

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologies

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Maintenance en Instrumentation Industrielle

Thème

Etude des fibres optiques

Par :

Mr. OULADSALAME Moussa

Mr. OKBAOUI Youcef

Jury :

Dr. TOUAFEK Khaled

Maître de conférences A

URAER Ghardaïa

Encadreur

M. Biteur kada

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa

Examineur

Année universitaire 2014/2015

Dédicase

Louange au dieu. il n'est point d'autre dieu que lui. Nul autre n'est digne d'adoration.

A qui puis-je dédier cet humble travail si ce n'est à mes très chers parents, dont le sacrifice, la tendresse, l'amour, la patience, le soutien, l'aide et les encouragements sont l'essence de ma réussite. sans eux, je ne serais pas ce que suis aujourd'hui.

Je dédie ce travail également,

A mes chers frères : Abdelkader, Abdallah, Osman,

A ma chère sœur : Rabiaa, Mariam, Fatima Al Zahra

A mes deux grand-mères et grand père

A tous mes oncles, tantes, cousins et cousines.

A tous mes chers amis dans l'université : << bilall, Zakaria,

Hamza, Tahar, Souidi, Ossama, Zouber, Nour eddin

, Mohammed, Abdelghafar, et tous ma promotion 2014-2015 >>

À son crédit exactement ce collègue de travail : Okbaoui youcef

A tous mes amis, que ce soit à Tamanrasset et (Gamal,

Adnan, Mouaiz, Abdelrrahman,)

A toutes la famille ouladsalem et la famille mouloudi

A toute personne qui porte de l'estime pour moi

OULADSAMEM MOUSSA

Dédicace

Hey certain que votre Voana nous utilisons tout le meilleur e notre intention pour votre visage et de le rendre pur Consacrer le fruit de mon mieux pour humilier.

Kharmen intensifié reste de la Hady lumière Laurie Prophète Muhammad, les prières de Dieu et la paix est à l'horizon surgit étoiles ou coup de pied.

Pour ceux qui étaient la cause de l'existence de ce en présence de Sa générosité des largesses nous étions Boukerha Dieu a sauvé ma chère mère et il a pris soin de sa miséricorde et miséricordieux Dodd.

Pour l'ombre Azlna et alimenté le meilleur des moyens de subsistance et Halaleh Karim mon père que Dieu le protège et a été parrainé par Sa Majesté va bien efficace.

*Pour tous mes frères et sœurs tous les un à son nom Ba et surtout ma petite sœur :
Iman*

Pour mes tantes, oncles et tantes et tous leurs enfants, chacun selon son nom, en particulier ma tante Fatima et fille de tante Hanadi, et les grands-parents.

Et toute la famille d'Okbaoui et Chinoune.

*Pour avoir partagé avec eux des années de ma jeunesse et mes amis d'enfance :
Sidamr, Sharif, Ali (b), Mohammed, Boubacar, Hammouda, Ali, Paddy.*

*Pour l'étude a partagé avec moi le fardeau de mes collègues : souldi, Zakaria Tahar(f), hamza, Tahar(s), Yassine, Khaled, Ahmed, Mohamed, Jamal, nour adine,
Zubair.....*

À son crédit exactement ce collègue de travail : Ouled Salem Moussa.

Pour tous les étudiants Science et technologie, chacun selon son nom

Pour tous ceux qui me soutenait, le mot d'une lettre ou une prière à chaque élève a appris que ce travail apporte des avantages à tous les étudiants lors de la prochaine remise des diplômes.

Dans la finale, je l'espère de Dieu que cela rend notre travail avantages utiles tous les étudiants.

Youcef



Remerciement

Au terme de ce travail, nous remercions le Dieu de nous avoir donné le courage et la volonté pour mener à bien ce mémoire de fin d'études.

Ce travail a été réalisé sous la direction de Monsieur TOUAFEK KHALED, Maitre de conférences A à l'université de Ghardaïa, nos sincères remerciements à lui et à l'ensemble des enseignants de personnel du département de sciences technologiques.

Nos remerciements vont aussi à tous nos collègues.

Nous aimerons enfin exprimer notre

Sommaire

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Généralités sur les conducteurs électriques	
I.1 introduction	3
I.1.1 Définition de conducteurs électriques.....	3
I.1.2 Matériaux conducteurs.....	3
I.2 Canalisations électriques.....	4
I.2.1 Constitution d'un conducteur.....	4
I.2.2 Âme d'un conducteur.....	5
I.2.3 l'isolant d'un conducteur.....	6
I.3 Constitution d'un câble.....	6
I.3.1 les câbles mono conducteurs	6
I.3.2 les câbles multiconducteurs	7
I.4 Identification et repérage des conducteurs	7
I.5 Désignation des conducteurs et des câbles.....	9
I.5.1 Le rôle des conducteurs	11
I.5.2 Les conducteurs isolés	12
I.6 Les câbles	13
I.7 La dénomination	14
I.8 Conclusion.....	14
CHAPITRE II :Historique des fibres optiques	
II.1 Introduction.....	16
II.2 Histoire.....	16
II.2.1 Précurseurs.....	16
II.2.2 Avènement.....	18
II.3 Principe de fonctionnement.....	19
II.3.1 Fonctionnement	19
II.3.2 Système de transmission.....	21
II.4 Développement.....	23
II.4.1 Fibre optique de silice.....	23
II.4.2 Fabrication des préformes par MCVD.....	23
II.5 Méthodes de fabrication	25
II.5.1 Caractéristique.....	25

Sommaire

II .5.2 Conclusion	30
CHAPITRE III : Application des fibres optiques	
III.1 Introduction	32
III.2 Utilisation pour les télécommunications	32
III.2.1 Utilisation dans les réseaux informatiques	33
III.2.2 Domaine de l'éclairage.....	35
III.3 Défis de l'application médicale	35
III.3.1 Capteur de pression pour la cardiologie	36
III.3.2 Médecine.....	39
III.4 Les domaines d'application de l'optique pour les procédés industriels	39
III.4.1 Les procédés de fabrication.....	40
III.5 Applications diverses.....	41
III.6 Les avantages et les inconvénients de la fibre optique.....	42
III.6.1 Les avantages.....	42
III.6.2 Les inconvénients.....	42
III.7 Conclusion.....	43
Conclusion générale.....	45
Bibliographie.	

Liste des figures

Liste des figures

Liste des figures

Figure(I.1) Conducteur électrique en cuivre.....	3
Figure(I.2) constitution d'un conducteur.....	4
Figure(I.3) âme d'un conducteur.....	5
Figure(I.4) câbles mono conducteurs.....	6
Figure(I.5) câbles multiconducteurs.....	7
Figure(I.6) couleurs des isolants pour câbles circuits monophasés et diphasés.....	8
Figure(I.7) câble constitué de 3conducteurs U1000 R02V 3x2.5.....	9
Figure(I.8) câble constitué de 3 conducteurs U100 R G P F V 3x10.....	10
Figure(I.9) conducteur H 07 V-R.....	10
Figure(I.10) conducteur H 05 V-K.....	10
Figure(I.11) câble rond H 07 RN-F 2G25	11
Figure(I.12) câble rond H 05 VV-F2x2.5.....	11
Figure(I.13) Bobine de conducteur isolé	12
Figure(I.14) les conducteurs électriques.....	13
Figure(II.1) Illustration provenant d'un article de La nature de 1884 par Jean-Daniel	17
Figure(II.2) Fibre optique pour réseaux métropolitains.....	19
Figure (II.3) Principe d'une fibre optique.....	20
Figure(II.4).Principe d'une fibre optique à saut d'indice.....	20

Liste des figures

Figure(II.5) Fabrication des préformes par MCVD.....	24
Figure(II.6) Fibres multi-modes et monomodes	28
Figer (III.1) Câble sous-marin en fibre optique.....	32
Figer (III.2) Fibre multi-mode utilisée dans une liaison.....	34
Figer (III.3) doped fibre	34
Figer (III.4).Forme de la pression intra-aortique simulée par un générateur de pression Bio-Tek 601A (tachycardie, 2 Hz = 120 bpm) et enregistrée par un capteur de pression à fibre optique FOP-MIV connecté à un appareil PM-250	37
Figer (III.5).Pression intra-aortique simulée par un générateur de pression Bio-Tek 601A (1.5 Hz = 90 bpm) et enregistrée par 2 capteurs de pression FOP-MIV positionnés aux 2 extrémités d'un cathéter médical rempli d'eau de 3 m de long qui est agité pendant 2 s (la ligne verticale indiquant le début des vibrations). Graphique du haut : capteur situé proche du générateur de pression (équivalent à une mesure in situ dans l'aorte). Graphique du bas : capteur situé à l'extrémité externe d'un cathéter (équivalent à une mesure par transduction fluide).....	38
Figer (III.6).Capteur de pression optique FOP-MIV (\emptyset 550 μ m) de FISO Technologies disponible commercialement pour applications médicales montré ici dans une seringue épidermique 24 gage.....	39

Introduction générale

Introduction générale

La capacité à transmettre plus d'informations sur de plus longues distances a chamboulé les secteurs de l'informatique, de l'aérospatial, des communications sans fil et par satellite, ...

Tout ce développement n'a été possible que depuis l'utilisation de la fibre optique et comme la technologie demande toujours plus de performance, la fibre optique va continuer de se développer.

Qu'est-ce que la fibre optique ?

La fibre optique est un long câble composé de centaines de brins de verre ultra purs mesurant le diamètre d'un cheveu. Ces brins peuvent transmettre des signaux lumineux sur des centaines de milliers de kilomètres et sont protégés par une gaine.

Le cœur de la fibre optique est le noyau dans lequel va se propager la lumière. La gaine optique qui entoure le cœur permet de refléter la lumière et de la guider. La gaine isolante quant à elle, permet de protéger la fibre de l'humidité, de la saleté et d'autres facteurs environnementaux.

Il existe deux types de fibre. La fibre optique monomode a un petit noyau (2-9 micro) et ne supporte qu'un seul mode pour propager la lumière contrairement à la fibre multimode qui elle, a un plus gros noyau (25-200 microns) et supporte plusieurs modes ce qui permet des phénomènes de dispersion plus complexes. La monomode est plutôt utilisée pour des utilisations longue distance alors que la multimodale s'utilise avec des applications à faible vitesse et de courtes distances comme des réseaux LAN par exemple.

Chapitre I
Généralités sur les conducteurs
électriques

Chapitre I

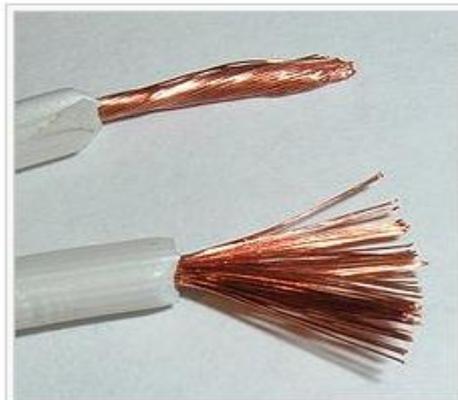
Généralités sur les conducteurs électriques

I.1 Introduction

Un conducteur électrique est un milieu dans lequel des charges électriques sont libres de se déplacer. Ces charges sont des électrons ou des ions. Les métaux, les électrolytes et les plasmas (gaz ionisés) sont des milieux conducteurs.

I.1.1 Définition de conducteurs électriques

Un conducteur d'électricité (figure I.1) est un corps capable de laisser passer un courant électrique. Souvent un bon conducteur d'électricité est aussi un bon conducteur de chaleur. Son opposé est un isolant électrique.



Figure(I.1) Conducteur électrique en cuivre

I.1.2 Matériaux conducteurs

Généralement, les métaux sont conducteurs d'électricité, les meilleurs étaient l'argent, le cuivre et l'or, mais du fait de leur prix, l'argent et l'or sont rarement utilisés comme conducteurs d'électricité. Par contre, l'or est souvent utilisé pour protéger de la corrosion les conducteurs en cuivre ou en argent sur les circuits imprimés.

Les matériaux supraconducteurs sont d'excellents conducteurs d'électricité quand certaines conditions sont respectées (la température par exemple) mais, du fait de l'infrastructure nécessaire à leur fonctionnement, ils ne sont utilisés que dans des cas spécifiques (exemple : l'accélérateur de particules du CERN nécessitant des champs magnétiques très élevés).[1].

I.2 Canalisations électriques

Les conducteurs permettent de conduire l'électricité d'un point à un autre (vecteur ou support de l'électricité). Ils représentent les éléments actifs des liaisons électriques.

Les conducteurs doivent être très peu résistifs pour limiter les pertes par effets joule et les chutes de tension mais aussi être correctement isolés avec une matière isolante pour éviter les contacts directs ou bien les contacts entre conducteurs voisins (courts-circuits), avec la terre et les masses.

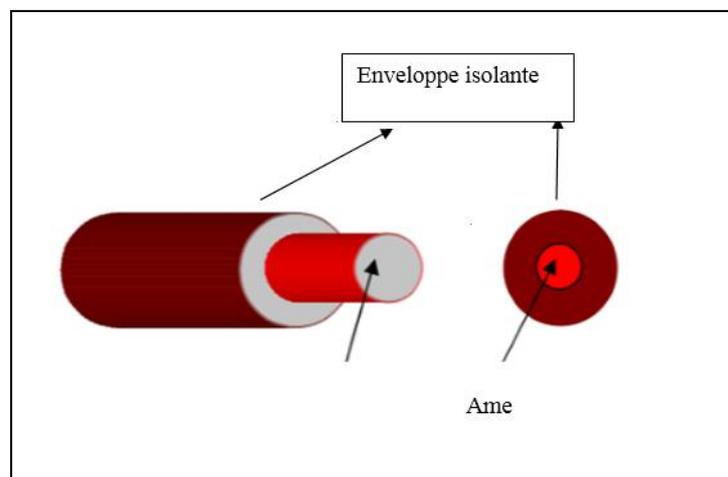
Il existe une très grande variété de conducteurs et de câbles électriques, en fonction des réalisations souhaitées.

I.2.1 Constitution d'un conducteur

Un conducteur est constitué :

*D'une âme conductrice dont le rôle est de conduire le courant (figure I.2)

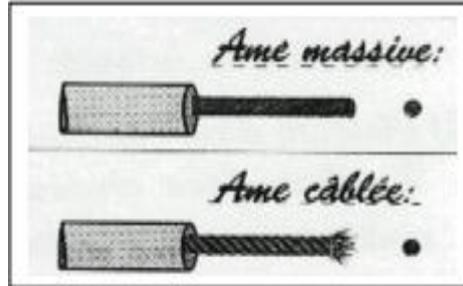
Le cuivre et l'aluminium sont généralement utilisés.



Figure(I.2) constitution d'un conducteur

I.2.2 Âme d'un conducteur

C'est la partie qui va conduire l'électricité, (figure I.3).elle est constituée de cuivre ou d'aluminium On distingue les conducteurs ayant une :



Figure(I.3) âme d'un conducteur

Âme massive : Formée d'un seul conducteur (Jusqu'à 4 mm²) C'est du conducteur rigide. Âme câblée ou âme souple formées de plusieurs brins torsadés. L'âme conductrice d'un conducteur est caractérisée par :

Sa section (Surface ou aire)

$$S = \pi d^2 / 4 \text{ ou } S = \pi R^2$$



Section normalisée en mm² :

0.5	0.75	1	1.5	2.5	4	6	10	25	35	50	70	95	...
-----	------	---	-----	-----	---	---	----	----	----	----	----	----	-----

- On emploie du cuivre ou de l'aluminium (lignes aériennes) dont la résistivité est très faible.

$$P \text{ cuivre} = 1.6 \cdot 10^{-8} \text{ ohm mètre, } P \text{ aluminium} = 2.6 \cdot 10^{-8} \text{ ohm mètre}$$

- La section de l'âme dépend de l'intensité du courant (0.5 mm² à 630 mm²).

I .2.3 l'isolant d'un conducteur

Il entoure l'âme conductrice et assure l'isolation électrique. Il doit avoir une résistivité et une rigidité électrique élevée. Il doit résister à :

- Des contraintes mécaniques : Torsion, chocs
- Des contraintes chimiques : Résistance à la combustion
- Des contraintes physiques : Tenue à la corrosion par l'humidité.

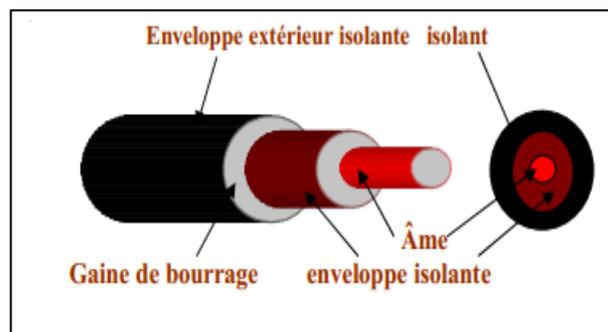
On utilise des matières synthétiques : PVC (polychlorure de vinyle), PR (polyéthylène réticulé), PRC (caoutchouc butyle vulcanisé) Du fait de leur rigidité électrique, les isolants sont caractérisés par la tension nominale qu'ils doivent supporter.

I .3 Constitution d'un câble

Un câble électrique est constitué de plusieurs conducteurs électriquement distincts et mécaniquement solidaires. Un câble est au minimum constitué d'un conducteur, d'une gaine de bourrage et d'une enveloppe isolante. On distingue des câbles unipolaires et multipolaires.

I .3.1 les câbles mono conducteurs

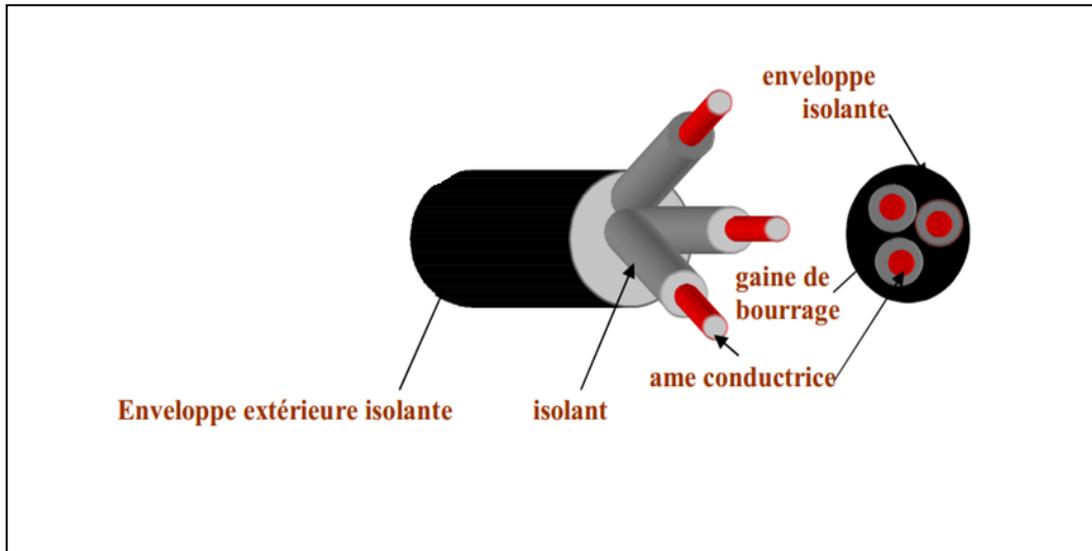
C'est un câble qui possède qu'un seul Conducteur ;(Figure(I.4)).



Figure(I.4) câbles mono conducteurs

I.3.2 les câbles multiconducteurs

C'est un câble qui possède plusieurs conducteurs isolés ;(Figure(I.5)).



Figure(I.5) câbles multiconducteurs

I.4 Identification et repérage des conducteurs

L'identification ou le repérage des conducteurs permet de donner une indication sur la nature du conducteur. Le repérage est réalisé soit par coloration du conducteur soit par chiffres imprimés ou fixés sur le conducteur

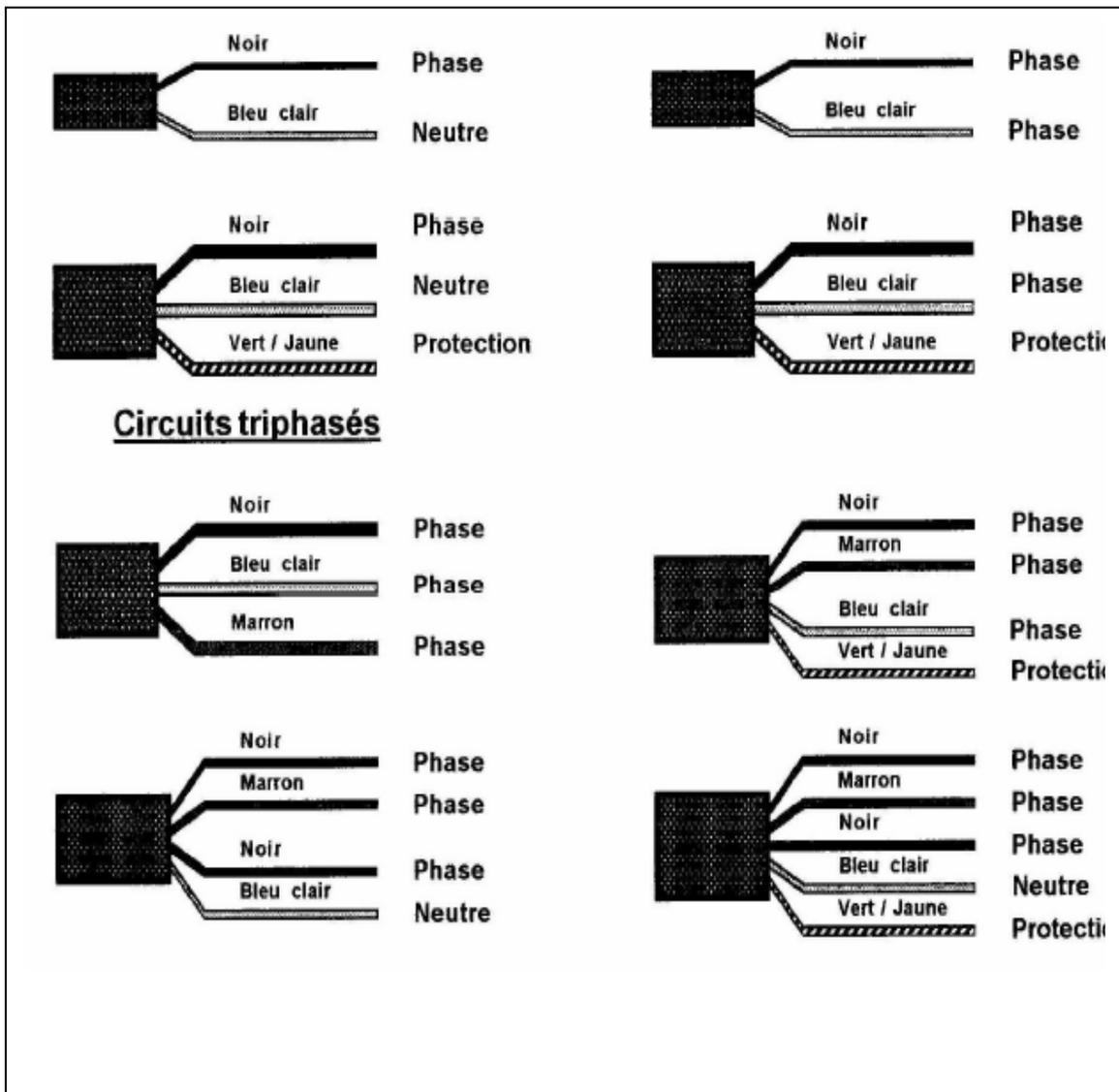
Les repérages par coloration respectent toujours 3 règles :

- ✓ Règle n°1 : Le conducteur bleu clair doit être utilisé pour raccorder le neutre.
- ✓ Règle n°2 : Le conducteur vert / jaune est réservé uniquement au conducteur de protection PE (la terre).
- ✓ Règle n°3 : La phase peut être repérée par n'importe quelle couleur à l'exception du bleu clair et du vert / jaune.

Attention : il est impératif de vérifier ce repérage sur une installation car la couleur du conducteur donne seulement une indication.

Remarques importantes :

- ✓ Le repérage de conducteur doit être considéré comme une présomption et il est toujours nécessaire ; Figure(I.6) de vérifier la polarité des conducteurs avant toute intervention.
- ✓ Dans le cas où le conducteur neutre est également utilisé comme conducteur de protection (mise au neutre des masses), il doit être repéré comme conducteur de protection (PE) c'est-à-dire vert / jaune.



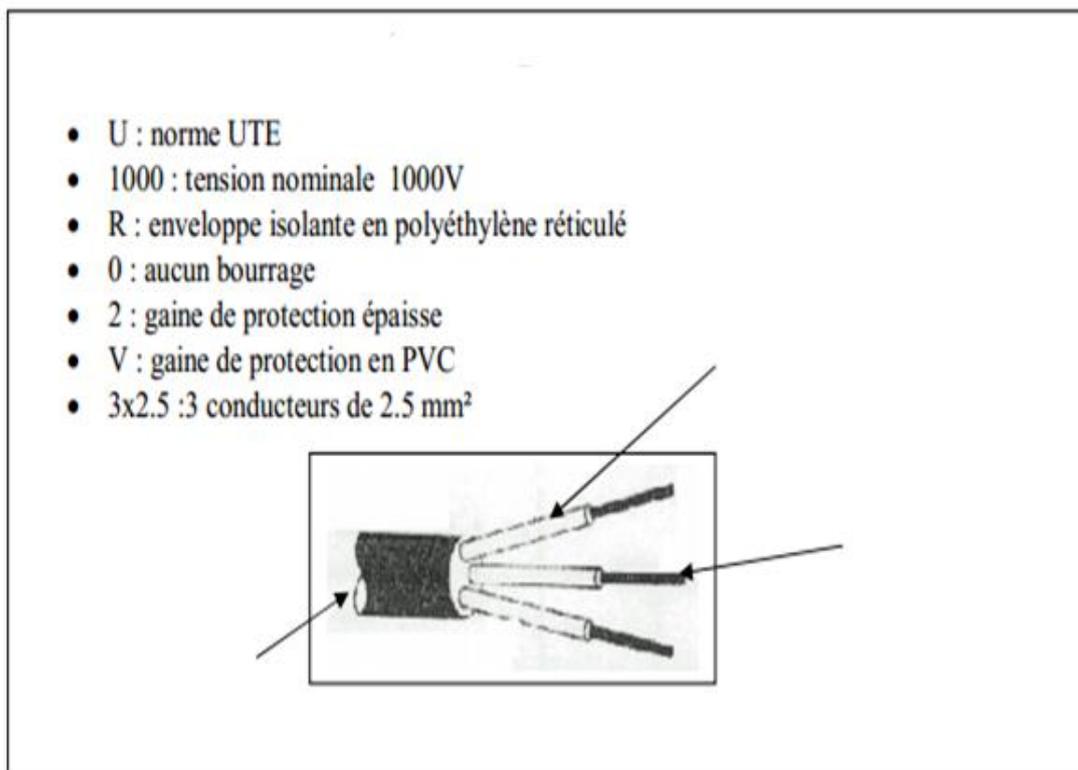
Figure(I.6) couleurs des isolants pour câbles circuits monophasés et diphasés

I.5 Désignation des conducteurs et des câbles

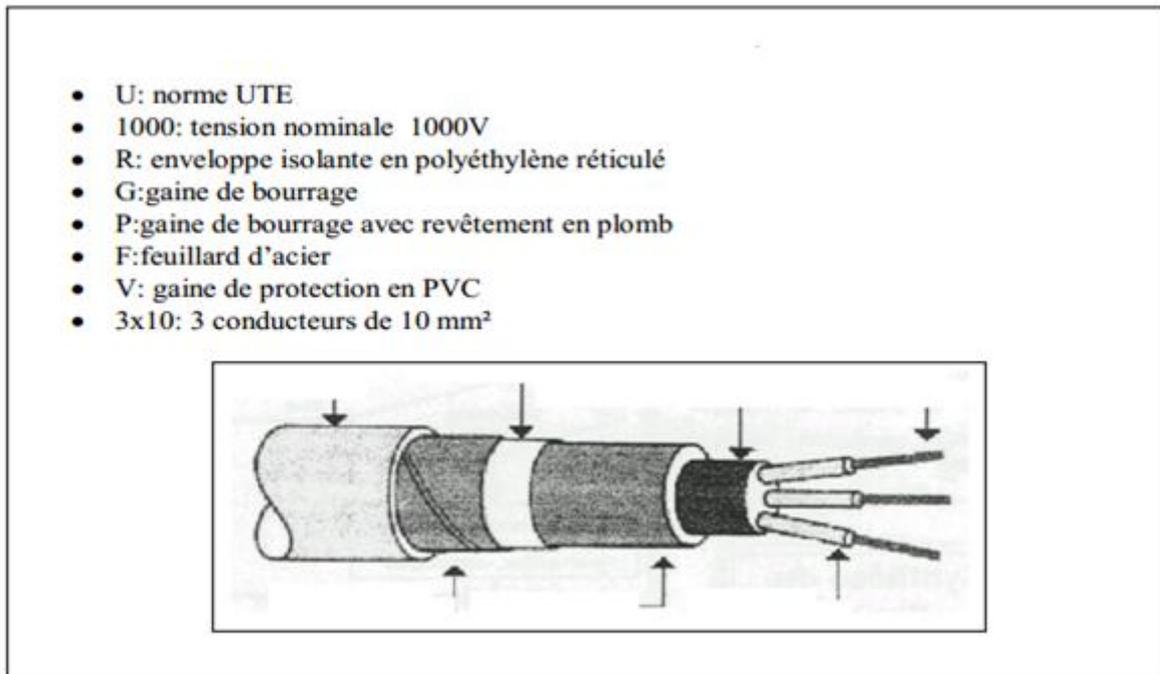
Il existe une diversité importante de conducteur et de câbles en fonction des applications auxquelles ils sont destinés. Il est donc nécessaire de les différencier, d'après leur Constitution. [2].

Il existe deux systèmes de normalisations pour les conducteurs et les câbles :

- La norme française UTE (Union technique de l'électricité). Deux Figure (7et 8) suivent :

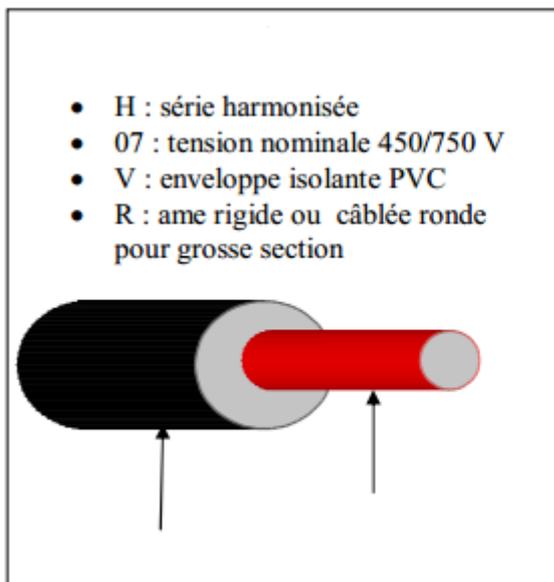


Figure(I.7) câble constitué de 3 conducteurs U1000 R02V 3x2.5

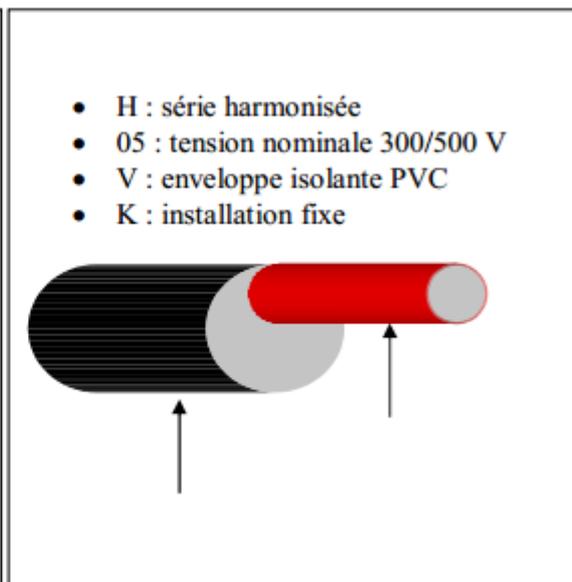


Figure(I.8) câble constitué de 3 conducteurs U100 R G P F V 3x10

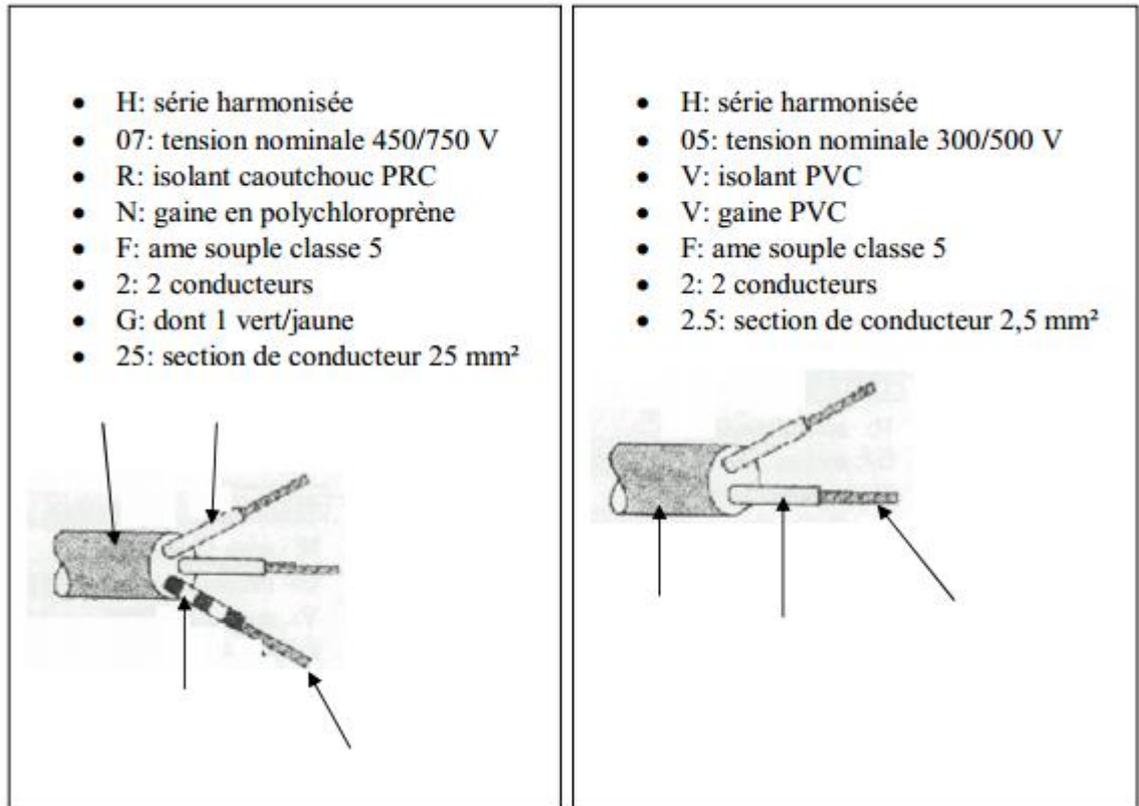
La norme européenne CENELEC (Comité Européen de Normalisation pour l'électrotechnique :



Figure(I.9) conducteur H 07 V-R



Figure(I.10) conducteur H 05 V-K



Figure(I.11) câble rond H 07 RN-F 2G25

Figure(I.12) câble rond H 05 VV-F2x2.5

I.5.1 Le rôle des conducteurs

Le rôle des conducteurs est de transporter l'énergie électrique vers les divers points d'utilisation. Leur choix se fera donc en fonction de nombreux critères :

- quantité d'énergie à transporter
- longueur utilisée
- influences externes
- modes de pose

La norme a bien évidemment pris en compte toutes ces conditions et le domaine d'emploi de chaque conducteur est défini avec précision.

On rencontre deux types de conducteurs : les conducteurs isolés et les câbles.

I.5.2 Les conducteurs isolés :

Les conducteurs isolés (figure I.13) se composent d'une âme conductrice et d'une enveloppe isolante. L'âme conductrice est généralement en cuivre. Elle peut être massive (pour les petites sections jusqu'à 4 mm²), multibrins (ensemble de brins massifs de petite section) pour les fils à partir de 6 mm², souple pour toutes les sections.

L'enveloppe isolante, généralement en PVC pour les conducteurs utilisés dans les installations domestiques, est de différentes couleurs afin de faciliter leur repérage.

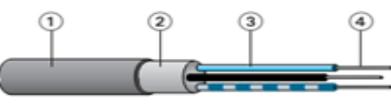
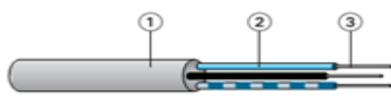
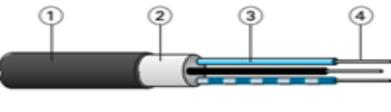
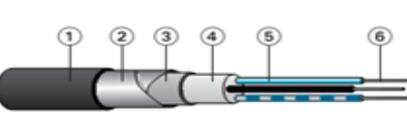
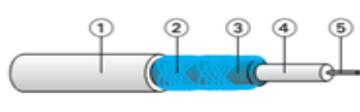
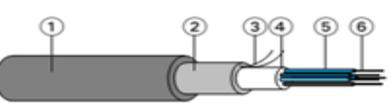


Figure(I.13) Bobine de conducteur isolé

I.6 Les câbles

Les câbles consistent en plusieurs fils isolés de même section réunis sous une ou plusieurs enveloppes isolantes supplémentaires en fonction de leur domaine d'utilisation (figure I.14).

Il existe donc un vaste choix selon la section, le nombre de conducteurs, la rigidité et les diverses protections extérieures. Il existe également des câbles plus spécifiques destinés, par exemple, à l'antenne de télévision ou au téléphone.

Fils et câbles domestiques			
Type	Schéma	Constitution	Sections
H 07V-U H 07V-R H 07V-K		① isolant en PVC ② U : âme rigide en cuivre R : âme rigide câblée en cuivre K : âme souple en cuivre	U : de 1,5 à 4 mm ² R : de 6 à 300 mm ² K : de 0,75 à 95 mm ²
A 05VV-U A 05VV-R ou FR-N 05VV-U FR-N 05VV-R		① enveloppe en PVC ② gaine de bourrage ③ isolant en PVC ④ U : âme rigide en cuivre R : âme rigide câblée	U : de 1,5 à 4 mm ² R : de 4 à 16 mm ² de 2 à 5 conducteurs
H 05VV-F A 05VV-F		① gaine en PVC ② isolant en PVC ③ âme souple en cuivre	U : de 0,5 à 6 mm ² de 2 à 5 conducteurs
U 1000 R 2V		① gaine en PVC ② gaine de bourrage élastoplastique ③ isolant en PVC ④ U : âme rigide en cuivre	De 1,5 à 240 mm ² de 1 à 5 conducteurs
U 1000 RVFV		① gaine en PVC ② armature (deux feuillets d'acier) ③ gaine d'étanchéité en PVC ④ bourrage élastoplastique ⑤ isolant en PVC ⑥ âme en cuivre	De 1,5 à 120 mm ² de 2 à 5 conducteurs
COAXIAL		① gaine en PVC ② tresses de cuivre ③ feuillet de cuivre ④ isolant ⑤ âme en cuivre	Pour circuits d'antennes de télévision
CABLE PTT 278 SYS SYT		① gaine en PVC ② étanchéité ③ fils de continuité et de déchirement ④ rubans hydrofuges ⑤ isolant en polyéthylène ⑥ âme en cuivre	0,6 mm ² de 1 à 56 paires. Type 4 paires pour installations téléphoniques domestiques

Figure(I.14) les conducteurs électriques

I.7 La dénomination

La dénomination sert, grâce à un code établi, à préciser les caractéristiques d'un conducteur électrique. Elle est définie par le CENELEC (Comité Européen de Normalisation de l'Électrotechnique) qui, comme son nom l'indique, vise à l'harmonisation européenne des conducteurs. Quelques câbles ont conservé une dénomination nationale.

Les câbles sont désignés par un ensemble de lettres et de chiffres. La première lettre indique l'étendue nationale ou internationale. A désigne un type national reconnu, H, un type harmonisé, FR-N, un type national avec une désignation internationale et U indique un type national avec l'ancienne désignation UTE. [3].

I.8 Conclusion

Nous avons examiné dans ce chapitre les principales propriétés physiques matériaux ; à l'exclusion des propriétés mécaniques .les propriétés électriques , Thermiques, magnétiques et optiques dépendent en premier lieu de la configuration électronique des atomes joue également un rôle important Passons en revue les principaux résultats obtenus dans le cadre de ce chapitre la conductivité électrique des matériaux varie d'environ 30 ordres de grandeur depuis matériaux conducteurs comme le cuivre ou l'aluminium jusqu'au isolants comme le PTFE. D'une manière générale, les métaux les plus purs sont le meilleur conducteur. De grands progrès ont été réalisés récemment dans le domaine des matériaux supraconducteurs par l'utilisation de céramiques complexe. Les matériaux à conductivité électrique intermédiaire (semi-conducteurs) jouent également un rôle déterminant en micro-électronique.

Chapitre II

Historique des fibres optiques

Chapitre II

Historique des fibres optiques

II.1 Introduction

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission de données et de lumière. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques. Le principe de la fibre optique a été développé au cours des années 1970 dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works (actuelle Corning Incorporates).

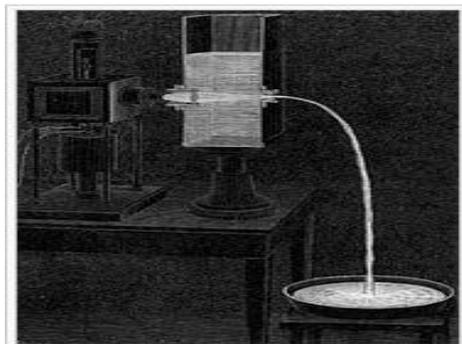
Entourée d'une gaine protectrice, la fibre optique peut être utilisée pour conduire de la lumière entre deux lieux distants de plusieurs centaines, voire milliers, de kilomètres. Le signal lumineux codé par une variation d'intensité est capable de transmettre une grande quantité d'information. En les permettant communications à très longue distance et à des débits jusqu'alors impossibles, les fibres optiques ont constitué l'un des éléments clef de la révolution des télécommunications optiques. Ses propriétés sont également exploitées dans le domaine des capteurs (température, pression, etc.), dans l'imagerie et dans l'éclairage. Un nouveau type de fibres optiques, fibres à cristaux photoniques, a également été mis au point ces dernières années, permettant des gains significatifs de performances dans le domaine du traitement optique de l'information par des techniques non linéaires, dans l'amplification optique ou bien encore dans la génération de super continums utilisables par exemple dans le diagnostic médical. Dans les réseaux informatiques du type Ethernet, pour la relier à d'autres équipements, on peut utiliser un émetteur-récepteur.

II.2 Histoire

II.2.1 Précurseurs

À l'époque des Grecs anciens, le phénomène du transport de la lumière dans des cylindres de verre était déjà connu. Il était, semble-t-il, mis à profit par les artisans du verre pour créer des pièces décoratives. Plus tard, les techniques de fabrication utilisées par les artisans vénitiens de la Renaissance pour fabriquer les « millefiori » ressembleraient beaucoup aux techniques actuelles de fabrication de la fibre optique. L'utilisation du verre en conjonction avec la lumière n'est donc pas

récente. La première démonstration scientifique du principe de la réflexion totale interne fut faite par les physiciens français Jean-Daniel Colladon et Jacques Babinet à Paris au début des années 1840. L'irlandais John Tyndall répéta l'expérience devant la Société Royale Britannique en 1854. À l'époque, l'idée de courber la trajectoire de la lumière, de quelque façon que ce soit, était révolutionnaire puisque les scientifiques considéraient que la lumière voyageait uniquement en ligne droite. Leur démonstration consistait à guider la lumière dans un jet d'eau déversé d'un trou à la base d'un réservoir. En injectant de la lumière dans ce jet, celle-ci suivait bien la courbure du jet d'eau, démontrant ainsi qu'elle pouvait être déviée de sa trajectoire rectiligne. Ils purent de cette manière démontrer le principe qui est à la base de la fibre optique. Par la suite, de nombreuses inventions utilisant le principe de la réflexion totale interne virent le jour ; comme les fontaines lumineuses ou des dispositifs permettant de transporter la lumière dans des cavités du corps humain. On doit la première tentative de communication optique à Alexander Graham Bell, connu pour l'invention du téléphone. En effet, il mit au point, au cours des années 1880, le photophone. Cet appareil permettait de transmettre la lumière sur une distance de 200 mètres. La voix, amplifiée par un microphone, faisait vibrer un miroir qui réfléchissait la lumière du soleil. Quelque 200 mètres plus loin, un second miroir captait cette lumière pour activer un cristal de sélénium et reproduire le son voulu. Le récepteur de cet appareil était presque identique à celui du premier téléphone. Bien qu'opérationnelle en terrain découvert, cette méthode s'avéra peu utilisée (Figure II.1). La pluie, la neige et les obstacles qui empêchaient la transmission du signal condamnèrent cette invention, bien qu'il considérait lui-même que le photophone était sa plus grande invention, puisqu'elle permettait une communication sans fil. [4].



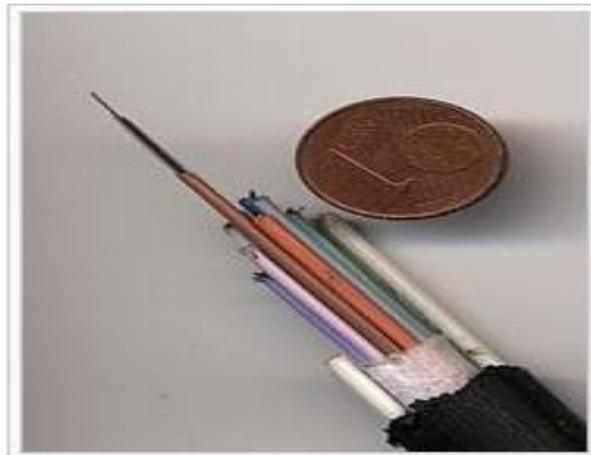
Figure(II.1) Illustration provenant d'un article de La nature de 1884 par Jean-Daniel Colladon.

II .2.2 Avènement

La possibilité de transporter de la lumière le long de fines fibres de verre fut exploitée au cours de la première moitié du XX^e siècle. En 1927, Baird et Hansell tentèrent de mettre au point un dispositif d'images de télévision à l'aide de fibres. Hansell put faire breveter son invention, mais elle ne fut jamais vraiment utilisée. Quelques années plus tard, en 1930, Heinrich Lamm réussit à transmettre l'image d'un filament de lampe électrique grâce à un assemblage rudimentaire de fibres de quartz. Cependant, il était encore difficile à cette époque de concevoir que ces fibres de verre puissent trouver une application. La première application fructueuse de la fibre optique eut lieu au début des années 1950, lorsque le fibroscope flexible fut inventé par van Heel et Hopkins. Cet appareil permettait la transmission d'une image le long de fibres en verre. Il fut particulièrement utilisé en endoscopie, pour observer l'intérieur du corps humain, et pour inspecter des soudures dans des réacteurs d'avion. Malheureusement, la transmission ne pouvait pas être faite sur une grande distance étant donnée la piètre qualité des fibres utilisées. En 1957, le fibroscope (endoscope flexible médical) est inventé par Basil Hirschowitz aux États-Unis. Les télécommunications par fibre optique restèrent impossibles jusqu'à l'invention du laser en 1960. Le laser offrit en effet la possibilité de transmettre un signal sans pertes sur une grande distance. Dans sa publication de 1964, Charles Kao, des Standard Télécommunications Laboratoires, décrit un système de communication à longue distance et à faible perte en mettant à profit l'utilisation conjointe du laser et de la fibre optique. Peu après, soit en 1966, il démontra expérimentalement, avec la collaboration de Georges Hockman, qu'il était possible de transporter de l'information sur une grande distance sous forme de lumière grâce à la fibre optique. Cette expérience est souvent considérée comme la première transmission de données par fibre optique. Cependant, les pertes dans cette fibre optique étaient telles que le signal disparaissait au bout de quelques centimètres, non par perte de lumière, mais parce que les différents chemins de réflexion du signal contre les parois finissaient par en faire perdre la phase. Cela la rendait encore peu avantageuse par rapport au fil de cuivre traditionnel. Les pertes de phase entraînées par l'usage d'une fibre de verre homogène constituaient le principal obstacle à l'utilisation courante de la fibre optique.

En 1970, trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works de New York, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, produisirent la première fibre optique avec des pertes de phase suffisamment faibles pour être utilisée dans les réseaux de télécommunications (20 décibels par kilomètre ; aujourd'hui la fibre conventionnelle affiche des pertes de moins de 0,25 décibel par kilomètre pour la longueur d'onde 1 550 nm. utilisée dans les télécommunications).

Leur fibre optique était en mesure de transporter 65 000 fois plus d'information qu'un simple câble de cuivre, ce qui correspondait au rapport des longueurs d'onde utilisées. Le premier système de communication téléphonique optique fut installé au centre-ville de Chicago en 1977. En France, la DGT a installé en 1980. [5]. La première liaison optique à Paris entre les centraux téléphoniques des Tuileries et Philippe-Auguste. On estime qu'aujourd'hui Plus de 80 % des communications à longue distance sont transportées le long de plus de 25 millions de kilomètres de câbles à fibres optiques partout dans le monde [évasif]. La fibre optique s'est, dans une première phase (1984 à 2000), limitée à l'interconnexion des centraux téléphoniques, eux seuls nécessitant de forts débits (FigureII.2). Cependant, avec la baisse des coûts entraînée par sa fabrication en masse et les besoins croissants des particuliers en très haut débit, on envisage depuis 1994[6]. Et 2005 sons arrivée même chez les particuliers [7]. : DFA pour desserte par fibre de l'abonné. [8]. FTTH ((en) Fiber To The Home), FTTB ((en) Fiber To The Building), FTTC ((en) Fiber To The Curb), etc.



Figure(II.2) Fibre optique pour réseaux métropolitains

II .3.Principe de fonctionnement

II .3.1.Fonctionnement

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière (Figure II.3). Elle est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine. Le cœur de la fibre a un indice de réfraction légèrement plus élevé (différence de quelques millièmes) que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiple les fois à l'interface entre les deux matériaux (en raison du phénomène de réflexion totale interne). L'ensemble est généralement recouvert d'une gaine plastique de protection.

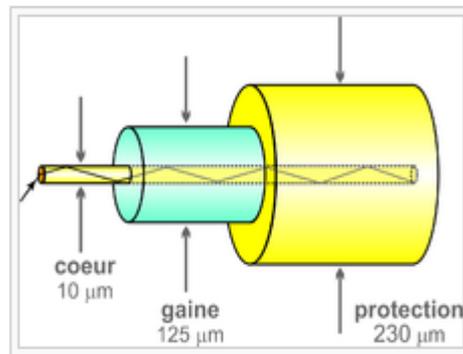


Figure (II.3) la fibre optique

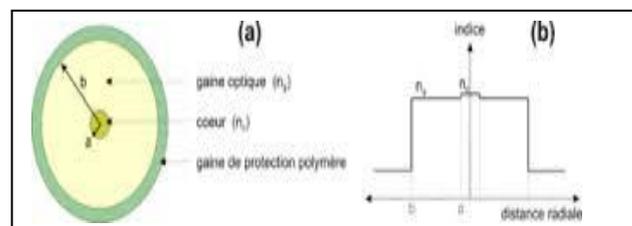
Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique sans perte, en empruntant un parcours en zigzag. La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec très peu de pertes même lorsque la fibre est courbée. Une fibre optique est souvent décrite selon deux paramètres :

- La différence d'indice normalisé, qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur et la gaine :

$$\Delta = \frac{n_c - n_g}{n_c}, \text{ où } n_c \text{ est l'indice de réfraction du cœur, et } n_g \text{ celui de la gaine.}$$

- l'ouverture numérique de la fibre ((en) *numéral aperture*), qui est concrètement le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre pour que la lumière puisse être guidée sans perte, mesuré par rapport à l'axe de la fibre (Figure II.4). L'ouverture numérique est égale à :

$$\sin \theta_{\max} = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$



Figure(II.4) Principe d'une fibre optique à saut d'indice

Il existe essentiellement deux types de fibres optiques qui exploitent le principe de la réflexion totale interne : la fibre à saut d'indice et la fibre à gradient d'indice. Dans la fibre à saut d'indice, l'indice de réfraction chute brutalement d'une valeur dans le cœur à une valeur moindre dans la gaine. Dans la fibre à gradient d'indice, ce changement d'indice est beaucoup plus progressif. Un troisième type de fibre optique utilise le principe de la bande interdite des cristaux photoniques pour assurer le guidage de la lumière, plutôt que la réflexion totale interne. De telles fibres sont appelées des fibres à cristaux photoniques, ou fibres micro-structurées. Ces fibres présentent habituellement un contraste d'indice beaucoup plus élevé entre les différents matériaux (en général la silice et l'air). Dans ces conditions, les propriétés physiques du guidage diffèrent sensiblement des fibres à saut d'indice et à gradient d'indice. Dans le domaine des télécommunications optiques, le matériau privilégié est la silice très pure car elle présente des pertes optiques très faibles. Quand l'atténuation n'est pas le principal critère de sélection, on peut également mettre en œuvre des fibres en matière plastique. Un câble de fibres optiques contient en général plusieurs paires de fibres, chaque fibre conduisant un signal dans chaque sens. Lorsqu'une fibre optique n'est pas encore alimentée, on parle de fibre optique noire.

II.3.2 Système de transmission

Tout système de transmission d'information possède un émetteur et un récepteur. Pour un lien optique, deux fibres sont nécessaires. L'une gère l'émission, l'autre la réception. Il est aussi possible de gérer émission et réception sur un seul brin mais cette technologie est plus rarement utilisée car l'équipement de transmission est plus onéreux. Le transpondeur optique a pour fonction de convertir des impulsions électriques en signaux optiques véhiculés au cœur de la fibre.

À l'intérieur des deux transpondeurs partenaires, les signaux électriques sont traduits en impulsions optiques par une LED et lus par un phototransistor ou une photodiode.

Les émetteurs utilisés sont de trois types :

- les diodes électroluminescentes (DEL), ou LED (light emitting diode), qui fonctionnent dans le proche infrarouge (850 nm),
- les lasers, utilisés pour la fibre monomode, dont la longueur d'onde est 1 310 ou 1 550 nm,
- les diodes à infrarouge qui émettent dans l'infrarouge à 1 300 nm.

Les récepteurs sont les photodiodes PIN (les plus utilisées car elles sont peu coûteuses et simples à utiliser avec une performance satisfaisante) et les photodiodes à avalanche. Pour tous les types de

détecteurs optiques, le principe de fonctionnement est le même : l'effet photoélectrique. Entre les deux transpondeurs, l'information est portée par un support physique (la fibre) appelé le canal de transmission. Au cours de son parcours, le signal est atténué et déformé : des répéteurs et des amplificateurs placés à intervalles réguliers permettent de conserver l'authenticité du message. En général, la modulation du signal optique est une modulation d'intensité lumineuse obtenue par la modulation du signal électrique dans la diode ou le laser.

L'atténuation et la déformation du signal sont des conséquences directes de la longueur du canal de transmission. Afin de conserver le signal optique de la source, les systèmes de transmission optique utilisent trois types d'amplificateurs :

- régénération (amplification seule),
- régénération-reshaping (amplification et remise en forme),
- régénération-reshaping-retiming (amplification, remise en forme et synchronisation).

Il existe des répéteurs à amplification optique (utilisant des verres dopés aux terres rares) ou des répéteurs-régénérateurs électroniques. Les liaisons actuelles utilisent principalement des amplificateurs optiques à fibres dopées erbium et sont entièrement optiques sur des distances pouvant aller jusqu'à 10 000 km. Comme dans tous les systèmes de transmission, on cherche à transmettre dans la même fibre optique un maximum de communications d'origines différentes. Afin de ne pas brouiller les messages, on les achemine sur des longueurs d'onde différentes : c'est le multiplexage en longueur d'onde ou WDM (wavelength division multiplexing). Il existe plusieurs techniques de multiplexage chacune adaptée au type de transmission sur fibre optique (transmission longue distance ou boucle locale par exemple) : Dense WDM (beaucoup de signaux à des fréquences très rapprochées), Ultra WDM (encore plus), Coarse WDM (moins de canaux mais moins coûteux). Désormais, on sait réaliser des réseaux tout-optique, c'est-à-dire qui ne sont pas des assemblages de fibres optiques reliées les unes aux autres par des nœuds électriques. Les commutateurs, les multiplexeurs, les amplificateurs existent en version tout-optique. C'est actuellement un enjeu primordial car la rapidité des transmissions sur fibre optique est telle que les goulots d'étranglement se trouvent désormais dans l'électronique des nœuds des réseaux. [8].

II .4 Développement

II .4.1 Fibre optique de silice

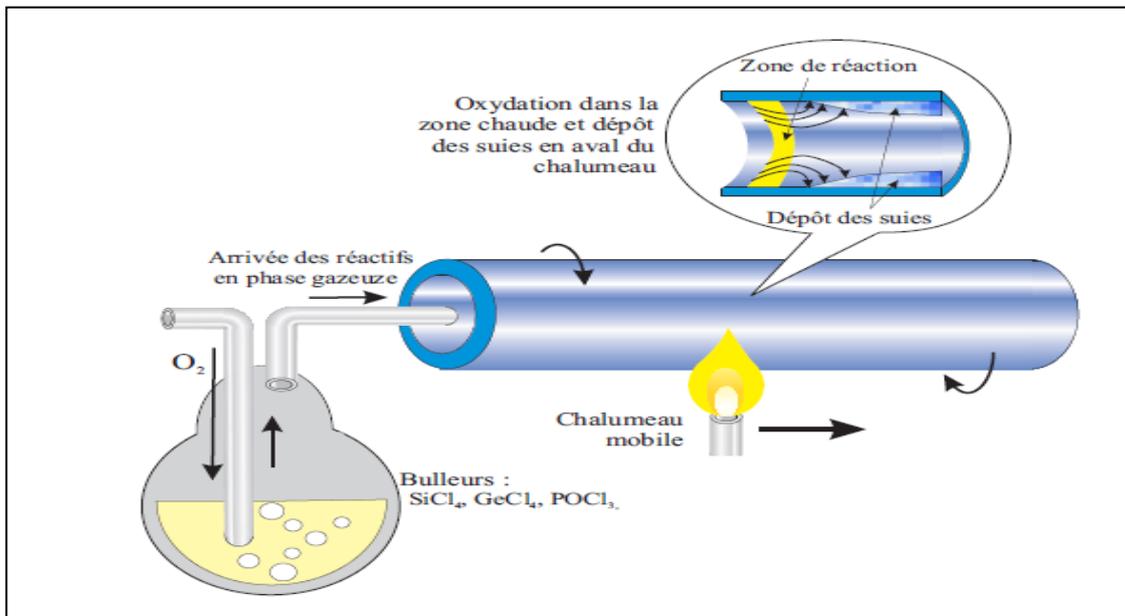
La première étape est la réalisation d'une « préforme » : barreau de silice très pure, d'un diamètre de plusieurs centimètres. Il existe un grand nombre de processus pour concevoir une préforme, des internes comme la méthode PCVD (plasma chemical vapeur de position), ou externes comme la méthode VAD (vapeur axial de position). Le paragraphe suivant décrit la méthode MCVD (modifie chemical vapeur de position, dépôt chimique en phase vapeur modifié) qui est la plus utilisée. Un tube substrat est placé en rotation horizontale dans un tour verrier. Des gaz sont injectés à l'intérieur et vont se déposer à l'intérieur sous l'effet de la chaleur produite par un chalumeau. Ces gaz vont modifier les propriétés du verre (par exemple l'aluminium permet d'augmenter l'indice). Les couches déposées sont ensuite vitrifiées au passage du chalumeau. Ensuite le tube est chauffée à haute température, et va se refermer sur lui-même pour former la préforme. [9]. L'opération de manchonnage permet par la suite de rajouter une couche de silice autour de la préforme pour obtenir le ratio cœur/gaine voulu pour la future fibre. La société ALCATEL a développé une technologie propriétaire APVD (Advanced Plasma and vapeur De position) pour remplacer l'opération de manchonnage qui est très coûteuse. Le procédé APVD (communément appelé recharge plasma) consiste à faire fondre des grains de quartz naturel très pur sur la préforme primaire à l'aide d'un chalumeau plasma inductif. L'association du procédé MCVD et de la recharge plasma pour la fabrication de fibres optiques monomodes a fait l'objet d'une publication en 1994 par la société ALCATEL. Le procédé concerné consiste essentiellement à nourrir le plasma en grains de silice naturels ou synthétiques avec un composé additionnel fluoré ou chloré mélangé à un gaz porteur (Brevet Français n° 2 760 449, Campion Jean-Florent and al).Ce procédé de purification constitue la seule alternative connue rentable aux techniques de dépôt externe. [10].

II .4.2 Fabrication des préformes par MCVD

Nous allons commencer par voir la fabrication des préformes par la technique MCVD. Cette méthode permet de fabriquer une grande variété de préformes. Les dimensions de la fibre résultante, son ouverture numérique, le profil du cœur, peuvent être adaptés simplement aux besoins en modifiant les processus de distribution des réactifs chimiques, contrôlés informatiquement. Le fibrage1 est une réduction d'échelle de la préforme pour donner la fibre optique de diamètre contrôlé. Les compositions des deux guides optiques sont à peu de chose près

identiques. Les paramètres de la fibre optique sont donc choisis lors de la fabrication de la préforme. Le principe de la MCVD consiste à déposer des réactifs d'une grande pureté sur la surface intérieure d'un tube substrat, puis de le rétreindre pour fermer le trou central, jusqu'à former un barreau (Figure II.5). La phase de déposition est basée sur l'oxydation à haute température du SiCl_4 et des autres composants, pour former un verre à haute composition de silice.

Pour réaliser ces opérations, un tube de silice d'un diamètre de l'ordre de 18mm et d'une longueur d'environ 25 cm, est monté horizontalement sur un tour de verrier (dont les mords sont synchronisés). Il est chauffé localement à des températures de l'ordre de 1500°C au moyen d'un chalumeau en translation horizontale le long du tube. Le mandrin entraîne le tube substrat en rotation autour de son axe, à raison de quelques dizaines de tours par minute, afin d'assurer l'homogénéité azimutale du chauffage et de maintenir la symétrie cylindrique. Les réactifs sont stockés dans des bulleurs à l'état liquide.



Figure(II.5) Fabrication des préformes par MCVD

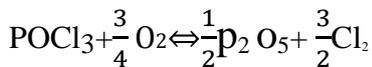
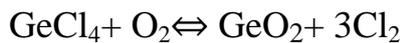
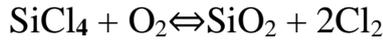
Sous les conditions de pression de vapeur saturante. Nous disposons au laboratoire de bulleurs de GeCl_4 , SiCl_4 , et POCl_3 . En faisant circuler un flux d' O_2 , qui sert de gaz vecteur, on entraîne les composés chimiques en phase vapeur. Ce processus sert d'étape de purification des éléments chimiques. Ils sont alors injectés, en quantité contrôlée, à une extrémité du tube. Le chalumeau parcourt le tube substrat d'amont en aval, créant un point chaud qui se déplace le long du tube. Sous l'effet de la chaleur, les réactifs subissent une réaction d'oxydation au niveau de la flamme.

Des particules de verre submicroniques, des "suies", apparaissent et se déposent en aval, sur la paroi du tube. Le matériau déposé est ensuite densifié, lors du passage de la source.

II .5 Méthodes de fabrication

Chaude, pour former une couche homogène, sur la longueur du tube, d'un verre de qualité optique.

Les réactions d'oxydation qui ont lieu sont les suivantes :



La synthèse à partir du CCl_2F_2 n'est pas directe et demande de multiples réactions d'échanges.

On dépose autant de couches que nécessaire, en contrôlant avec précision le débit des réactifs grâce au flux d'oxygène envoyé dans les bulleurs, pour synthétiser la quantité souhaitée. Le tube substrat est complètement isolé de l'atmosphère extérieure par l'utilisation d'un joint tournant hermétique entre le tube substrat et le circuit d'arrivée des gaz. On évite ainsi la pollution par les impuretés ambiantes et l'eau.

II .5.1 Caractéristiques

Les principaux paramètres qui caractérisent les fibres optiques utilisées pour les transmissions sont les suivants :

✓ .Atténuation

L'atténuation caractérise l'affaiblissement du signal au cours de la propagation. Soient

P_0 et P_L les puissances à l'entrée et à la sortie d'une fibre de longueur L . L'atténuation linéaire se traduit alors par une décroissance exponentielle de la puissance en fonction de la longueur de fibre (Loi de Beer-Lambert) : $P_L = P_0 e^{-\alpha L}$

Où α est le coefficient d'atténuation linéaire. On utilise souvent le coefficient α_{dB} exprimé en dB/km et relié $\alpha_{dB} = 4,343\alpha$

Le principal atout des fibres optiques est une atténuation extrêmement faible. L'atténuation va varier suivant la longueur d'onde. La diffusion Rayleigh limite ainsi les performances dans le domaine des courtes longueurs d'onde (domaine du visible et du proche ultraviolet). Un pic d'absorption, dû à la présence de radicaux -OH dans la silice, pourra également être observé autour de 1385 nm. Les progrès les plus récents dans les techniques de fabrication permettent de réduire

ce pic. Les fibres en silice connaissent un minimum d'atténuation vers 1 550 nm. Cette longueur d'onde du proche infrarouge sera donc privilégiée pour les communications optiques. De nos jours, la maîtrise des procédés de fabrication permet d'atteindre couramment une atténuation aussi faible que 0,2 dB/km à 1 550 nm : après 100 km de propagation, il restera donc encore 1 % de la puissance initialement injectée dans la fibre, ce qui peut être suffisant pour une détection. Si l'on désire transmettre l'information sur des milliers de kilomètres, il faudra avoir recours à une ré amplification périodique du signal, le plus généralement par l'intermédiaire d'amplificateurs optiques qui allient simplicité et fiabilité. Le signal subira des pertes supplémentaires à chaque connexion entre fibres, que ce soit par des traverses ou bien par soudure, cette dernière technique réduisant très fortement ces pertes.

✓ Dispersion chromatique

La dispersion chromatique est exprimée en $\text{Ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ et caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'ondes différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion propre au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil. Pour une fibre en silice, le minimum de dispersion se situe vers 1 300-1 310 nm.

✓ Vitesse de transmission

Le record actuel, en laboratoire, de vitesse de transmission a été établi par NEC et Corning en septembre 2012. Il est de 1 pétabit par seconde. [11].sur une distance de 52,4 km.

✓ Non-linéarité

Un canal de transmission est dit non linéaire lorsque sa fonction de transfert dépend du signal d'entrée. L'effet Kerr, la diffusion Raman et l'effet Brillouin. [12] .sont les principales sources de non linéarité dans les fibres optiques. Parmi les conséquences de ces effets non-linéaires, on peut citer l'auto modulation, des mélanges à quatre ondes intra- et inter-canaux.

✓ Dispersion modale de polarisation (PMD)

La dispersion modale de polarisation (PMD) est exprimée en $\text{Ps}/\text{km}^{1/2}$ et caractérise l'étalement du signal. Ce phénomène est dû à des défauts dans la géométrie des fibres optiques qui entraînent une

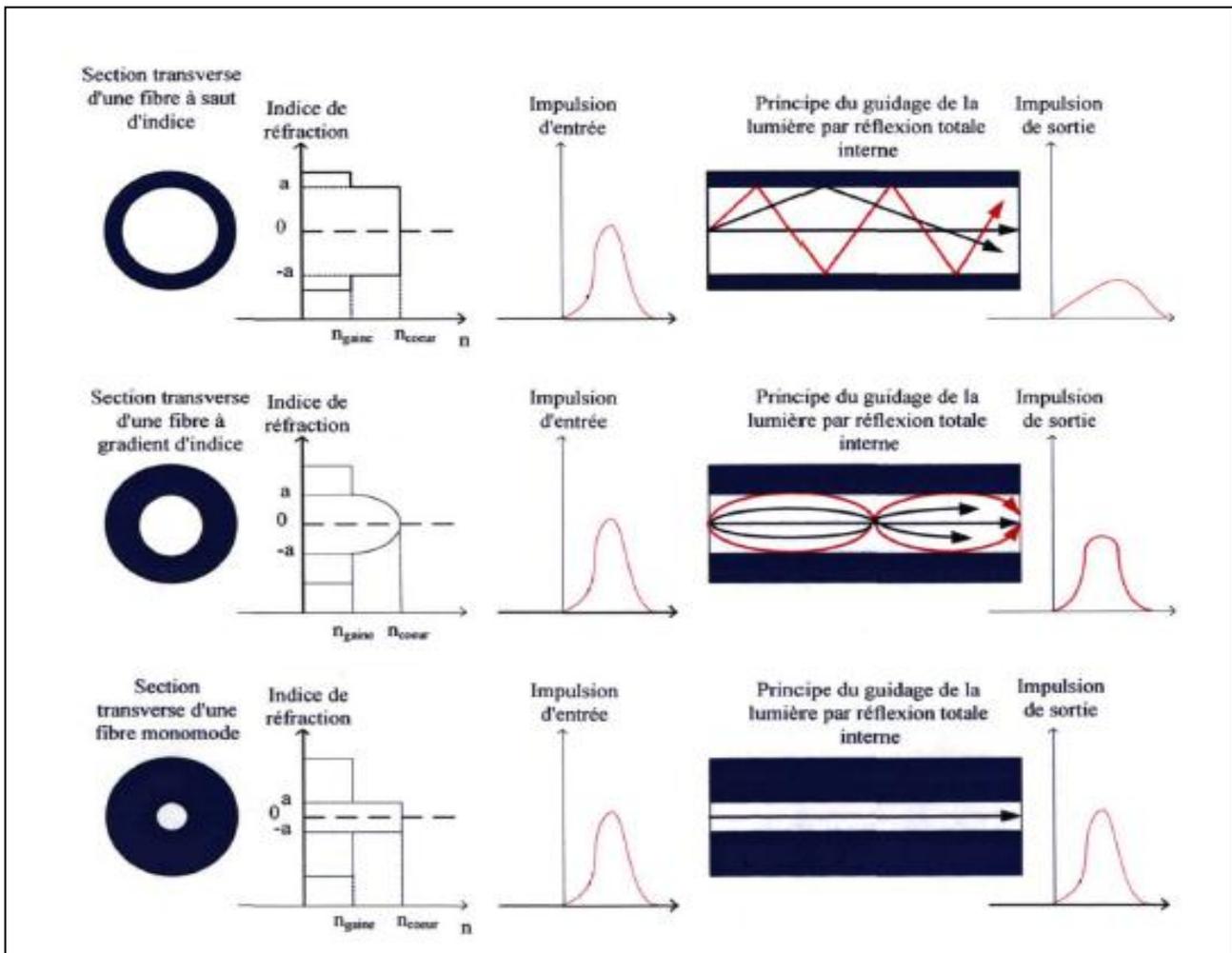
différence de vitesse de groupe entre les modes se propageant sur différents axes de polarisation de la fibre.

✓ Fibres monomodes et multimodes

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée : les fibres monomodes et multimodes.

✓ Fibres multimodes

Les fibres multimodes (dites MMF, pour Multi Mode Fibre), ont été les premières sur le marché. Elles ont pour caractéristique de transporter plusieurs modes (trajets lumineux). Du fait de la dispersion modale, on constate un étalement temporel du signal proportionnel à la longueur de la fibre. En conséquence, elles sont utilisées uniquement pour des bas débits ou de courtes distances. La dispersion modale peut cependant être minimisée (à une longueur d'onde donnée) en réalisant un gradient d'indice dans le cœur de la fibre. Elles sont caractérisées par un diamètre de cœur de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de micromètres (les cœurs en multimodes sont de 50 ou 62,5 μm pour le bas débit) (Figure II.6). Cependant les fibres les plus récentes, de type OM3, permettent d'atteindre le Gbit/s sur des distances de l'ordre du km. Les longues distances ne peuvent être couvertes que par des fibres optiques monomodes.



Figure(II.6) Fibres multimodes et monomodes

✓ Fibres monomodes

Pour de plus longues distances et/ou de plus hauts débits, on préfère utiliser des fibres monomodes (dites SMF, pour Single Mode Fibre), qui sont technologiquement plus avancées car plus fines. Leur cœur très fin n'admet ainsi qu'un mode de propagation, le plus direct possible c'est-à-dire dans l'axe de la fibre. Les pertes sont donc minimales (moins de réflexion sur l'interface cœur/gaine) que cela soit pour de très hauts débits et de très longues distances. Les fibres monomodes sont de ce fait adaptées pour les lignes intercontinentales (câbles sous-marin). Une fibre monomode n'a pas de dispersion intermodale. En revanche, il existe un autre type de dispersion : la dispersion intramodale. Son origine est la largeur finie du train d'onde d'émission qui implique que l'onde n'est pas strictement monochromatique : toutes les longueurs d'onde ne se propagent pas à la même vitesse dans le guide ce qui induit un élargissement de l'impulsion dans la fibre optique.

On l'appelle aussi dispersion chromatique (cf. plus haut « Dispersion chromatique »). Ces fibres monomodes sont caractérisées par un diamètre de cœur de seulement quelques micromètres (le cœur monomode est de 9 μm pour le haut débit).

✓ Longueur d'onde de coupure et fréquence normalisée

La longueur d'onde de coupure est la longueur d'onde λ_c en dessous de laquelle la fibre n'est plus monomode. Ce paramètre est relié à la fréquence normalisée, notée V , qui dépend de la longueur d'onde dans le vide λ_0 , du rayon de cœur a de la fibre et des indices du cœur n_c et de la gaine n_g (voir image 'Principe d'une fibre optique à saut d'indice' pour les notations).

La fréquence normalisée est exprimée par :

$$V = (2\pi a \sqrt{n_c^2 - n_g^2}) / \lambda_0$$

Une fibre est monomode pour une fréquence normalisée V inférieure à 2.405. Des abaques fournissent la constante de propagation normalisée, notée B , en fonction de la fréquence normalisée pour les premiers modes.

La fréquence normalisée donne une indication directe sur le nombre de modes M qu'une fibre multimode peut contenir via l'approximation ci-contre :

$$M = V^2 / 2$$

✓ Fibres spéciales

Il est possible de rajouter certaines caractéristiques aux fibres :

- les fibres dopées contiennent des ions de terres rares ;
- les fibres à maintien de polarisation ;
- les fibres photosensibles.

✓ Connecteur fibre optique

Les fibres peuvent être reliées à des équipements à travers des Connecteur fibre optique. [13].

II .5.2 Conclusion

Ce deuxième chapitre nous a donné l'occasion de nous familiariser avec le sujet de l'étude et de présenter les propriétés et caractéristiques des fibres optiques. Nous nous sommes attardés sur les caractéristiques particulières des fibres optiques plastiques telles que la grande ouverture numérique, l'atténuation élevée aux longueurs d'onde d'utilisation, la forte dispersion et la facilité d'utilisation. Les progrès réalisés dans la fabrication de la fibre optique plastique et sa facilité d'utilisation en font aujourd'hui un candidat idéal pour la conception des réseaux FTTX à coût modique. Il existe plusieurs types de fibre optique plastique, mais la plus répandue et la moins coûteuse est celle en PMMA à saut d'indice de diamètre de cœur de 1 mm (SI-FOP). Ce chapitre constitue un tour d'horizon des fibres optiques. Nous avons défini quelques concepts et paramètres importants pour la compréhension du reste du mémoire. Pour finir, nous avons présenté la FOP commerciale ESKA PREMIER GH4001 de Mitsubishi Rayon qui est modélisée par la suite.

Chapitre III

Application des fibres optiques

Chapitre III

Application des fibres optiques

III.1 Introduction

L'utilisation de fibres optiques pour les télécommunications est aujourd'hui un acquis établi pour le grand public. Depuis plus d'une quinzaine d'années ces technologies développées pour ce marché de masse ont aussi permis l'émergence de nouvelles méthodes de mesure à base de fibre optique. Les avantages des capteurs à fibre optique sont nombreux : avant tout ils présentent une immunité intrinsèque aux champs électromagnétiques (micro-ondes, radio fréquence, champs électromagnétiques élevés...). Ensuite, leur compacité ainsi que leur résistance chimique ou thermique permettent leur utilisation en aéronautique, avionique, industrie nucléaire ou pétrolière, génie civil, agroalimentaire etc. Dans le domaine médical, ces capteurs ont à l'évidence un rôle majeur à jouer notamment pour les protocoles faiblement invasifs. Cependant trop peu d'applications cliniques ont actuellement vu le jour faute de connaissances et d'acceptation de ces nouveaux outils par la communauté médicale.

III.2 Utilisation pour les télécommunications

La fibre optique, grâce aux performances qu'elle offre, est de plus en plus utilisée dans les réseaux de télécommunications. Avec l'essor d'Internet et des échanges numériques, son utilisation se généralise petit à petit jusqu'à venir chez le particulier. Les opérateurs et les entreprises ont été les premiers acquéreurs de fibres optiques (Figure III.1). Elle est particulièrement appréciée par les militaires pour son insensibilité aux IEM (Interférences électromagnétiques) mais aussi pour sa légèreté.



Figure (III.1) Câble sous-marin en fibre optique.

Il faut distinguer les fibres multimodes et monomodes. Les fibres multimodes sont réservées aux réseaux informatiques à courtes distances (Datacenter, entreprises et autres) alors que les fibres monomodes sont installées pour des réseaux à très longues distances. Elles sont notamment utilisées dans les câbles sous-marins intercontinentaux. En arrivant dans les habitations via les réseaux FTTH, la fibre optique apporte une révolution dans les télécommunications aux particuliers, notamment en termes de débits et de services. Une fibre optique est un guide d'onde dans lequel une onde lumineuse est modulée en intensité afin de transmettre des informations. Pour les courtes distances, et une optique à bas-côté, une simple DEL peut jouer le rôle de source émettrice tandis que sur des réseaux hauts débits et à longue distance, c'est un laser qui est de préférence utilisé.

III.2.1 Utilisation dans les réseaux informatiques

Historiquement, les réseaux informatiques locaux ou LAN, qui permettaient de relier des postes informatiques qui jusque-là ne pouvaient pas communiquer entre eux, furent construits avec des câbles réseaux à base de fils de cuivre. Le gros inconvénient de ces câbles est qu'ils sont très sensibles aux perturbations électromagnétiques en tout genre (ascenseurs, courants forts, émetteurs...). Dans des milieux à forte concentration d'ondes, il devenait donc difficile d'utiliser ce type de câbles même en les protégeant par un blindage. Mais surtout, inconvénient majeur : le signal électrique qu'ils transportent s'atténue très rapidement. Si l'on veut relier deux équipements distants ne serait-ce que de quelques centaines de mètres (pour relier deux bâtiments entre eux par exemple), cela devient compliqué car le signal n'est presque plus perceptible une fois arrivé à l'autre bout du câble. Sauf cas particuliers liés notamment à des contraintes électromagnétiques spécifiques, les réseaux locaux (quelques dizaines de mètres) sont généralement réalisés sur du cuivre. Lorsque la distance entre deux machines augmente, il devient intéressant d'utiliser une fibre optique. Une fibre optique peut notamment relier deux bâtiments, ou constituer un maillon d'un réseau informatique local, régional, continental, ou intercontinental. La fibre optique fut très vite introduite dans les réseaux informatiques pour pallier les points faibles des câbles de cuivre. En effet, la lumière qui y circule n'est pas sensible aux perturbations électromagnétiques et elle s'atténue beaucoup moins vite que le signal électrique transporté sur du cuivre. On peut ainsi facilement relier des équipements distants de plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres. Elle reste efficace dans des environnements perturbés et ce, à des débits au moins dix fois supérieurs aux simples câbles réseaux. [14]. Mais pour un prix généralement supérieur.

✓ Type :

Dans les réseaux informatiques, --comme avec la paire de cuivre- les fibres vont souvent par deux : l'interface d'une machine utilise une fibre pour envoyer des données et l'autre fibre pour en recevoir. Toutefois il est possible de réaliser une liaison bidirectionnelle sur une seule fibre optique(Figer III.2).Plusieurs types de fibres optiques sont aujourd'hui utilisés dans les réseaux informatiques :

- Monomode ou multimode.
- Avec des tailles de cœur et de gaine variables. La plus commune : la 50/125, fibre multimode, a un cœur de 50 μm de diamètre pour une gaine de 125 μm .
- Avec des types de connecteurs différents : ST (section ronde à visser), SC (section carrée clipsable), LC (petite section carrée clipsable), ou MTRJ (petite section carrée clipsable).



Figer (III.2) Fibremultimode utilisée dans une liaison Fibre (le connecteur SC a été retiré).

✓ Amplification optique :

Les fibres dopées sont utilisées pour amplifier un signal. On les trouve également dans le laser à fibres (FigureIII.3). Les fibres à double-gaine sont de plus en plus utilisées pour le pompage optique de haute puissance.

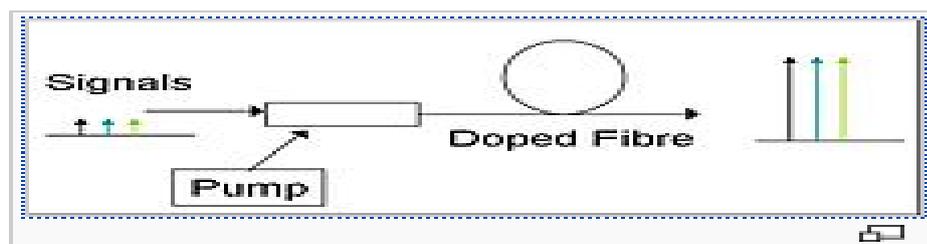


Figure (III.3) dope fibre

✓ Capteurs

À la suite de travaux de recherche dans les années 1980, les fibres optiques peuvent être utilisées dans le domaine des capteurs. [15].

- Le gyromètre à fibre optique est un instrument utilisé par les navires, les sous-marins, les avions ou les satellites pour donner la vitesse angulaire. Il contient des fibres à maintien de polarisation.
- Un réseau de Bragg inscrit dans une fibre optique peut donner des informations de contrainte ou de température.
- Les tapes [16].sont des fibres effilée qui peuvent également servir de capteur.

III.2.2 Domaine de l'éclairage

Dès les années 1970, la fibre optique fut utilisée dans des luminaires décoratifs à variation de couleur. À partir des années 1990, la fibre optique est utilisée pour véhiculer la lumière sur un trajet de quelques dizaines de centimètres depuis une source vers l'objet à mettre en valeur, permettant d'obtenir des éclairages ponctuels et discrets, pouvant être élégamment intégrés à une vitrine de présentation, et offrant l'avantage de rayonner très peu d'infrarouge, limitant ainsi le risque d'élévation de température à l'intérieur de la vitrine, néfaste aux œuvres d'art. Depuis 2012, une entreprise française, ECHY, utilise ce mode de transport pour éclairer les espaces sombres des bâtiments par la lumière du soleil captée sur les toits.

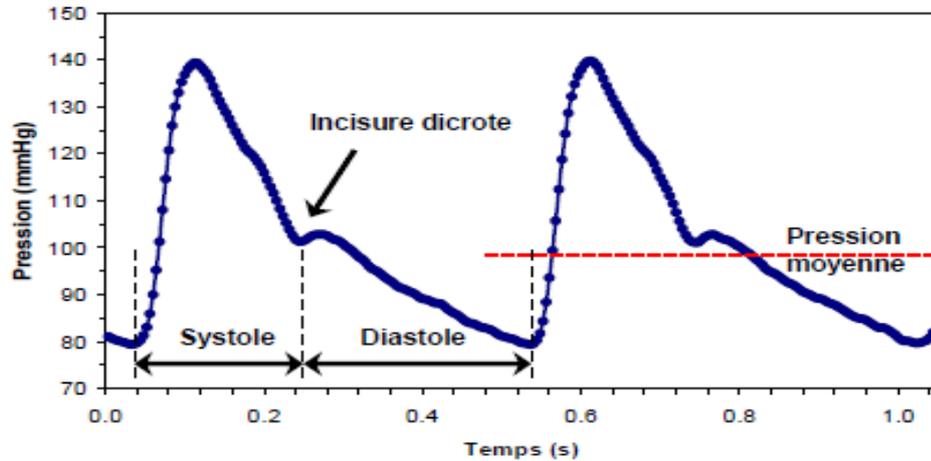
III.3 Défis de l'application médicale

Dans le monde médical, les premiers critères d'acceptation d'une nouvelle technologie sont sa fiabilité et sa reproductibilité, car elle peut mettre en jeu la vie des patients. Les capteurs sont le plus souvent intégrés dans des systèmes complexes de diagnostics cliniques ou des thérapies minimalement invasives. C'est pourquoi leur mise en œuvre dans le domaine médical doit être abordée dans sa globalité. Même si leurs caractéristiques suffisent en elles-mêmes à justifier l'utilisation de capteurs à fibres optiques, plusieurs défis subsistent encore. En termes de fiabilité, les instruments doivent être conçus et encapsulés pour fonctionner dans un environnement clinique. De surcroît, ces équipements seront utilisés par du personnel non spécialisé en optique. Leur utilisation doit par conséquent rester simple et intuitive pour le praticien. Bien souvent ces éléments sont difficiles à traduire en test de laboratoire, ils doivent être validés par des essais cliniques. La contamination est un enjeu majeur en médecine.

Les instruments chirurgicaux sont fréquemment à usage unique. Lorsqu'ils sont réutilisables, ils doivent en général résister à des cycles contraignants de stérilisation par autoclave, qui est le mode de stérilisation présentement le plus répandu dans les hôpitaux. Tous ces aspects doivent donc être pris en compte, de la conception du capteur à son intégration dans l'instrument de chirurgie. L'encapsulation doit être en mesure de protéger la fibre optique et son capteur. Les matériaux utilisés doivent supporter la stérilisation et prévenir la pénétration d'humidité ou autres contaminants lorsque cela est préjudiciable. En dehors des requis spécifiques (utilisation de matériaux biocompatibles, résistance à la stérilisation, stabilité et la précision à long terme du capteur, faible dégradation chimique par les fluides biologiques, qualifications spécifiques demandées aux instruments médicaux...), la notion de coût reste une donnée prépondérante, notamment pour les capteurs à usage unique. À ces contraintes de coût de fabrication, s'ajoute l'obligation de fournir un marché de masse en assurant une qualité irréprochable. En conséquence, l'automatisation de la production est un gage de conformité optimale et de traçabilité totale. D'importants efforts dans ce sens ont été réalisés au cours des dernières années par FISO Technologies qui propose aujourd'hui des capteurs à usage unique ou répétitif pour diverses applications médicales à haut standard.

III.3.1 Capteur de pression pour la cardiologie

Par exemple dans la thérapie de contre-pulsation intra-aortique (intra aorticballoompumping, IABP) qui vise à maintenir la pression cardiaque entre les battements (durant la phase diastolique) et à abaisser la charge sur le cœur lors de la contraction cardiaque (lors de la phase systolique). Cette thérapie est principalement utilisée chez les patients montrant des signes de défaillances cardiaques ou suite à une chirurgie cardiaque. Elle consiste à insérer dans l'aorte, en passant généralement par l'artère fémorale, un cathéter terminé par un ballon que l'on peut gonfler et dégonfler rapidement selon le rythme cardiaque. Il est primordial de parfaitement synchroniser le cycle du ballon avec celui du cœur pour ne pas risquer d'obtenir l'effet contraire à celui recherché. Cette thérapie développée depuis plus de 30 ans se base actuellement sur une synchronisation à l'aide d'électrocardiogrammes d'une part, et d'autre part sur la mesure de la pression cardiaque par transduction fluide à travers un cathéter vers un capteur électrique extracorporel (Figure III.4). Bien que l'électrocardiogramme permette à lui seul d'identifier les phases du cycle cardiaque, il reste que le signal électrique produit par un cœur défaillant n'est pas toujours fiable et qui plus est, il peut être perturbé par l'environnement électromagnétique du patient. La mesure de la pression aortique doit alors se substituer à celle de l'électrocardiogramme. [17-19].



Figur (III.4) Forme de la pression intra-aortique simulée par un générateur de pression Bio-Tek 601A (tachycardie, 2 Hz = 120 bpm) et enregistrée par un capteur de pression à fibre optique FOP-MIV connecté à un appareil PM-250.

La forme de la courbe de pression et en particulier la localisation temporelle de l'incisure dicrote (voir Figure 1) sert à l'identification du début de la phase de relaxation du cœur ou phase diastolique. L'incisure dicrote est en fait une faible diminution de pression aortique causée par un reflux sanguin partiel vers le cœur causant la fermeture de la valve aortique. C'est à ce moment précis que le ballon du cathéter doit être gonflé rapidement pour obtenir le résultat escompté. Le ballon est ensuite dégonflé lorsque la pression aortique s'accroît à nouveau, indiquant la phase de contraction cardiaque ou phase systolique, dont le début est facilement identifiable. La méthode de mesure de la pression par transmission fluïdique dans un cathéter utilisée jusqu'à ce jour est sujette à caution : les phénomènes de dynamique des fluides dans une conduite flexible de petite dimension peuvent dégrader le signal entre le point de mesure désiré (au niveau de l'aorte) et le transducteur de pression externe tel que le montre la Figur (III.5). Ces perturbations proviennent notamment des variations de pression statique (lorsque par exemple le patient s'assoie), des vibrations (surtout présentes en situation d'urgence ou lorsque le patient est transporté), de l'expansion du cathéter, ou de l'amortissement du signal provoqué par la présence inopinée de bulles d'air dans le cathéter. La combinaison de ces divers facteurs déforme l'allure de la courbe mesurée au point de la rendre dans certain cas totalement inutilisable à des fins de synchronisation. Sur la Figure 2, on constate l'impossibilité de localiser l'incisure dicrote à l'extrémité d'un cathéter de 3 m lorsque celui-ci est agité (graphique du bas), alors que cela n'influence en rien les lectures effectuées proche du générateur de pression dynamique (graphique du haut). On comprend bien ainsi l'importance de pouvoir réaliser des mesures in situ de la pression sanguine.

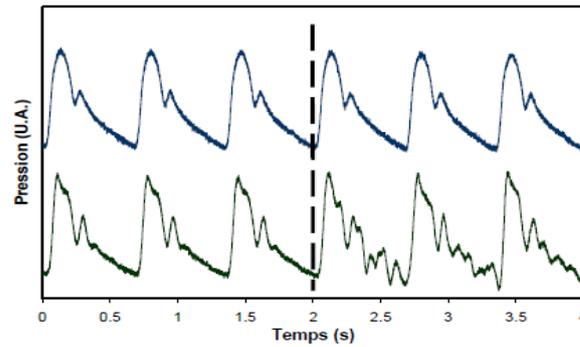


Figure (III.5) Pression intra-aortique simulée par un générateur de pression Bio-Tek 601A (1.5 Hz = 90 bpm) et enregistrée par 2 capteurs de pression FOP-MIV positionnés aux 2 extrémités d'un cathéter médical rempli d'eau de 3 m de long qui est agité pendant 2 s (la ligne verticale indiquant le début des vibrations). Graphique du haut : capteur situé proche du générateur de pression (équivalent à une mesure in situ dans l'aorte). Graphique du bas : capteur situé à l'extrémité externe d'un cathéter (équivalent à une mesure par transduction fluïdique).

De plus pour des raisons physiques associées aux phénomènes dissipatifs, la taille du cathéter à transduction fluïdique ne peut être réduite à l'envi sans compromettre une mesure adéquate de la pression artérielle. Il en résulte un diamètre minimal en deçà duquel la mesure est faussée. Cette limitation majeure provoque un encombrement de l'artère et une restriction du flux sanguin artériel. Les risques d'ischémie qui en découlent constituent la principale complication de la thérapie IABP. Le capteur de pression à fibre optique FOP-MIV développé par FISO (Figure III.6) est suffisamment petit (\varnothing 550 μ m) pour être intégré à l'extrémité d'un cathéter IABP [20], exactement à l'emplacement où la mesure de pression est requise. Dans le profil de pression aortique mesurée, la détection précise de l'incisure dicrote se fait sans ambiguïté (Figure III.5 ou graphique du haut de la Figure III.6). La mesure de pression in situ élimine tous les inconvénients de la mesure de pression par transduction fluïdique. De plus elle permet d'utiliser théoriquement un cathéter de diamètre très inférieur à 7.5 French (soit \varnothing 2.5 mm), taille minimale des plus petits cathéters actuels à transduction fluïdique, ce qui en soit constitué une avancée appréciable pour ce genre de thérapie.



Figure (III.6) Capteur de pression optique FOP-MIV (\varnothing 550 μm) de FISO Technologies disponible commercialement pour applications médicales montré ici dans une seringue épidermique 24 gage.

III.3.2 Médecine

Un type d'endoscope, appelé fibroscope, utilise de la fibre optique pour véhiculer l'image de la zone à explorer jusqu'à l'œil du médecin réalisant l'examen exploratoire.

III.4 Les domaines d'application de l'optique pour les procédés industriels

Les domaines d'utilisation de l'optique sont extrêmement variés et même si chaque procédé industriel utilise une technologie de fabrication similaire, chacun possède le plus souvent sa propre configuration en termes de gestion et de contrôle. Les procédés industriels se caractérisent par des contraintes qui peuvent être particulièrement sévères dans certains domaines d'applications comme par exemple ceux de la chimie ou de l'agroalimentaire. L'environnement d'utilisation est sévère lorsque le procédé fonctionne à haute température ou dans des atmosphères acides ou humides, sachant par ailleurs que le procédé lui-même peut générer chocs et vibrations. Certaines technologies fonctionnant sous vide ou à haute pression, il s'agit aussi de veiller à ce que les paramètres du procédé n'aient aucune influence sur le bon fonctionnement du système optique utilisé. L'absence de sensibilité aux perturbations électromagnétiques des solutions optiques constitue un atout majeur. Cependant, toute l'électronique associée au système optique reste sensible à ce type de phénomènes et la fragilité des capteurs optiques demeure un obstacle. Les solutions optiques doivent également prouver leurs avantages en termes de performances, de coût et de fiabilité.

La maintenance et la durée de vie des équipements sont autant de critères à prendre en compte, car la productivité d'une installation (qui passe par sa disponibilité) représente un enjeu majeur pour les industriels.

III.4.1 Les procédés de fabrication

Ils consistent à utiliser une source lumineuse, que ce soit dans le domaine de l'infrarouge ou l'ultraviolet, comme source d'énergie permettant d'apporter de la chaleur pour transformer ou enlever de la matière. Les sources utilisées sont principalement des lasers ou des lampes UV. Parmi les nombreuses applications, on peut citer l'usinage, les traitements de surface, le soudage, l'assemblage, le marquage, le gavage, la réticulation, la photo polymérisation, la photoactivation, ou encore la stérilisation.

✓ Les lasers :

On exploite l'intensité des lasers pour percer les matières les plus dures, comme le diamant, et pour polir des surfaces rugueuses. Il est possible, en orientant le faisceau, d'effectuer des opérations de très haute précision (découpe, perçage, soudage...). On l'utilise donc pour façonner des pièces de machines, fabriquer des composants microélectroniques ou découper des patrons de vêtements. Le laser est largement utilisé pour l'usinage de pièces (découpe, perçage) ou encore pour réaliser certains traitements de surfaces comme le nettoyage et le décapage de revêtements organiques, le rechargement et les dépôts de matériaux métalliques ou céramiques. Il permet également de marquer ou de graver les produits permettant ainsi une meilleure traçabilité et une gestion de la production améliorée.

Le laser bénéficie de nombreux atouts et son formidable potentiel est encore renforcé par les récentes évolutions des sources dont on peut constater l'extrême diversité (puissance, fréquence, durée des impulsions...). Cette diversité permet d'étendre la gamme des procédés mis en œuvre et leur incessante amélioration en termes de fiabilité augmente encore leur pouvoir d'attraction. Ils se trouvent néanmoins soumis à une concurrence vive de la part de procédés plus traditionnels, souvent moins coûteux, ou de procédés nouveaux (jet d'eau, plasma). Il convient donc de les utiliser en valorisant leurs caractéristiques :

- Ce sont des traitements d'une grande précision (diamètre du spot inférieur au mm) en raison d'une possibilité de focalisation très fine du rayonnement, grâce à sa faible divergence. Ils induisent un faible échauffement global de la pièce et évitent donc une éventuelle dilatation ou déformation de la pièce traitée, et réduisent les modifications de propriétés dues à cet échauffement (zone thermiquement affectée).
- Ce sont des traitements sans contact et sans apport chimique, donc sans polluant externe susceptible de modifier les propriétés des matériaux ou d'entraîner des contaminations.
- Il est facile de modifier des paramètres opératoires (puissance, vitesse, focalisation...) ou de partager le faisceau laser (opération multitâche, multiposte) ; la robotisation des procédés est envisageable et leur contrôle en temps réel possible.

- Ce sont des procédés en général respectueux de l'environnement.

Les principales sources laser utilisées pour la fabrication sont le laser CO₂ et le laser Nd-Yag. Le point faible du laser CO₂ est de ne pas pouvoir utiliser un transfert par fibre optique.

Chaque source possède ses propres caractéristiques et le choix parmi ces sources dépend de l'application visée. Les diodes laser sont aujourd'hui inadaptées pour ce type d'applications car même si elles peuvent fonctionner en mode pulsé, elles délivrent une énergie trop faible dans chaque impulsion, la durée de stockage de l'énergie étant liée à la durée de vie des porteurs. Pour les semi-conducteurs, cette durée de vie est de l'ordre de quelques nanosecondes. Cette valeur est bien inférieure à celle de la durée de vie de fluorescence des ions terres rares (de 10 µs à 1 ms) dans des matrices solides (verres, cristaux). Cependant, la technologie des diodes lasers est la dernière arrivée sur le marché, et son potentiel d'évolution est loin d'être achevé, notamment grâce à leur couplage avec des amplificateurs de lumière qui peuvent les transformer en sources de puissance à impulsions brèves. Les diodes lasers dont les puissances sont grandissantes trouvent leurs applications dans les télécommunications, les traitements de surfaces, le perçage, la découpe, la soudure, mais aussi pour le stockage d'information (CD, DVD), les imprimantes, l'éclairage (avec les diodes blanches) et le pompage d'autres lasers.

III.5 Applications diverses

La fibre optique est utilisée dans le domaine de la médecine pour filmer des endroits sensibles ou inaccessibles du corps humain, du fait de la réalisation de caméra et de câbles de très petite taille.

Avec de la fibre optique on peut calculer la distance d'un objet par rapport à un autre, des vitesses de rotation, des vibrations. Mais tous ces petits systèmes sont plus précis que les autres systèmes de même utilité mais utilisant d'autre technologie de détection.

Pour finir, on peut citer une utilisation qui n'offre aucune utilité à part celle de l'esthétique et de la décoration, ce sont les « fleurs » en fibres optiques dont leurs extrémités brillent de toutes les couleurs.

III.6 Les avantages et les inconvénients de la fibre optique

III.6.1 Les avantages

Les fibres optiques présentent donc plusieurs avantages sur leur homologue le cuivre. Nous pouvons débiter la longue liste en nommant évidemment la vitesse ; comme nous l'avons amplement expliqué, la lumière qui voyage dans la fibre se propage à près de 300000 km/s, ce qui crée une vitesse de transmission relativement instantanée. La seule restriction sur la vitesse se trouvant être la dispersion .

La rapidité des fibres reste incontestablement plus grande que celle des fils de cuivre. Le deuxième grand avantage des fibres est la légèreté des matériaux utilisés pour leur Conception. Un câble optique pèse beaucoup moins qu'un câble de cuivre. Ceci, en Conjonction avec le type des matériaux utilisés, rend l'utilisation et la manipulation des fibres Optiques énormément plus faciles et avantageuses.

De plus, cette légèreté ne signifie pas nécessairement la fragilité. La gaine protectrice du câble accomplit très bien sa tâche en rendant ce moyen de communication très rigide et Très peu corrosif. Par exemple un câble optique de 62.5 micromètres peut soutenir une charge de près de 150 livres.

Il a aussi été observé plusieurs fois que la fibre optique est plus rentable à long terme Que le fil de cuivre. La manutention est beaucoup moins nécessaire ce qui donne la possibilité d'établir un réseau plus fiable, plus rentable, et surtout, plus efficace.

Un troisième avantage majeur est que le signal qui voyage dans la fibre est insensible aux champs magnétiques ou divers bruits pouvant créer une distorsion sur les signaux Voyageant dans des fils de cuivres. Nous venons de citer les avantages de la fibre optique par rapport aux moyens de Transmission usuels, examinons maintenant les inconvénients que la fibre comporte.

III.6.2 Les inconvénients

Par contre, il reste deux problèmes majeurs que les fibres optiques ne règlent pas, bien Qu'elles aident à les diminuer grandement. Premièrement, il y a ce qu'on appelle l'atténuation, ou la perte de force du signal lumineux. Les ondes voyageant sous forme de flux dans une fibre ne sont pas toutes alignées et parallèles ; elles ont toutes une même direction générale, mais n'ont pas toutes le même parcours.

Ceci fait que chaque onde ne se reflète pas au même moment et qu'il peut donc arriver que, à la suite de plis ou de virages dans le câble, une certaine quantité d'ondes lumineuses, ayant dépassé l'angle critique, soit perdue. La force du signal final est moindre que celle du signal initial dû à la perte de certaines ondes lumineuses.

Pour une fibre optique commerciale, l'atténuation est calculée en décibels par kilomètre (dB/km), soit la quantité de décibels perdus au cours d'un kilomètre, et peut varier de 0,5 dB/km jusqu'à 1000 dB/km pour un câble à noyau large.

Le deuxième problème majeur découlant aussi du non parallélisme des ondes est la dispersion. Si une onde voyage en zigzag, rebondissant d'un côté à l'autre du noyau, elle parcourt beaucoup plus de distance qu'une onde voyageant en ligne droite. En faisant un plus long

parcourt pour la même vitesse de propagation, elle prend du retard sur celle qui voyage en ligne droite.

Ceci crée le phénomène d'allongement du signal, ou de dispersion dans le temps. Dans le cas où un deuxième signal serait émis trop rapidement derrière le premier, il pourrait se créer une superposition où le récepteur ne saurait plus différencier les deux signaux. On appelle largeur de spectre la fréquence maximale à laquelle on peut émettre des signaux successifs sans avoir de superposition.

Par contre, il est possible de réduire ce problème en réduisant le diamètre du noyau.

Plus celui est petit, moins les ondes voyageant en zigzag prennent de retard sur les autres, et plus la largeur de spectre ne peut être grande. [22].

III.7 Conclusion

En conclusion, les capteurs à fibre optique représentent un domaine en plein essor. Comme le montrent les données prévisionnelles d'évolution du marché, le secteur est promis à une belle croissance pour les années à venir, avec une démocratisation des usages en lien avec les applications disponibles actuellement, et possiblement le développement de nouvelles applications.

Les capteurs à fibre optique semblent ainsi pouvoir toucher tout type de mesure, en apportant des caractéristiques techniques et fonctionnelles bien plus intéressantes que pour les capteurs traditionnels. La démocratisation des usages passe cependant par une phase de découverte, de compréhension et d'adaptation de ces technologies pour des marchés de plus en plus diversifiés, pour lesquels les acteurs clés n'ont pas toujours les compétences nécessaires à l'implantation de tels capteurs. Les projets collaboratifs sont ainsi un levier très intéressant pour faire émerger de nouvelles applications, et opérer un transfert de compétences des centres d'excellences et industriels spécialisés, vers de nouveaux acteurs positionnés sur les marchés d'application potentiels.

Conclusion générale

Conclusion générale

Avec les développements croissants des télécommunications et des nouvelles technologies, nous entendons beaucoup parler de fibres optiques. Mais qui sait vraiment ce qu'elles sont et à quoi elles servent. Les premières expérimentations de transmission par fibre optique se développent rapidement et dès le début de 1980 l'exploitation des liaisons par fibre optique commence dans les pays industrialisés. En même temps que les premiers systèmes apparaissent, la technologie se développe et avec le minimum d'atténuation se déplace l'information. Ces progrès offrent de nouvelles perspectives c'est ainsi qu'apparaissent les premières liaisons interurbaines et sous-marines.

Dans ce mémoire nous avons mis un pas modeste pour l'étude des liaisons par fibre optique reliant deux structures qui est devenu courant dans les pays développés c'est un sujet d'actualité. Vu les grands avantages qu'offre ce genre de liaisons.

Où nous avons évoqués au début des notions sur la lumière et des généralités sur cet ancien et nouveau, en même temps, support de transmission qui fait l'objet de différentes recherches et études sur ces caractéristiques physiques, ainsi que les différents types de fibre qui existe.

Bibliographie

Bibliographie

[1] sur le site mediadico.com - consulté le 11 octobre 2012

[2] http://www.lyceelafayette.fr/IMG/pdf/Conducteurs_et_cables_prof.pdf

[3] David Fedullo ; Thierry Gallauziaux, <<le grand livre de l'électricité >>, version ebook-livre électronique [223-227]

[4] D. Colladon, "Sur les réflexions d'un rayon de lumière à l'intérieur d'une veine liquide parabolique," Comptes Rendus 15, 800 (1842) La fontaine laser (laboratoire de physique des lasers).

[5] Michel de Vecchis, « Liaison d'essai à 34 Mb/s sur fibre optique entre deux centraux parisiens », Commutation et Transmission, janvier 1981, p. 13-24

[6] Livre blanc sur les autoroutes de l'information 1994

[7] 5.5 millions de nouveaux abonnés à la fibre optique
(<http://blog.pixmania.com/high-tech/2881-la-fibre-optique.html>), blog Pixmania

[8] desserte par fibre de l'abonné (<http://www.franceterme.culture.gouv.fr/FranceTerme/recherche.html?NUMERO=TELE498>), sur le site franceterme.culture.gouv.fr

[9] Système de transmission (<http://fibrenoireparis.fr/présentation/le-système-de-transmission-sur-fibre-optique/>), sur le site fibrenoireparis.fr

[10] Étude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique, Julien Maury, Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Limoges, 2003 (lire en ligne (<http://www.unilim.fr/theses/2003/sciences/2003limo0043/these.html>))

[11] (en) NEC and Corning achieve petabit optical transmission
(<http://optics.org/news/4/1/29>), sur le site optics.org du 22 janvier 2013

[12] voir Marc Niklès, la diffusion Brillouin dans les fibres optiques : étude et application aux capteurs distribués,
1997. (<http://infoscience.epfl.ch/recod/32151/files/EPFL-TH1674.pdf>)

[13] Compte rendu des débats, Conseil de l'Europe. Assemblée parlementaire.
Council of Europe, 1994 (<http://books.google.fr/books?>

[14] *Compte rendu des débats, Conseil de l'Europe. Assemblée parlementaire. Council of Europe, 1994* (<http://books.google.fr/books?>)

[15] Réseaux de capteurs à fibres optiques (<http://www.techniquesingenieur.fr/book/r460/reseaux-de-capteurs-a-fibres-optiques.html>)

- [16] [Passive fiber-optic components made by the fused biconical taper process](http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1943) (<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1943> 1351), sur le site/cat.inist.fr
- [17] Kantrowitz A. et al. (1968) J. Am. Med. Assoc., Vol. 203(2), pp 135-140, "Initial clinical experience with intra Aortic balloon pumping in cardiogenic shock".
- [18] Maccioli G. A. et al. (1988) J. Cardiothoracic Anesthesia, Vol. 2(3), pp 365-373, "The intra-aortic balloon pump: a review".
- [19] Torchiana D. F. et al (1997) J. Thor. Cardio. Surg., Vol. 113(4), pp 758-769, "Intraaortic balloon pumping for cardiac support: trends in practice and outcome, 1968 to 1995".
- [20] Pinet É. et al. (2005) Proc. of SPIE (OFS-17, Brugges), Vol. 5855, pp 234-237, "Miniature fiber-optic pressure sensor for medical applications: an opportunity for intra-aortic balloon pumping (IABP) therapy".
- [21] Jean Jerphagnon, << Procédés industriels >>, [10-11], traité et imprimé par Jouveavril 2004.
- [22] Mémoire de magister , << Etude d'une structure de liaison par fibre optique : caractérisation de la propagation bilan énergétique >>, Soutenu le 2009.
-

Résumé

Ce travail concerne l'étude des effets dispersifs et non-linéaires sur la propagation d'impulsions ultracourtes dans différents types de fibres optiques. L'équation de Schrödinger non-linéaire généralisée modélise les différents phénomènes physiques rencontrés lors de la propagation de ces impulsions. La solution analytique du régime dispersif (ou non-linéaire) pris séparément permet d'obtenir l'impulsion exacte de sortie. Si les deux régimes sont pris en considération simultanément, la solution analytique s'avère inaccessible sauf pour le cas particulier du soliton. La méthode de Fourier Split Step (SSFM) est souvent utilisée pour déterminer la solution numérique. Nous avons utilisé cette technique numérique pour simuler et déterminer les impulsions de sortie pour différents paramètres de la fibre et de l'impulsion d'entrée.

Abstract

This study is about of the dispersive and nonlinear effects on the ultra-short pulses propagation in different types of optical fibers. The generalized nonlinear Schrödinger equation is an important model describing the different physical phenomena encountered when ultra-short pulses propagate through the optical fibers. The analytical solution of the linear (or non-linear) regime when taken alone, describes the exact output pulse. If the two effects have been considered, analytical solution remains inaccessible except for the special case of solution. The Split Step Fourier Method (SSFM) is usually used to determine the numerical solution. We have used this numerical technique to simulate the ultrafast pulses propagation for different parameters of the optical fiber and of the input pulse.

ملخص

نلخص دراسة هذا المشروع وبصورة عامة إلى دراسة تقنية الألياف البصرية من حيث مكوناتها. استخداماتها ومميزاتها ويركز في الأساس على استخدام تقنية الألياف البصرية في مجال هندسة الاتصالات وتطبيقاته وبالخصوص المراحل الغير خطية والمتشعبة لانتقال الضوء عبر الليف البصري ونمط معادلة شرودي نغر' وكذلك دراسة محاكاة أشكال الذبذبات القصيرة جدا بمعرفة إشارة الدخول والخروج بواسطة الليف البصري.