifie l'opérateur dispersion $\hat{D}'$ donné par l'équation ainsi que le coefficient d'absorption linéaire α dont la dépendance en fréquence est ici négligée. [9]

Cette équation contient beaucoup de parties différentes de relations différentes comme l'effet Raman et Kerr dont nous avons parlé précédemment et d'autres relations dont nous allons parler maintenant.

II.4.1. Équation d'enveloppe nonlinéaire

Il est nécessaire d'effectuer le développement complet de l'équation nonlinéaire d'enveloppe. Ce développement aboutit volontairement à la formulation dans le domaine temporel de l'équation d'enveloppe nonlinéaire, plus connue sous le nom de l'équation de Schrödinger nonlinéaire (ESNL). [8]

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z} A(z, t) + \left[-i \sum_{m=0}^{\infty} \frac{i^m}{m!} \left(\frac{\partial^m}{\partial \omega^m} \right)_{\omega=\omega_0} \frac{\partial^m A(z, t)}{\partial t^m} \right] + \frac{\alpha}{2} A(z, t) = \\ i \left[\gamma(\omega_0) i \left(\frac{\partial \gamma(\omega)}{\partial \omega} \right)_{\omega=\omega_0} \frac{\partial}{\partial t} \right] \frac{P_{NL}(z, t, A)}{2\epsilon_0 n_2 n_L} \end{aligned} \quad \text{II-8}$$

Nous avons obtenu cette équation à partir d'un certain nombre de relations différentes comme la transformée de Fourier inverse, la polarisation nonlinéaire développée et la série de Taylor qui écrit comme ça :

$$\beta(\omega) = \beta_0 + \beta_1(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2}\beta_2(\omega - \omega_0)^2 + \frac{1}{6}\beta_3(\omega - \omega_0)^3 + \dots \quad \text{II-9}$$

II.4.2. Dispersion chromatique

Pour des raisons de simplification on a introduit un opérateur $\hat{D}$ appelé opérateur de dispersion défini comme :

$$\hat{D} = \sum_{m \geq 0} \frac{m^i}{m!} \left(\frac{\partial^m \beta}{\partial \omega^m} \right)_{\omega=\omega_0} \frac{\partial^m \beta}{\partial \omega^m} \quad \text{II-10}$$

II.4.3. Le terme de choc optique

Nous avons aussi le paramètre τ_{shock} appelé terme de choc optique et défini par :

$$\tau_{\text{shock}} = \tau_0 - \left\{ \frac{\partial}{\partial \omega} [\ln A_{\text{eff}}(\omega)] \right\}_{\omega=\omega_0} \quad \text{II-11}$$

$\tau_0 = 1/\omega_0$ est un terme pour simplifier le choc optique, habituellement utilisé par G. Agrawal, lorsque la dépendance en fréquence de la surface efficace du mode d'onde guidée n'est pas considérée dans l'équation de propagation, elle est décrite dans le domaine temporel.

II.5. Le supercontinuum

La génération de supercontinuum est la formation d'un spectre continu et très large obtenu par la propagation d'impulsions courtes et d'impulsions fortes dans un milieu nonlinéaire. Le terme «supercontinuum» ne fait pas référence à un phénomène spécifique, mais se réfère au résultat de l'évolution de l'excitation, de l'interaction et des effets nonlinéaires, et les effets nonlinéaires sont le point de départ de l'élargissement spectral non conventionnel de l'impulsion initiale.

II.5.1. Évolution de la génération de supercontinuum

SC a traversé de nombreuses étapes et évolutions en fonction de nombreux facteurs, que nous avons résumés dans le tableau suivant:

Année	Milieu nonlinéaire	Type Laser	Durée de l'impulsion	Puissance crête	SC-largeur spectrale
1970	Borosilicate	Nd :Glass	5 ps	1 GW/cm ³	300 nm
1977	Eau	YAIG : Nd	30 ps	45 MW	600 nm
1983	Ethylène	Rh6G	80 ps	3 GW	130 nm
1987	MMF	Nd : YAG	25 ps	1.5GW/cm ³	60 nm
1996	DSF	laser fibre Er ³⁺	1 ps	1.2 KW	300 nm
2000	PCF	Ti : Saphir	100 fs	8 KW	1200

Tableau II-1 : Phases d'évolution de la génération de SC en fonction du milieu nonlinéaire. [8]

II.6. Conclusion

Après avoir parlé des points les plus importants du système de communication optique dans le chapitre précédent, nous passerons à l'autre partie de notre mémoire qui se concentre sur l'optique nonlinéaire et les principaux effets qu'elle peut provoquer tels que l'effet Kerr et le Raman qu'ils sont très importants pour notre étude. Nous avons aussi présenté le supercontinuum et son évolution.

Et un autre élément très important est l'équation générale nonlinéaire de Schrödinger ainsi que le supercontinuum. Tout cela, nous en parlerons dans les pages au-dessous.

Chapitre III

Simulation et Résultat

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, une fibre à cristaux photoniques à noyau liquide (LCPCF) avec un petit noyau creux rempli de matériau de CS₂ est conçue. La génération de supercontinuum (SC) dans une telle LCPCF et un régime de dispersion normale large s'étendant de 1200 à 2500 nm est étudiée numériquement en résolvant l'équation de Schrödinger nonlinéaire généralisée. L'influence des paramètres d'impulsion de pompe sur la largeur spectrale et la cohérence SC sont démontrées, et les conditions optimales de la pompe pour la génération SC sont déterminées. [10]

III.2. Structure de la fibre cristaux photonique

La section transversale de la fibre à cristaux photoniques à noyau liquide (LCPCF) conçu est représentée sur la figure III-1, où le petit noyau creux est rempli de Disulfure de carbone CS₂ (cercle rouge), et le substrat est le matériau de silice (zone grise). Les quatre anneaux pleins de trous d'air (trous blancs) sont disposés en treillis hexagonal pour ajuster le profil de dispersion et assurer une perte de confinement suffisamment faible. Ce type de fibre peut être facilement fabriqué en infusant le liquide dans un petit PCF à noyau creux. [10]

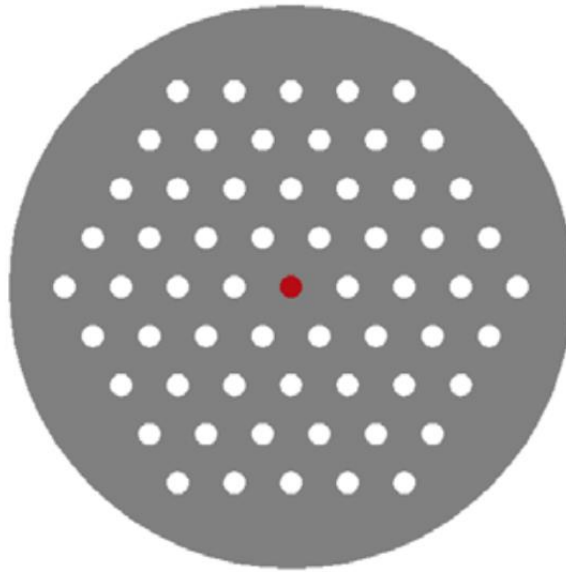


Figure III-1 : Coupe transversale du LCPCF. [10]

L'indice de réfraction efficace de CS₂ est obtenu à partir de cette équation :

$$n_{CS_2}(\lambda) = 1.580826 + 1.52389 \times 10^{-2}/\lambda^2 + 4.8578 \times 10^{-4}/\lambda^4 - 8.2863 \times 10^{-5}/\lambda^6 + 1.4619 \times 10^{-5}/\lambda^8 \quad \text{III-1}$$

La dispersion de vitesse de groupe où GVD est donnée par :

$$D = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 Re(n_{eff})}{d\lambda^2} \quad \text{III-2}$$

Où C est la vitesse de la lumière dans le vide, et $\text{Re}(n_{\text{eff}})$ représente la partie réelle des indices de réfraction effectifs.

III.3. Propriétés de la fibre PCF

Les profils de dispersion du LCPCF peuvent être évidemment affectés par le rapport du diamètre du trou (d) et du pas (Λ). La figure suivante montre les profils GVD calculés lorsque Λ passe de 2 à 5 μm . Les profils de dispersion du LCPCF peuvent évidemment être affectés par le rapport du diamètre du trou (d) et du pas (Λ). Dans cette étude, fixer $d = 1,8 \mu\text{m}$ et ajuster de manière à obtenir la courbe de dispersion souhaitée.

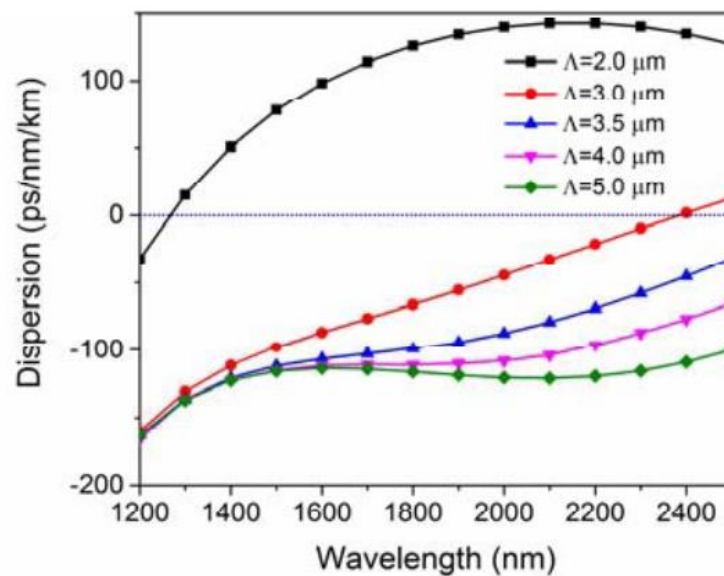


Figure III-2 : Courbes GVD des LCPCF avec différents pas. [10]

Lorsque $\Lambda = 2.0 \mu\text{m}$, la fibre présente une dispersion anormale de 1270 à 2500 nm. Avec les augmentations de Λ , la première longueur d'onde à dispersion nulle de la fibre proposée se déplace progressivement vers des longueurs d'onde plus longues. Considérer que la principale raison est que l'effet de la dispersion du guide d'ondes diminue et que la dispersion du matériau domine. D'autre part, les valeurs de D et la pente de dispersion diminuent à mesure que Λ augmente à 1550 nm. La possibilité de voir la Figure III-2 que lorsque $\Lambda = 5 \mu\text{m}$, la valeur de D à 1550 nm est aussi grande que -114.26 ps/km/nm , ce qui peut fortement inhiber l'instabilité de modulation lors de la génération de SC. La pente de dispersion à 1550 nm n'est que de 0.021 ps/km/nm^2 et l'effet de la dispersion du troisième ordre est faible. [10]

III.4. La simulation de génération de supercontinuum

La méthode de transformation de Fourier en étapes fractionnées a été utilisée pour résoudre l'équation de Schrödinger nonlinéaire. Afin de comprendre le mécanisme de génération SC qui a lieu dans le régime de dispersion normale du LCPCF conçu, nous simulons d'abord les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long de la fibre et modifions les valeurs de puissance et de temps pour voir les différences qu'il peut

causer. On va simuler la fibre à cristaux photonique on utilisant le Matlab pour essayer d'obtenir une source large bande.

III.4.1. Première simulation

Nous simulons ce code avec les données initiales qui sont : Puissance = 1000 W et $T_0=0.0852$ ps. On va le tester sur les deux impulsions gaussienne et hyperbolique. Chaque impulsion a une équation qui fonctionne avec elle, qui sont :

$$\text{Pour impulsion gaussienne : } A_{Gauss}(z = 0, T) = \sqrt{P} \exp\left(\frac{-T^2}{2T_0}\right) \quad \text{III-3}$$

$$\text{Pour impulsion hyperbolique : } A_{sech}(z = 0, T) = \sqrt{P} \text{sech}\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad \text{III-4}$$

III.4.1.1. Domaine temporel

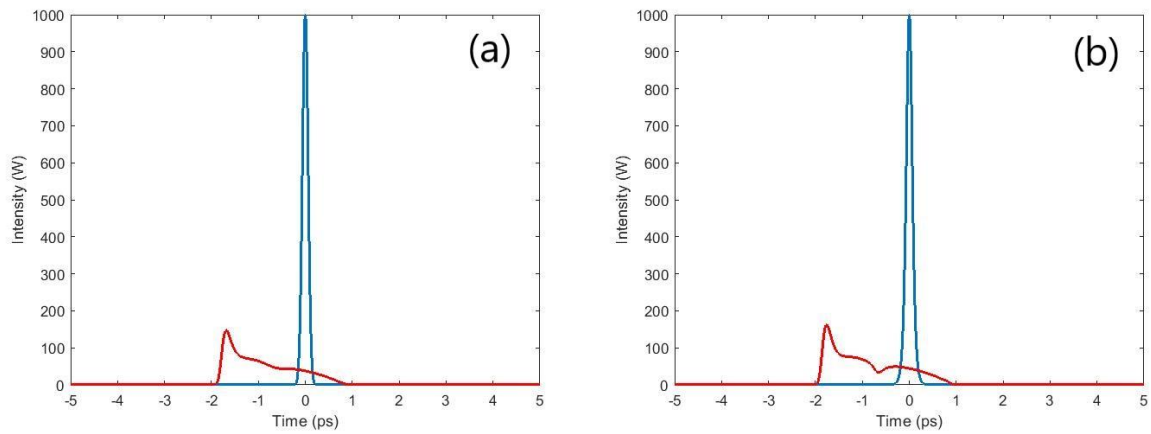


Figure III-3 : L'enveloppe de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge), pour (a) impulsion gaussienne et (b) impulsion hyperbolique.

III.4.1.2. Domaine spectral

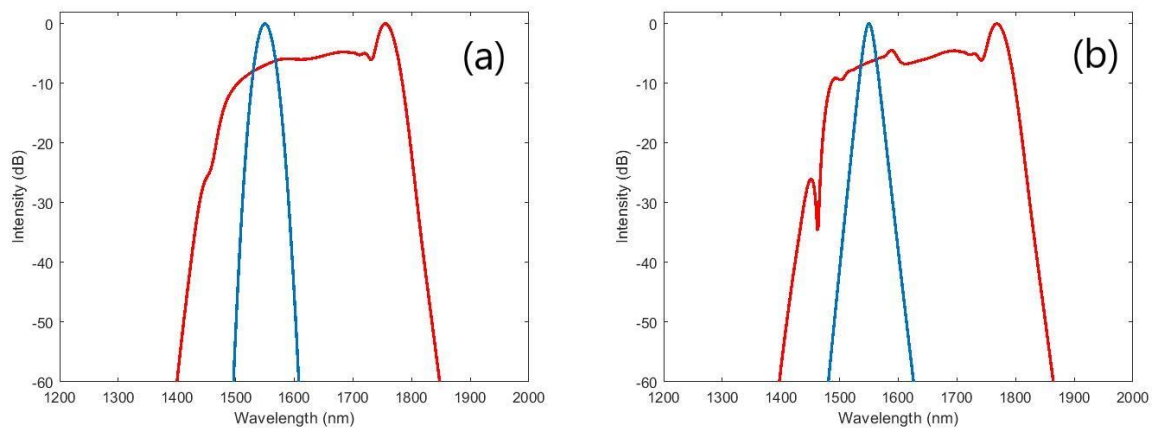


Figure III-4 : Spectre de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge), pour (a) impulsion gaussienne et (b) impulsion hyperbolique.

Dans la figure III-3 et figure III-4 la ligne bleue représente le spectre de la source de pompe émise dans la fibre à cristal photonique, tandis que la ligne rouge représente le supercontinuum généré après propagation à travers la fibre.

On remarque dans la figure III-4 que les enveloppes de l'impulsion dans les deux types gaussienne et hyperbolique est presque les mêmes. Mais dans les spectres de l'impulsion de figure III-4, on remarque que le spectre de (a) où (b) et s'élargit par rapport à l'état initial et on obtient un spectre sa largeur dans l'intensité -10 dB est entre 1450 nm et 1800 nm. D'autre part, on voit que la modulation soit avec l'impulsion gaussienne où hyperbolique donne presque les mêmes résultats.

III.4.1.3. Les évolutions des impulsions dans LCPCF

Cette figure montre les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long de la fibre à cristaux photoniques à cœur liquides.

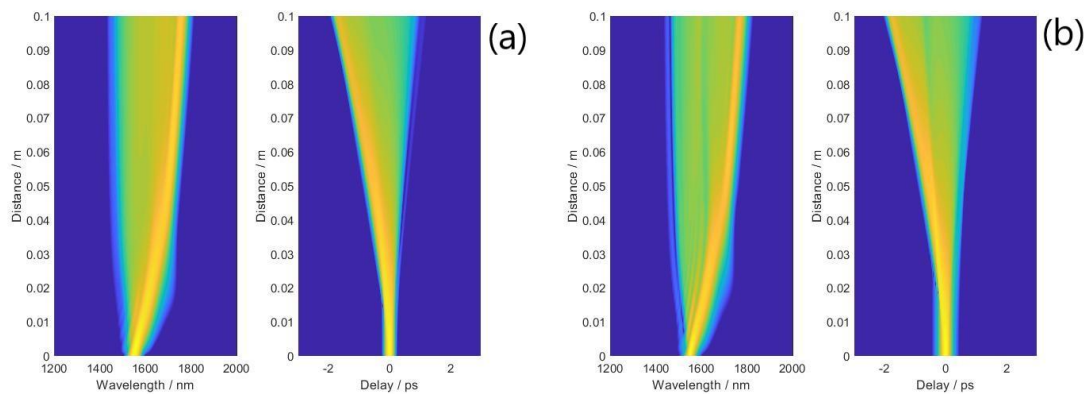


Figure III-5 : Les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long du LCPCF, pour (a) impulsion gaussienne et (b) impulsion hyperbolique.

La figure III-5 montre les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompage le long du LCPCF. On peut voir que les impulsions de pompage sont progressivement compressées et que les spectres optiques correspondants sont élargis de manière asymétrique vers les longueurs d'onde les plus courtes et les plus longues à mesure que la distance de propagation augmente. Au cours de ce processus, la division de l'impulsion et du spectre se produit [10]. Pour obtenir de meilleurs résultats, nous ne simulerons que les domaines suivants en impulsion hyperbolique.

III.4.2. Impact de la puissance P_{ic} (P_0)

Nous mettons trois valeurs de puissance différentes et nous avons remarqué qu'il y a différemment dans les domaines suivants :

III.4.2.1. Domaine temporel

C'est ce que nous avons pour les trois valeurs que nous avons :

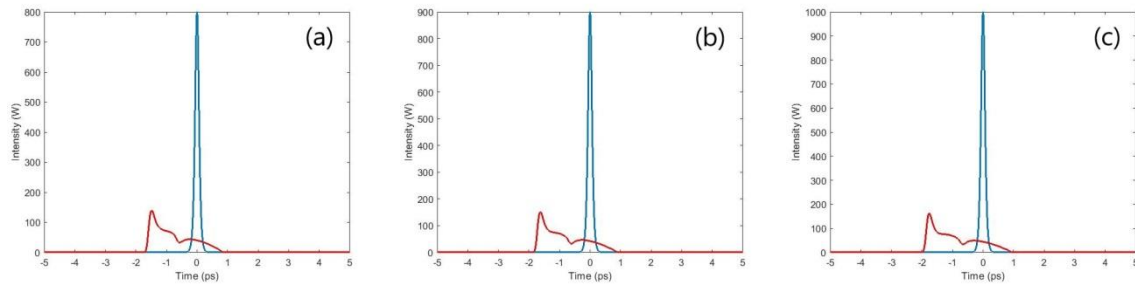


Figure III-6 : L'enveloppe de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge), pour les puissances (a) 800 W, (b) 900 W et (c) 1000 W.

Après avoir vu les trois diagrammes, nous remarquons que les courbes sont les mêmes dans l'entrée et la sortie de la fibre. Cela signifie que quelle que soit la valeur de la puissance, il n'interfère pas avec les résultats et n'a aucun revenu sur le dans le domaine temporel.

III.4.2.2. Domaine spectral

C'est ce que nous avons pour les trois valeurs que nous avons :

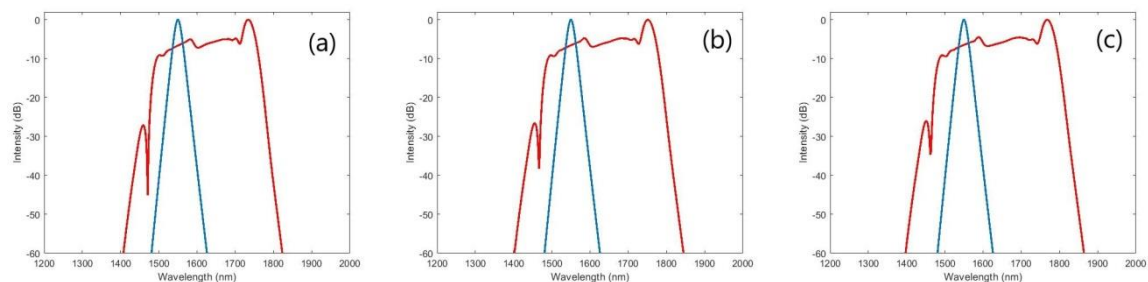


Figure III-7 : Spectre de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge), pour les puissances (a) 800 W, (b) 900 W et (c) 1000 W.

Nous remarquons après avoir vu les trois diagrammes qu'il y a une légère différence entre eux dans la courbe de sortie. Au fur et à mesure que la puissance augmente, la largeur de la courbe s'élargit légèrement dans une seule direction. Et cela signifie que le changement de puissance a un impact dans le domaine spectral. À mesure que la puissance augmente, le large de la courbe est plus grand.

III.4.2.3. Les évolutions des impulsions dans LCPCF

C'est ce que nous avons pour les trois valeurs que nous avons

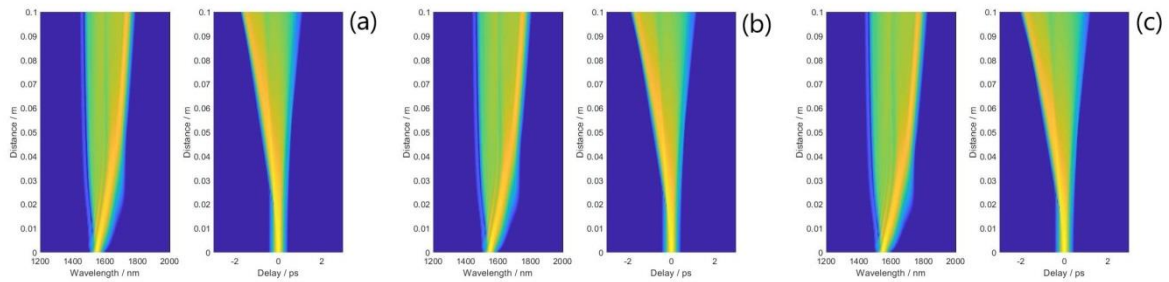


Figure III-8 : Les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long du LCPCF, pour les puissances (a) 800 W, (b) 900 W et (c) 1000 W.

Comme nous l'avons vu sur les figures précédentes, la longueur de notre fibre est de 0.1m. La figure précédente (dans toutes ses parties) montre l'évolution temporelle et spectrale de l'impulsion de pompe le long du LCPCF. On peut voir qu'au fur et à mesure que la distance de propagation augmente, l'impulsion de pompe est progressivement compressée et le spectre correspondant s'élargit de manière asymétrique vers des longueurs d'onde plus courtes et plus longues.

III.4.3. Impact de la durée (T_0)

Nous simulons le code de Matlab avec les données initiale qui est : Puissance=1000 W et on change T_0 . Dans toutes les figures suivantes les abréviations des lettres signifient ce qui suit :

(a) : $T_0 = 28.4$ fs / (b) : $T_0 = 42.6$ fs / (c) : $T_0 = 56.8$ fs / (d) : $T_0 = 85.2$ fs / (e) : $T_0 = 113.6$ ps.

III.4.3.1. Domaine temporel

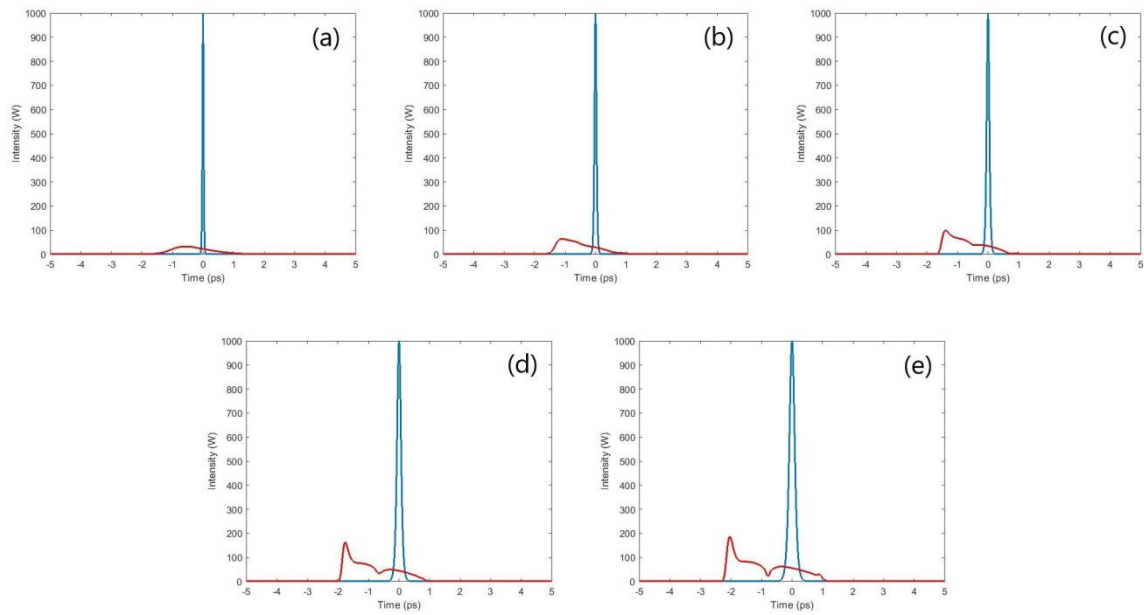


Figure III-9 : L'enveloppe de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge).

Dans ce cas, et avec les évolutions temporelles existantes, l'impulsion se commence à s'élargir rapidement dans l'image (b) avant (a) et (c) avant (b) et ainsi de suite, et cela apparaît clairement dans les figures. Et encore l'intensité de sortie augmentée.

III.4.3.2. Domaine spectral

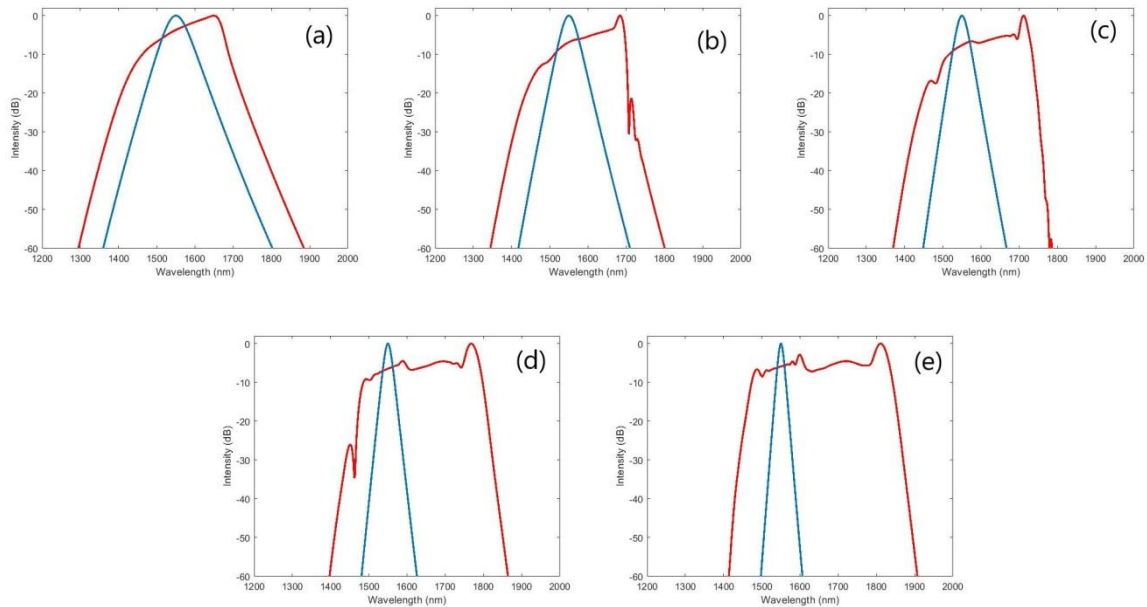


Figure III-10 : Spectre de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge).

Dans l'image (a) dans la figure dessus, la largeur de spectre en -10 dB est entre 1400 nm et 1750 nm, mais dans la dernière image (e) la largeur est entre 1450 nm et 1850. C'est-à-dire que plus le temps ne passe, la largeur de spectre s'élargit.

III.4.3.3. Les évolutions des impulsions dans LCPCF

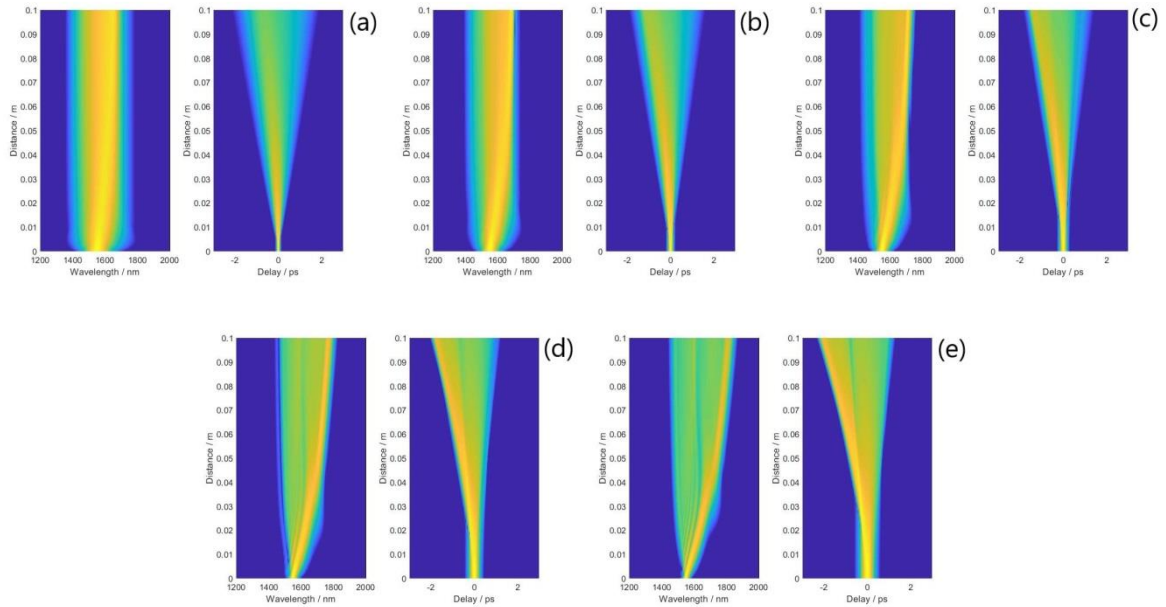


Figure III-11 : Les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long du LCPCF.

L'effet Raman a une plus grande influence sur l'élargissement spectral que le SPM. Pour les impulsions de pompage de durée plus courte, le gain Raman s'exerce principalement sur les composantes spectrales existantes.

III.4.4. Impact de la longueur de la fibre

Dans toutes les figures suivantes les abréviations des lettres signifient ce qui suit :

(a): $L = 0.1$ m / (b) : $L = 0.2$ m / (c) : $L = 0.5$ m / (d) : $L = 0.7$ m / (e) : $L = 1$ m.

III.4.4.1. Domaine temporel

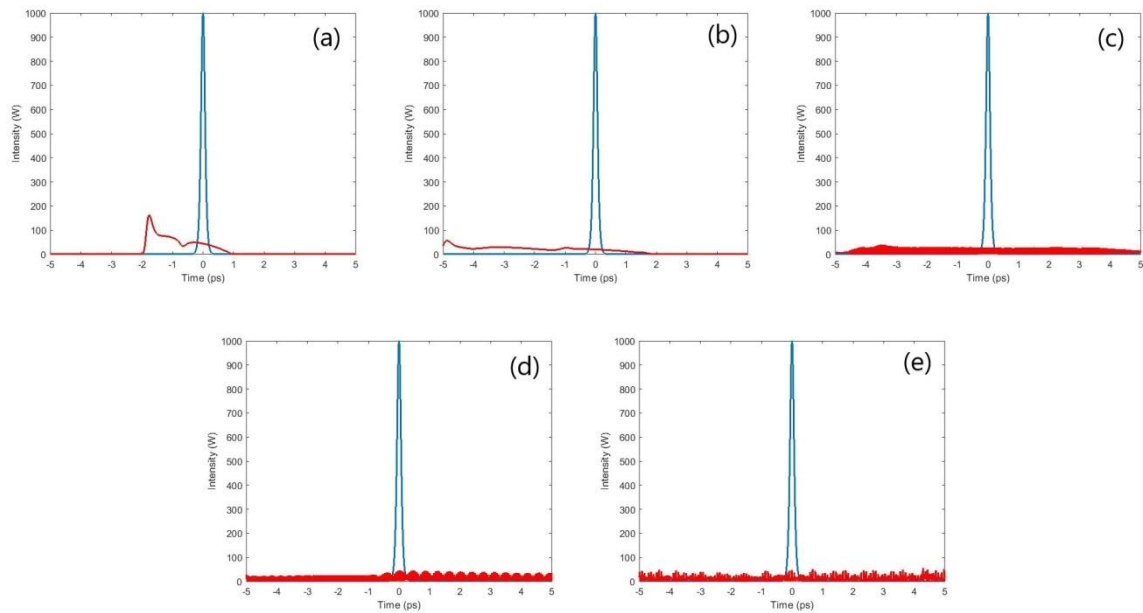


Figure III-12 : L'enveloppe de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge).

On voit sur la figure ci-dessus que l'impulsion envoyée (qui apparaît clairement sur l'image (a)) se déforme d'autant plus que la fibre s'allonge.

III.4.4.2. Domaine spectral

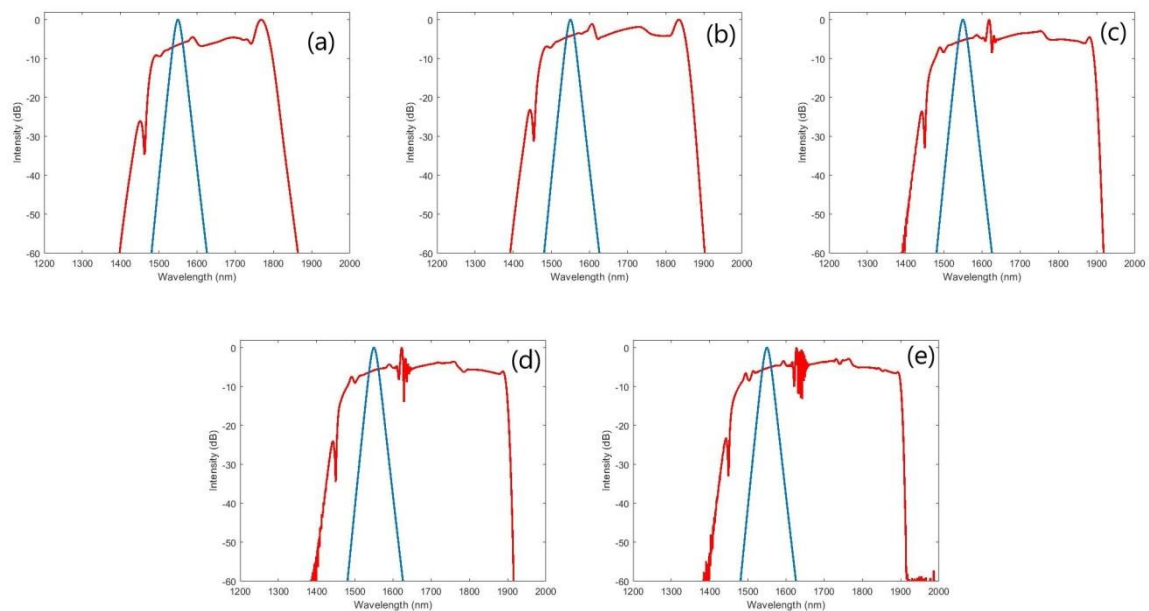


Figure III-13 : Spectre de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge).

On voit que plus la fibre est longue, l'effet Kerr (SPM pour être exact) se montre de plus en plus qui est représenté en oscillation ou en ondulation.

III.4.4.3. Les évolutions des impulsions dans LCPCF

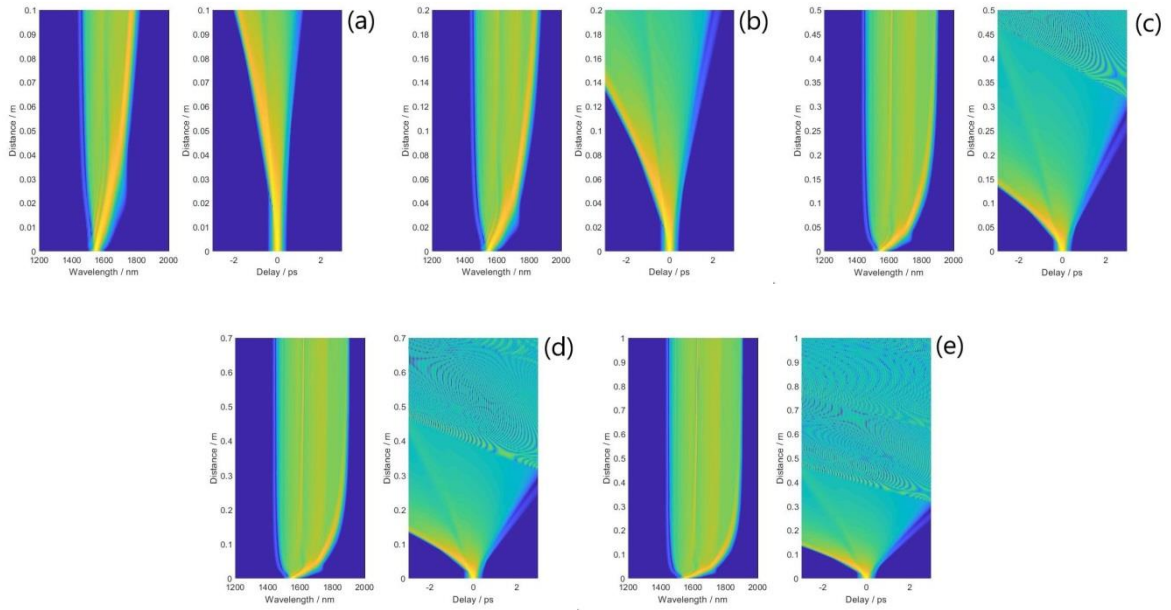


Figure III-14 : Les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long du LCPCF.

Le plus la longueur de la fibre devient, la largeur de spectre temporel de sortie augmente progressivement. Mais dans le spectre de longueur d'onde, la largeur du spectre s'arrête à un certain point qui est de 0.1 m. Cela signifie que pour obtenir de meilleurs résultats, nous n'avons besoin que de 10 cm de fibre.

III.4.5. Impact de l'effet Raman

La partie (a) dans les figures suivantes représente l'existence de l'effet Raman qui donné par $f_R = 0.89$ où 89 % et la figure III-15 (b) c'est la non-existence de l'effet Raman qui donné par $f_R = 0$ où 0 %.

III.4.5.1. Domaine temporel

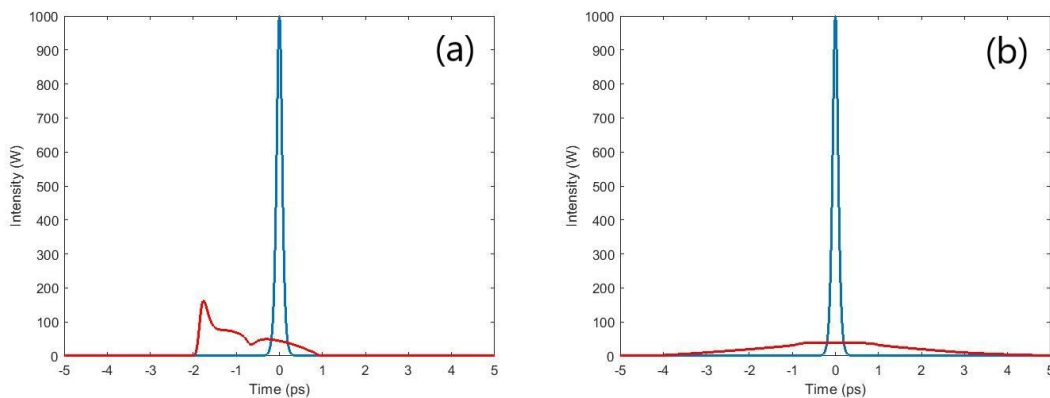


Figure III-15 : L'enveloppe de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge) pour $f_R = 0.89$ (a) et $f_R = 0$ (b).

III.4.5.2. Domaine spectral

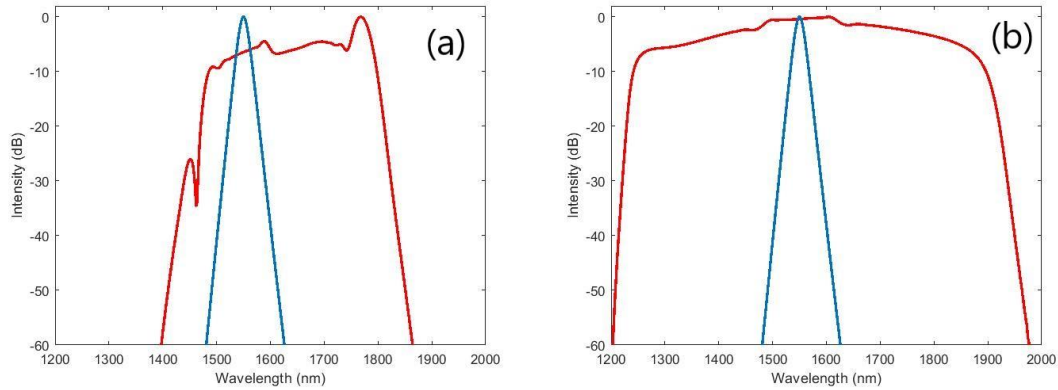


Figure III-16 : Spectre de l'impulsion à l'entrée (en bleu) et à la sortie (en rouge) pour $f_R = 0.89$ (a) et $f_R = 0$ (b).

III.4.5.3. Les évolutions des impulsions dans LCPCF

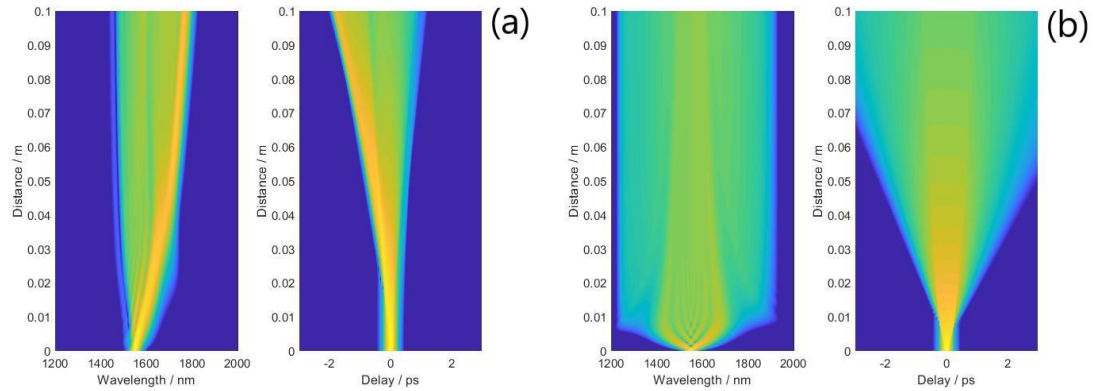


Figure III-17 : Les évolutions temporelles et spectrales des impulsions de pompe le long du LCPCF pour $f_R = 0.89$ (a) et $f_R = 0$ (b).

On remarque que les trois figures sont complètement différentes, l'enveloppe de (a) correspond au signal émis, par contre l'image (b) représente un signal large bande. Cela signifie qu'on diminue l'effet Raman le signal devient large bande.

III.5. Cohérence de supercontinuum

La largeur spectrale et la cohérence de SC pour différentes longueurs de propagation sont montrées sur la figure III-18. Bien qu'il soit prévu qu'un SC plus large puisse être obtenu en augmentant la longueur de fibre, la cohérence de SC va empirer. Lorsque $L = 0.05$ m, un creux se produit au milieu du SC induit par la division des impulsions, mais la densité spectrale a une valeur relativement élevée. Par conséquent, le degré de cohérence du SC généré (calculé à partir de la bande passante de -40 dB) est proche de 1. [10]

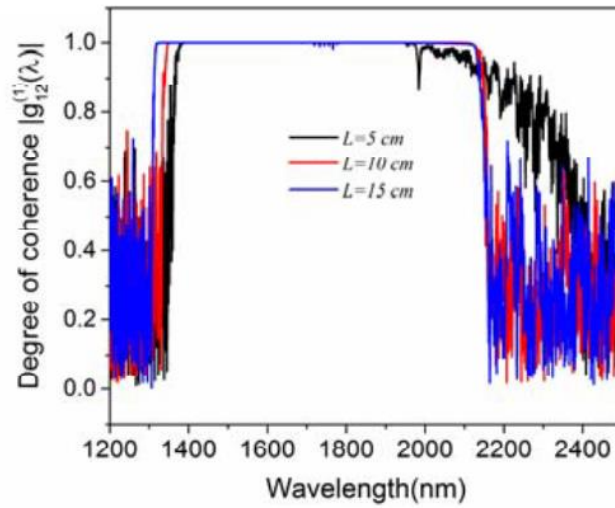


Figure III-18 : Cohérence de SC pour différentes longueurs de fibres. [10]

III.6. Conclusion

En raison de la contribution importante de Raman dans la fonction de réponse de CS_2 , les composantes de fréquence inférieure sont efficacement générées par la combinaison des effets Raman et SPM. L'effet Raman contrôle la largeur du spectre et le SPM contrôle les oscillations.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce projet de fin de cycle intitulé « Source large bande destinée aux systèmes de communications optiques multi-longueur d'ondes » nous avons parlé des systèmes de communications optiques en générale et la génération de supercontinuum en particulier.

On ne peut pas commencer à parler d'une source large bande et la génération supercontinuum sans parler d'un système de communication optique en générale. Ce pour cela, dans le premier chapitre nous avons commencé avec la liaison point à point en détail et nous concentrons sur le laser et les types de multiplexage surtout WDM. La fibre optique est la partie la plus importante dans quel que soit la liaison de communication optique. Pour cette raison, nous avons consacré une partie complète dans le premier chapitre à la fibre, sa structure, ses types et ses avantages. Et nous avons terminé le premier chapitre avec les trois types de réseaux optique.

Dans la deuxième partie, nous nous concentrons sur l'optique non linéaire et ses caractéristiques. Mais nous parlons spécifiquement des effets non linéaires tels que l'effet Kerr (spécialement l'auto-modulation de phase SPM) et Raman. Le modèle mathématique basé sur l'équation de Schrödinger non linéaire généralisée est présenté en détails. En fin, présente brièvement le processus de supercontinuum.

Nous terminons ce projet en parlant de fibre à cristaux photonique qui est très important dans notre simulation. La fibre utilisée a un cœur troué dont un liquide optique est infiltré. En se basant sur l'équation de Schrödinger, nous avons simulé la propagation d'une impulsion femtoseconde et la génération de supercontinuum ainsi que l'impact des paramètres initiaux tels que la puissance de l'impulsion et la durée.

En guise de perspective, nous proposons de continuer dans cet axe en étudiant d'autres types de guides d'ondes ainsi que d'implémenter un modèle basé sur le signal analytique de champ pour la description de la propagation dans les fibres optiques.

Référence Bibliographique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

[1] : Sami BARAKETI, Ingénierie des Réseaux Optiques SDH et WDM et Etude Multicouche IP/MPLS sur OTN sur DWDM, d'obtenir le Diplôme de DOCTEUR, publié, l'Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), Université Toulouse, Présentée et soutenue le 31/03/2015.

[2] : Oriol Bertran-Pardo, on coherent detection for optical transmissions at 40 Gb/s and 100 Gb/s, d'obtenir le Diplôme de DOCTEUR, publié, Télécom ParisTech, Soutenue le 10 septembre.

[3] : Yann Frignac, Contribution à l'ingénierie des systèmes de transmission terrestres sur fibre optique utilisant le multiplexage en longueur d'onde de canaux modulés au débit de 40 Gbit/s, d'obtenir le Diplôme de DOCTEUR, publié, l'école nationale supérieure de télécommunication, Télécom ParisTech, Soutenue le 28 avril 2003.

[4] : Mathilde Gay, Etude théorique et expérimentale de l'impact de la régénération 2R dans un système de transmission optique haut débit, d'obtenir le Diplôme de DOCTEUR, publié, Ecole Nationale Supérieure de Sciences Appliquées et de Technologie, l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, Soutenance le 10 février 2006.

[5] : Jean-Louis VERNEUIL, Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s, d'obtenir le Diplôme de DOCTEUR, publié, L'UNIVERSITE DE LIMOGES, Télécommunications Hautes Fréquences et Optiques, Soutenance Le vendredi 21 novembre 2003.

[6] : Joaquín Alfonso Alejandro CORNEJO BAUTISTA, ÉTUDE DE LA SÉCURISATION DU CANAL DE TRANSMISSION OPTIQUE PAR LA TECHNIQUE DE BROUILLAGE DE PHASE ET DE CRYPTAGE QUANTIQUE, d'obtenir le Diplôme de DOCTEUR, publié, l'Université de Bretagne Sud, l'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS DE BRETAGNE, Soutenue le 19 Novembre 2008.

[7]: John M. Dudley & Goëry Genty & Stéphane Coen, Supercontinuum generation in photonic crystal fiber, REVIEWS OF MODERN PHYSICS, VOLUME 78, OCTOBER–DECEMBER 2006, publié le 4 October 2006.

[8]: Rim CHERIF, Étude des Effets Non-Linéaires dans les Fibres à Cristaux Photoniques, d'obtenir le Diplôme de DOCTEUR, publié, Université du 7 Novembre à Carthage, L'École Supérieure des Communications de Tunis, Soutenue le 11 Avril 2009.

[9] : BENJAMIN WETZEL, ÉTUDES EXPÉRIMENTALES ET NUMÉRIQUES DES INSTABILITÉS NON-LINÉAIRES ET DES VAGUES SCÉLÉRATES OPTIQUES, d'obtenir le Diplôme de DOCTEUR, publié, l'Université de Franche-Comté, école doctorale science pour l'ingénieur et microtechnique, Soutenue le 6 décembre 2012.

[10] : Zheng Guo & Jinhui Yuan & Chongxiu Yu & Xinzhu Sang & Kuiru Wang & Binbin Yan & Lixiao Li & Shuai Kang and Xue Kang, Highly Coherent Supercontinuum Generation in the Normal Dispersion Liquid-Core Photonic Crystal Fiber, Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 48, 67–76, 2016, pages entre 67 et 76.

Annexe

ANNEXE

Le code utilisé dans la simulation de troisième chapitre :

```
% Simulate supercontinuum generation for parameters similar
% to Fig.3 of Dudley et. al, RMP 78 1135 (2006)
% Written by J.C. Travers, M.H Frosz and J.M. Dudley (2009)
% Please cite this chapter in any publication using this code.
% Updates to this code are available at www.scgbook.info
n = 2^13; % number of grid points
twidth = 12.5; % width of time window [ps]
c = 299792458*1e9/1e12; % speed of light [nm/ps]
wavelength = 1550; % reference wavelength [nm]
w0 = (2.0*pi*c)/wavelength; % reference frequency [2*pi*THz]
T = linspace(-twidth/2, twidth/2, n); % time grid
% === input pulse
power = 1000; % peak power of input [W]
t0 = 0.0852; % duration of input [ps]
A = sqrt(power)*sech(T/t0); % input field [W^(1/2)]
% === fibre parameters
flength = 0.1; % fibre length [m]
% betas = [beta2, beta3, ...] in units [ps^2/m, ps^3/m ...]
betas = [1.44259e-1, -2.14304e-4, 1.84391e-6, 6.3906e-9, -
7.36882e-10, -1.125e-11, 7.8084e-13];
gamma = 3.327; % nonlinear coefficient [1/W/m]
loss = 0; % loss [dB/m]
% === Raman response
fr = 0; % fractional Raman contribution
taul = 0.0122; tau2 = 0.032;
RT = (taul^2+tau2^2)/taul/tau2^2*exp(-T/taul).*sin(T/taul);
RT(T<0) = 0; % heaviside step function
%RT = RT/trapz(T,RT); % normalise RT to unit integral
% === simulation parameters
nsaves = 200; % number of length steps to save field at
% propagate field
[Z, AT, AW, W] = gnlse(T, A, w0, gamma, betas, loss, ...
fr, RT, flength, nsaves);
% === plot output
figure(1);
lIW = 10*log10(abs(AW).^2); % log scale spectral intensity
mIW = max(max(lIW)); % max value, for scaling plot
WL = 2*pi*c./W; iis = (WL>1200 & WL<2000); % wavelength grid
subplot(1,2,1);
pcolor(WL(iis), Z, lIW(:,iis)); % plot as pseudocolor map
caxis([mIW-40.0, mIW]); xlim([1200,2000]); shading interp;
xlabel('Wavelength / nm'); ylabel('Distance / m');

lIT = 10*log10(abs(AT).^2); % log scale temporal intensity
mIT = max(max(lIT)); % max value, for scaling plot
subplot(1,2,2);
pcolor(T, Z, lIT); % plot as pseudocolor map
```

```
caxis([mLIT-40.0, mLIT]); xlim([-3,3]); shading interp;
xlabel('Delay / ps'); ylabel('Distance / m');

figure(2)
Zj=Z(1);
plot(WL(iis),LIW(200,iis)-
max(LIW(200,iis)), 'r', 'linewidth', [2]); % plot as pseudocolor
map
    xlim([1200,2000]);
    ylim([-60,2]);
    xlabel('Wavelength (nm)'); ylabel('Intensity (dB)');
    hold on
    plot(WL(iis),LIW(1,iis)-max(LIW(1,iis)), 'linewidth', [2]); %
plot as pseudocolor map
    xlim([1200,2000]);
    ylim([-60,2]);
    xlabel('Wavelength (nm)'); ylabel('Intensity (dB)');

figure
plot(T,abs(AT(1,:)).^2, 'linewidth', [2])
hold on
plot(T,abs(AT(200,:)).^2, 'r', 'linewidth', [2])
xlim([-5,5])
    xlabel('Time (ps)'); ylabel('Intensity (dB)');
```

Résumé

Le travail de ce mémoire a pour objectif l'étude, via des simulations numériques, d'une source laser large bande destinée aux systèmes de communications optiques haut débit à multiplexage par longueur d'ondes. La source est obtenue via la génération d'un supercontinuum, l'effet Kerr et l'effet Raman via l'injection d'une impulsion laser femto seconde à très haut intensité lumineuse dans le cœur d'une fibre optique à cristaux photonique présentant un profil de dispersion chromatique négative sur toute l'intervalle spectrale.

Mots clés

Communications optiques, génération de supercontinuum, WDM.

Abstract

The objective of the memoir is to study, via digital simulations, a broadband laser source intended for high-speed optical communications systems with wavelength-division multiplexing. The source is obtained via the generation of a supercontinuum, Kerr effect and Raman effect via the injection of a very high light intensity femtosecond laser pulse into the core of a photonic crystal optical fiber exhibiting a negative chromatic dispersion profile over the entire interval spectral.

Keywords

Optical communications, supercontinuum generation, WDM.

ملخص

الهدف من الأطروحة هو دراسة ، من خلال المحاكاة الرقمية ، مصدر ليزر عريض النطاق مخصص لأنظمة الاتصالات الضوئية عالية السرعة مع تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي. يتم الحصول على المصدر من خلال توليد ثانية بكثافة عالية جداً في قلب الألياف استمرارية فائقة مع تأثيرات كار ورامون عن طريق حقن نبضة ليزر الفيمتو الضوئية البلورية الضوئية التي تظهر مظهر تشتيت لوني سلبي على كامل الفترة الطيفية.

كلمات مفتاحية

الاتصالات الضوئية، جيل استمرارية فائقة، الطول الموجي المقسم WDM.