

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



Université de Ghardaia

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies  
Département des Sciences et Technologie

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

**MASTER**

**Domaine :** *Sciences et Technologie*

**Filière :** *Automatique*

**Spécialité :** *Automatique et systèmes*

**par :**

GHABANI Abdelillah El-heithem

MOULAY Omar Mustafa

**Thème**

**ETUDE DE LA STABILITE  
DU LASER**

Devant le Jury :

<b>M<sup>r</sup> : B. LADJAL</b>	<b>Pof</b>	<b>Univ de Ghardaia</b>	<b>Président</b>
<b>M<sup>r</sup> : M.ARIF</b>	<b>MAA</b>	<b>Univ de Ghardaia</b>	<b>examinateur</b>
<b>M<sup>r</sup> : A.KIFOUCHE</b>	<b>MAA</b>	<b>Univ de Ghardaia</b>	<b>examinateur</b>
<b>M<sup>r</sup> : K.BITEUR</b>	<b>Prof</b>	<b>Univ de Ghardaia</b>	<b>examinateur</b>

Année universitaire 2018/2019

# Remerciement

*Nos sincères remerciements s'adressent à Allah. Le grand merci lui revient, pour son aide et la volonté qu'il nous a donné pour surmonter tous les obstacles et les difficultés durant nos années d'études et de nous avoir éclairé notre chemin afin de réaliser ce modeste travail.*

*Nous remercions Mr. Bitem pour avoir accepté de diriger cette thèse*

*En même titre nous remercions tous les membres du jury qui se sont fait un honneur d'accepter et de lire cette thèse*

*Nous ne pouvons pas terminer sans remercier tous les enseignants, tous les collègues qui nous ont aidés et qui nous ont entièrement soutenus au cours des dernières années.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire ...*

*A la femme qui m'a mis au monde, celle qui a sacrifié tout  
pour moi*

*Son temps, son bonheur, sa santé : ma mère, le noyau de mon  
esprit*

*A mon père, source d'énergie de ma réussite,*

*Ecole de mon éducation et principe de la vie,*

*Que DIEU les préserve pour moi.*

*A mes chers frères : Tassnim Sanooma.*

*A toutes mes familles.*

*A mon binôme M. Moustafa.*

*A mes chers amis. B. Zohir, M. Yacine, L. Oussama*

*Et à tous ceux qui me sont chères.*

*Ghabani Abd El Allah El Heitham.*

## **Résumé :**

Cette thèse représente l'étude de la stabilisation d'un laser à semi-conducteur dans une liaison de télécommunication optique.

.Dans la partie théorique, nous avons faire une clarification sur les semi-conducteurs a une liaison de télécommunication par fibre optique requiert la génération du signal, la propagation et la détection en réception.

Elles sont assurées par l'interface optique d'émission qui a pour le rôle de transforme le signal électrique en signal optique. Il contient principalement le composant optoélectronique d'émission, qui peut être une diode électroluminescente DEL ou une diode LASER.

Dans ce travail, nous nous sommes focalisés plus particulièrement sur l'étude des effets de la température sur la variation des caractéristiques du laser.

Dans la partie simulation de ce mémoire fait appel au logiciel MATLAB permettant connaître les éléments essentiels agissant directement sur la stabilisation d'un laser.

## **Abstract :**

This thesis represents the study of the stability of a semiconductor laser in an optical telecommunication link.

In the theoretical part, we have a clarification on Semiconductors to an optical fiber telecommunication link require signal generation, propagation and reception detection.

They are provided by the optical transmission interface which has for the role of transforms the electrical signal into an optical signal. It mainly contains the emission optoelectronic component, which may be a LED or a LASER diode.

In this work, we focused more particularly on the study of the effects of temperature on the variation of the characteristics of the laser.

In the simulation part of this memory uses the MATLAB software to know the essential elements acting directly on the stability of a laser.

## تلخيص:

تمثل هذه الأطروحة دراسة استقرار اداء الليزر و أشباه النواقل في روابط الاتصالات ضوئية.

قدمنا في الجزء النظري , توضيح حول ما تتطلبه أشباه النواقل عبر روابط اتصالات الألياف الضوئية , لتوليد الإشارات وانتشارها واستقبالها.

يتم استخدام أشباه النواقل من خلال واجهة الضوء بصرية التي تقوم بدورها بتحويل الإشارة الكهربائية إلى إشارة ضوئية ويحتوي بشكل أساسي على مكون الإلكتروضوئية الانبعاثات ، والتي قد تكون الصمام الثنائي (DEL) أو الصمام الثنائي ليزر (DL).

في هذا العمل، ركزنا بشكل خاص على دراسة تأثيرات درجة الحرارة على تباين خصائص الليزر.

وفي الجزء العملي من المذكرة ، استخدمنا برنامج MATLAB لمعرفة العناصر الأساسية التي تؤثر مباشرة على استقرار الليزر في أدائه.

# Liste des figures

<i>N° de figure</i>	<i>Nom de figure</i>	<i>Page</i>
<b><i>I.1</i></b>	Diagrammes énergétiques pour les trois types de matériaux	5
<b><i>I.2</i></b>	(a) semi-conducteur à gap direct, (b) semi-conducteur à gap indirect.	6
<b><i>I.3</i></b>	Diagrammes des atomes de silicium et de cuivre	7
<b><i>I.4</i></b>	Interaction rayonnement - semi-conducteur	9
<b><i>I.5</i></b>	Absorption (a), émission spontanée (b) et émission stimulée (c) d'un photon par un semi-conducteur	10
<b><i>I.6</i></b>	schéma d'un système laser	11
<b><i>I.7</i></b>	Structure de la diode bleue à base de GaN	15
<b><i>II.1</i></b>	Schéma représentatif d'une chaîne de télécommunication optique	16
<b><i>II.2</i></b>	schéma d'une fibre optique	17
<b><i>II.3</i></b>	Propagation des ondes dans une fibre multimode à saut d'indice	18
<b><i>II.4</i></b>	Propagation des ondes dans une fibre multimode à gradient d'indice	19
<b><i>II.5</i></b>	Propagation du mode fondamental dans une fibre monomode	19
<b><i>II.6</i></b>	Schéma simplifié d'une LED	24

<b>II.7</b>	La diode LASER	25
<b>II.8</b>	L'effet laser	26
<b>II.9</b>	Modulation directe	27
<b>II.10</b>	Modulation externe	27
<b>II.11</b>	Un récepteur optique (photo détecteur)	28
<b>II.12</b>	Photo diode PIN	29
<b>III.1</b>	Caractéristique de transfert pour différentes températures	37
<b>III.2</b>	Caractéristique d'atténuation typique d'une fibre optique en silice	43
<b>III.3</b>	Evaluation du paramètre de dispersion chromatique de la silice pure en fonction de la longueur d'onde	45
<b>IV.1</b>	Environnement MATLAB	50
<b>IV.2</b>	Représentation de la GAP pour différente structure	52
<b>IV.3</b>	Variation de la longueur d'onde pour le GA IN AS P	53
<b>IV.4</b>	Variation de la longueur d'onde pour le GA AL AS	53
<b>IV.5</b>	Variation de la longueur d'onde pour le GA AS	54
<b>IV.6</b>	Distribution de Fermi-Dirac pour différentes températures	55

<b>IV.7</b>	Variation du courant de seuil en fonction de la température pour différentes structures	56
<b>IV.8</b>	puissance optique en fonction de la température pour différentes structures	60

# Liste des tableaux

<i>N<sup>o</sup> de Tableau</i>	<i>Nom de tableau</i>	<i>Page</i>
<b>II.1</b>	Caractéristiques de quelques fibres	20
<b>II.2</b>	Caractéristiques générales des fibres uni modales et multimodes	21
<b>II.3</b>	Comparaison des caractéristiques des photodiodes PIN et PDA	30
<b>III.1</b>	Donnant $E_g$ à 0°K et 300°K	33
<b>III.2</b>	Températures caractéristiques de quelques systèmes laser	36
<b>III.3</b>	Les critères de fiabilité requis dans les différents systèmes de transmission (DEL, DL)	38
<b>IV.1</b>	Courant de seuil à 300 °K pour différentes structures	58
<b>IV.2</b>	Variation de courant $I_0$ pour différentes structures	58
<b>IV.3</b>	Variation de la puissance et du courant de seuil pour GA AS IN P	58
<b>IV.4</b>	Variation de puissance et du courant de seuil pour GA AL AS	59
<b>IV.5</b>	Variation de la puissance et du courant de seuil pour GA AS	59
<b>IV.6</b>	Variation de $r_{in}(f)$ et $RIN(f)$	61

# Liste des abréviations

**GaN:** Le nitrure de galium.

**GaAs:** Arsenide de galium.

**Si:** silicium.

**Mg:** magnésium

**ZCE:** La Zone de Charge d 'Espace.

**DEL:** diodes électroluminescentes.

**DL:** diode laser.

**gap Eg:** GAP energie

**(Nd-YAG, YAG KTP):** ( Neodymium -doped Yttrium Alumium Garnet).

**APD:** photodiodes à avalanches.

**PIN:** positive -intrinsèque- negative photodiode

**l'UIT-T:** Union Internationale Télécommunications- secteur de la normalisation de télécommunication.

**GaInAsP:** Galium Indium Arsenide Phosphide .

**PN:** Positive - Negative

**RIN :** relatif intensity noise

# Table des matières

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

## CHAPITRE I : les semi-conducteurs et les composants optoélectroniques

I.1) Introduction .....	3
I.2) Conducteurs-isolants-semi-conducteurs .....	3
I.2.1) Isolants .....	3
I.2.2) Conducteurs .....	3
I.2.3) Semi-conducteurs.....	3
I.2.4) Bandes d'énergie.....	4
2.4.1) Gap direct et indirect .....	5
2.4.2) Comparaison entre l'atome d'un semi-conducteur et l'atome d'un conducteur.....	6
I.3) Différents types de semi-conducteurs.....	8
I.3.1) Semi-conducteur intrinsèque.....	8
I.3.2) Semi-conducteurs extrinsèques.....	8
I.3.3) Interaction rayonnement - semi-conducteur.....	8
3.3.1) Absorption fondamentale.....	8
3.3.2) Emission spontanée.....	8
3.3.3) Emission stimulée.....	9
I.3.4) Matériaux pour l'optoélectronique.....	9
I.4) Applications des semi-conducteurs.....	10
I.4.1) Les lasers.....	10
4.1.1) Définition.....	10
4.1.2) Caractéristique de la lumière laser.....	11
4.1.3) Les applications de lasers.....	13

4.1.4) Structure de la diode bleue à base de GaN.....	14
I.5) Conclusion.....	15

## **CHAPITRE II : la chaine de transmission optique et les sources optiques**

II.1) Introduction.....	16
II.2) La ligne de transmission optique .....	16
II.2.1) Fibre optique.....	16
II.2.2) Différents catégories de fibre optique.....	17
2.2.1) Fibre multimode.....	17
2.2.2) Fibre monomode.....	19
2.2.3) Les avantages et les inconvénients.....	21
II.3) Système de transmission par fibre optique.....	22
II.3.1) Emetteur .....	22
3.1.1) Sources optique.....	23
3.1.2) Principe de fonctionnement du LASER.....	25
3.1.3) La modulation.....	26
3.1.4) Comparaison .....	28
II.4) Récepteur optique.....	28
II.4.1) La photodiode PIN.....	29
II.4.2) La photodiode APD.....	29
II.5) Conclusion.....	30

## **CHAPITRE III :Etude de la stabilité thermique du laser**

III.1) Introduction.....	32
III.2) Variation des caractéristiques du laser en fonction de la température.....	32

III.2.1) Effet de la température sur l'occupation des états électronique (statistique de fermi)	32
III.2.2) Effet de la température sur le semi-conducteur constituant le laser	32
III.2.3) Effet de la température sur le spectre d'émission	34
III.2.4) Effet de la température sur le courant de seuil et la puissance émise	35
III.2.5) Effet de la température sur la fiabilité du LASER	37
III.3) Bruit dans le laser	39
III.3.1) Bruit d'amplitude ou d'intensité	39
III.3.2) Bruit de fréquence ou de phase (largeur de raie)	41
III.4) Influence du décalage spectral sur les caractéristiques de la fibre	42
III.4.1) Introduction	42
III.4.2) L'affaiblissement	42
III.4.3) Diffusion (Rayleigh)	42
III.4.4) Absorption	43
III.4.5) Bande passante	44
III.5) L'influence des variations des caractéristiques de la source sur le module Récepteur	45
III.5.1) Introduction	45
III.5.2) L'influence du décalage spectral de la source sur le photo-détecteur	46
III.5.3) Effet de la puissance émise sur le rapport signal/bruit coté réception	46
III.6) Conclusion	47

## **CHAPITRE IV :Simulation et interprétations des résultats.**

IV.1) Introduction	49
IV.2) Etude avec Matlab	49
IV.2.1) Introduction	49
IV.2.2) Influence de la température sur la bande interdite (gap)	51
IV.2.3) Influence de la température sur la longueur d'onde	52

IV.2.4) Effet de la température sur l'occupation des états électroniques (statistique de fermi) .....	54
IV.2.5) Effet de la température sur le courant de seuil .....	55
IV.2.6) Puissance optique .....	56
IV.2.7) Bruit d'amplitude ou d'intensité .....	61
IV.3 Conclusion .....	61
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>62</b>

---

# Introduction

---

## **Introduction générale :**

Le marché du semi-conducteur prend une place importante dans l'économie mondiale en raison de sa taille et de sa pénétration dans le marché des affaires. Ceci tient aux progrès remarquables accomplis par les systèmes intégrés sur silicium au cours de ces vingt dernières années, ce qui a permis un accroissement considérable de leur complexité. A titre d'exemple, le taux d'intégration, qui représente le nombre de transistors par puce, a été multiplié par un facteur  $\approx 10^4$  à  $10^5$  et le nombre d'instructions par seconde (MIPS : Millions of instructions per second) par un facteur  $10^3$ . L'impact de cette intégration sur les performances (c'est-à-dire leur vitesse et leur consommation) et sur le prix des composants a ouvert de nouveaux marchés comme la téléphonie mobile, les ordinateurs portables, les caméras vidéos, les appareils photos numériques, le porte-monnaie électronique, etc.. Ainsi, les systèmes intégrés jouent un rôle de plus en plus important dans la société contemporaine en exécutant un nombre considérable de fonctions intelligentes.

Les besoins en hauts-débits augmentent continuellement, il est nécessaire d'avoir un support physique capable de fournir une bande passante la plus élevée possible et ce sur de grandes distances. Un phénomène physique est capable de respecter ces contraintes : la lumière qui est capable de transporter les informations via la fibre optique.

L'apparition de la fibre optique a totalement révolutionné le monde des télécommunications. La conception de systèmes de transmission à très grande capacité est désormais possible. De plus, les échanges à travers ces systèmes va être de plus en plus nombreux et la demande de services de plus en plus élevée. Il en résulte un bouleversement des réseaux de télécommunications précédents et un besoin de mettre en place de nouvelles structures. Il est aujourd'hui probable que pour le prochain siècle, les progrès apportés devraient changer profondément notre société aussi bien dans le domaine social que dans le domaine culturel, médical, économique, ou encore dans celui du transport et de la communication et donc accroître notre niveau de vie.

---

Le chapitre I a décrit les composants de base d'une liaison de transmission optique; le laser a été étudié en détail dans le chapitre II. Le chapitre III est consacré à l'analyse approfondie de la stabilisation laser en température, Dans le chapitre IV nous avons fait la simulation d'une diode laser en température dans le but de calculer l'influence de la température en fonction de différent paramètres : la longueur d'onde ; la variation de la longueur d'onde pour différentes structures ; la variation du courant de seuil en fonction de la température ; le rapport signal sur bruit à l'extrémité de la liaison optique.

---

# Chapitre I

**I.1) Introduction :**

La technologie de l'information et de communication est en évolution rapide grâce à l'industrie des semi-conducteurs et le domaine optoélectronique, qui touche les phénomènes optiques en relation avec les porteurs de charges généralement dans les semi-conducteurs et qui exploite essentiellement les phénomènes d'électroluminescence dans les semi-conducteurs pour les photoémetteurs et les phénomènes, en quelque sorte, inverses pour les photorécepteurs.

**I.2) Conducteurs-isolants-semi-conducteurs :****I.2.1) Isolants :**

Un isolant est un matériau qui ne conduit pas le courant électrique sous des conditions normales. La plupart des bons isolants sont des matériaux composés de plusieurs éléments, contrairement aux conducteurs. Les électrons de valence sont solidement rattachés aux atomes, laissant très peu d'électrons libres de se déplacer dans un isolant.

**I.2.2) Conducteurs :**

Un conducteur est un matériau qui conduit aisément le courant électrique. Les meilleurs conducteurs sont des matériaux constitués d'un seul élément comme le cuivre, l'argent, l'or et l'aluminium, ces éléments étant caractérisés par des atomes ayant un seul électron de valence faiblement lié à l'atome. Ces électrons de valence peu retenus peuvent facilement se détacher de leur atome respectif et devenir des électrons libres. Par conséquent, un matériau conducteur possède beaucoup d'électrons libres qui, lorsqu'ils se déplacent tous dans la même direction, engendrent le courant.

**I.2.3) Semi-conducteurs :**

Par son habilité à conduire le courant, un semi-conducteur est un matériau se situant entre le conducteur et l'isolant. Un semi-conducteur à l'état pur (intrinsèque) n'est pas un bon conducteur ni un bon isolant. Les éléments uniques les plus utilisés pour les semi-conducteurs sont le silicium, le germanium et le carbone.

Des éléments composés tels l'arseniure de gallium sont aussi couramment utilisés pour les semi-conducteurs. Les semi-conducteurs à élément unique se caractérisent par des atomes à quatre électrons de valence.

#### **I.2.4) Bandes d'énergie :**

Rappelons-nous que la couche de valence d'un atome représente une bande d'un certain niveau énergétique et que les électrons de valence sont confinés à cette bande. Lorsqu'un électron acquiert assez d'énergie additionnelle d'une source externe, il peut quitter la couche de valence, devenir un électron libre et exister dans ce que l'on désigne comme étant la bande de conduction.

En termes d'énergie, la différence entre la bande de valence et la bande de conduction est appelée un écart énergétique.

Il s'agit en fait de la quantité d'énergie que doit avoir un électron pour sauter de la bande de valence vers la bande de conduction.

Une fois dans la bande de conduction, l'électron est libre de se déplacer à travers le matériau et n'est plus lié à aucun atome particulier.

La (figure I.1) montre les diagrammes d'énergie pour un isolant, un semi-conducteur et un conducteur.

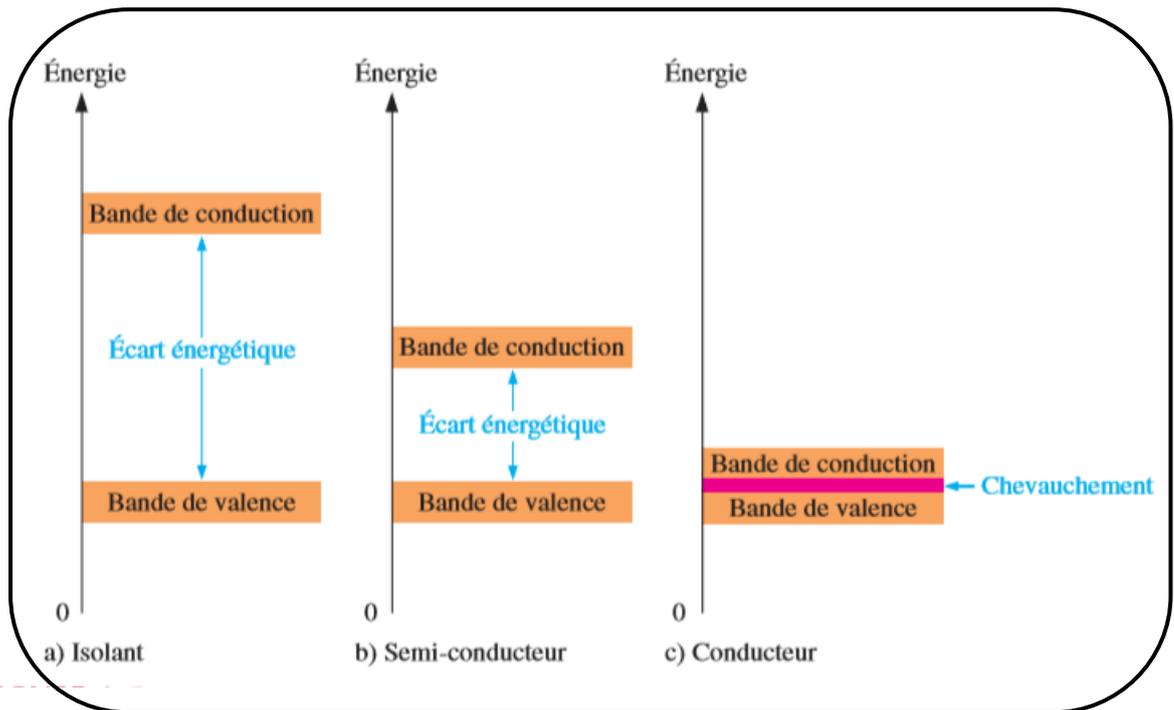
Notez à la partie a) le vaste écart énergétique entre les bandes.

Les électrons de valence ne peuvent sauter vers la bande de conduction sauf lors d'une détérioration provoquée par des tensions extrêmement élevées appliquées au matériau.

À la partie b), on remarque qu'un semi-conducteur possède un écart énergétique plus restreint, permettant à quelques électrons de sauter vers la bande de conduction et de devenir des électrons libres.

Par contraste, la partie c) illustre les bandes énergétiques se chevauchant dans un conducteur.

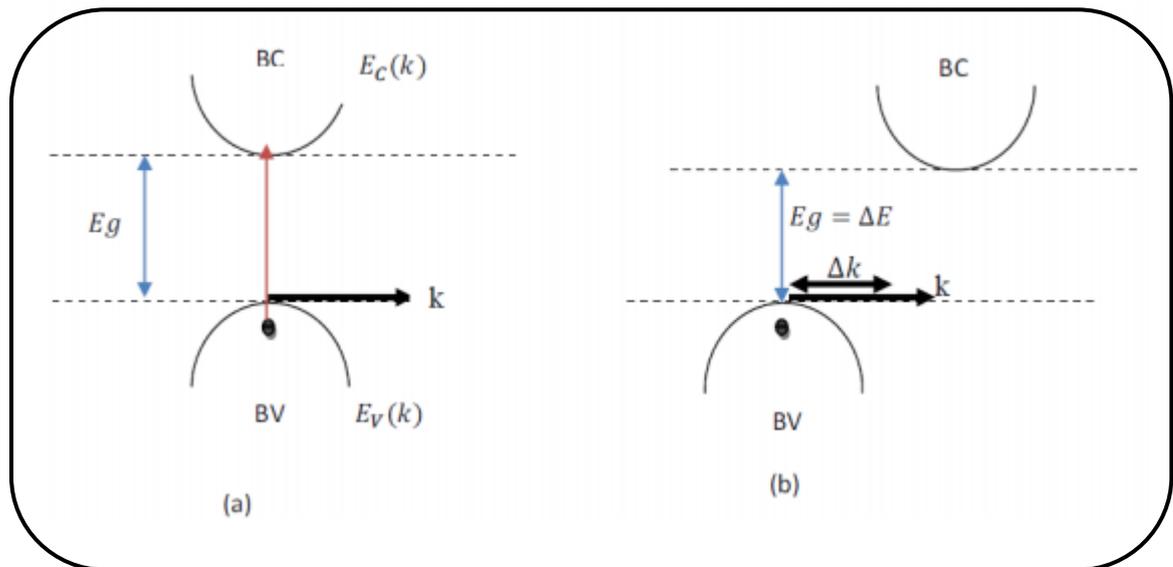
Dans un matériau conducteur, il existe toujours un grand nombre d'électrons libres.



**Figure I.1** : Diagrammes énergétiques pour les trois types de matériaux.

#### 2.4.1) Gap direct et indirect :

- ❖ **Gap direct**: Un semi-conducteur est à gap direct si le maximum de la bande de valence et le minimum de la bande de conduction peuvent correspondre au même vecteur d'onde  $k$  voir (Figure I.2.a).
- ❖ **Gap indirect** : Un semi-conducteur est à gap indirect si le maximum de la bande de valence et le minimum de la bande de conduction ne correspondent pas au même vecteur d'onde  $k$  voir la (Figure I.2.b). La distinction entre les semi-conducteurs à gap direct et indirect est très importante notamment dans les processus radiatifs. Les processus d'absorption ou d'émission sont considérablement plus importants dans les semi-conducteurs à gap direct que dans les semi-conducteurs à gap indirect [1].



**Figure I.2:** (a) semi-conducteur à gap direct, (b) semi-conducteur à gap indirect. [2]

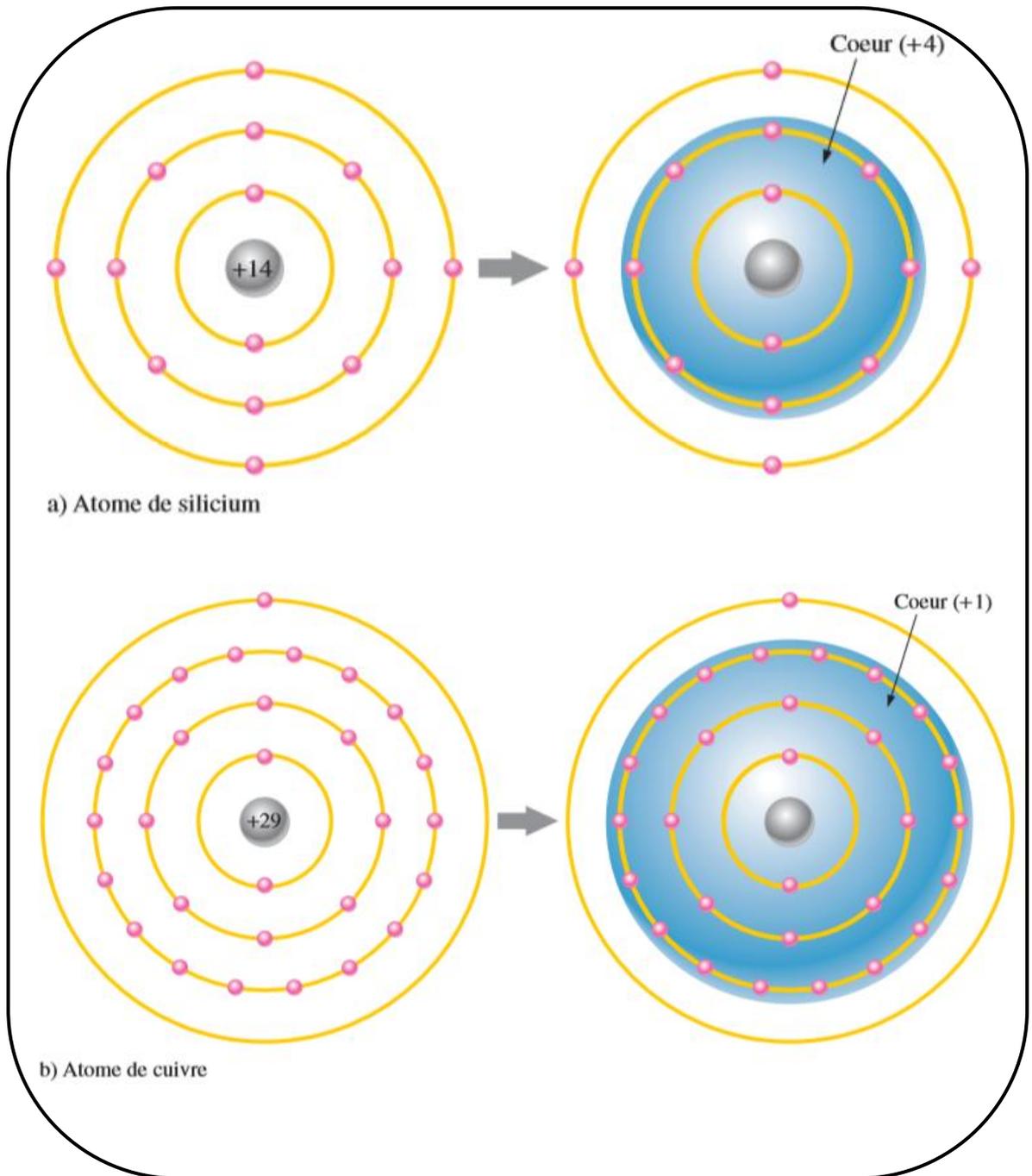
#### 2.4.2) Comparaison entre l'atome d'un semi-conducteur et l'atome d'un conducteur :

Examinons maintenant quelques raisons qui font du silicium un semi-conducteur et du cuivre un conducteur.

Les diagrammes des atomes de silicium et de carbone sont illustrés (Figure I.3). Notez que le noyau d'un atome de silicium possède une charge nette de +4 (14 protons – 10 électrons) et que le noyau de l'atome de cuivre a une charge nette de +1 (29 protons – 28 électrons).

L'électron de valence dans l'atome de cuivre «ressent» une force d'attraction de +1 comparativement à celui du silicium qui lui ressent une force d'attraction de +4.

Il y a donc quatre fois plus de force essayant de retenir un électron de valence à l'atome dans le silicium que dans le cuivre. L'électron de valence du cuivre est dans la quatrième couche, ce qui correspond à une plus grande distance du noyau que celui du silicium qui se situe dans la troisième couche. Souvenez-vous que les électrons les plus éloignés du noyau possèdent le plus d'énergie.



**Figure I.3 :** Diagrammes des atomes de silicium et de cuivre.

### **I.3) Différents types de semi-conducteurs : [3]**

#### **I.3.1) Semi-conducteur intrinsèque :**

On dit un semi-conducteur intrinsèque si le nombre d'électrons,  $n$ , dans la bande de conduction est égal au nombre de trous,  $p$ , dans la bande de valence,  $n=p$ .

#### **I.3.2) Semi-conducteurs extrinsèques :**

On obtient un semi-conducteur extrinsèque ou dopé lorsqu'on peut modifier de façon considérable la concentration de porteurs de charge d'un semi-conducteur intrinsèque en lui ajoutant des faibles quantités d'atomes astucieusement choisis et que l'on appelle impuretés. Ces dernières ont une valence différente de celle des atomes dans le semi-conducteur à l'état pur.

#### **I.3.3) Interaction rayonnement - semi-conducteur :**

L'interaction du rayonnement avec les électrons d'un semi-conducteur se manifeste selon trois processus (Figure I.4).

##### **3.3.1) Absorption fondamentale :**

Lorsque le photon absorbé provoque un saut d'électron d'un état occupé de la bande de valence vers un état vide de la bande conduction, on dit qu'il y a absorption.

##### **3.3.2) Emission spontanée :**

Lorsqu'un électron de la bande de conduction retombe spontanément sur un état vide de la bande de valence, il y'a émission spontanée. Radiative d'une paire électron-trou.

Le photon émis a même phase et même direction que le photon incident ; l'émission est dite stimulée.

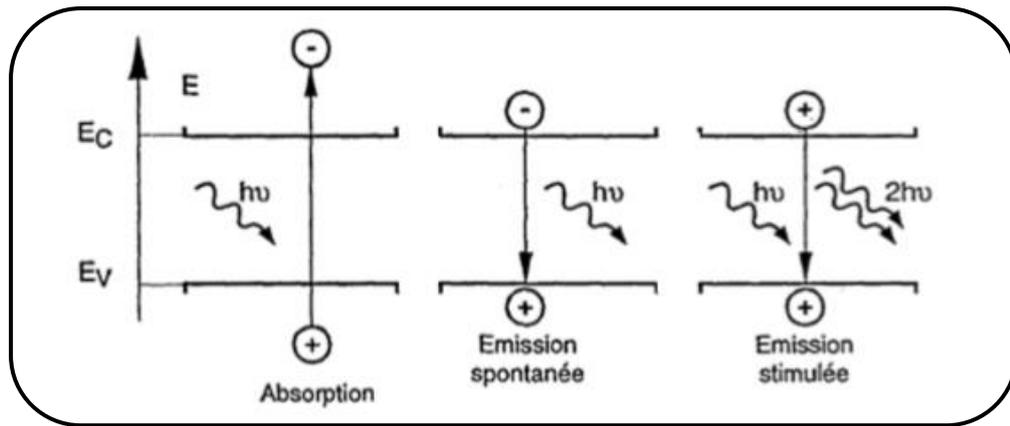


Figure I.4 : Interaction rayonnement - semi-conducteur.

### 3.3.3) Emission stimulée:

Le photon absorbé induit la transition d'un électron de la bande de conduction vers un état vide de bande de valence avec émission d'un photon cela induit à la recombinaison radiative d'une paire électron-trou.

Le photon émis a même phase et même direction que le photon incident ; l'émission est dite stimulée.

### I.3.4) Matériaux pour l'optoélectronique :

Suivant leur mode opératoire, on distingue deux types de composants optoélectroniques :

Les photos détectrices qui sont des composants qui convertissent le signal optique en un signal électrique. Les photoémetteurs qui convertissent le signal électrique en un signal optique.

Ces deux types de composants sont élaborés à partir de matériaux semi-conducteurs et leurs principes de fonctionnement sont basés sur les interactions rayonnement- semi-conducteur.

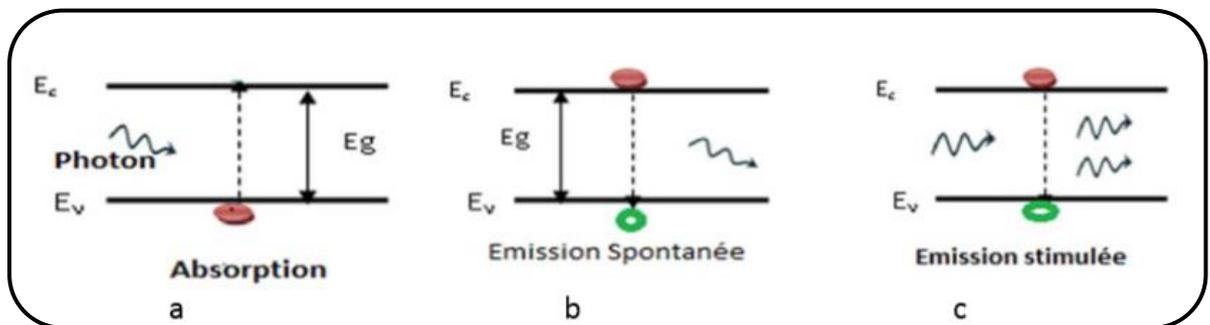
Les trois processus d'interaction entre le rayonnement et le semi-conducteur d'énergie de gap  $E_g$  (bande interdite) étant :

L'absorption du photon par un électron de la bande de valence et son passage vers la bande de conduction, entraînant l'apparition d'un trou dans la bande de valence (figure I.5.a).

L'émission spontanée d'un photon par retour de l'électron excité de la bande de conduction vers la bande de valence et sa recombinaison avec le trou (figure I.5.b). Dans le cas où l'énergie cédée par l'électron est de type radiatif.

L'émission stimulée d'un photon avec retour de l'électron excité vers la bande de valence et sa recombinaison avec un trou (Figure I.5.c). Le photon émis est identique, en longueur d'onde et en phase, au photon incident, il est dans le même état de polarisation.

Ce dernier processus est à la base de l'effet laser.



**Figure I.5 :** Absorption (a), émission spontanée (b) et émission stimulée (c) d'un photon par un semi-conducteur

## I.4) Applications des semi-conducteurs :

### I.4.1) Les lasers :

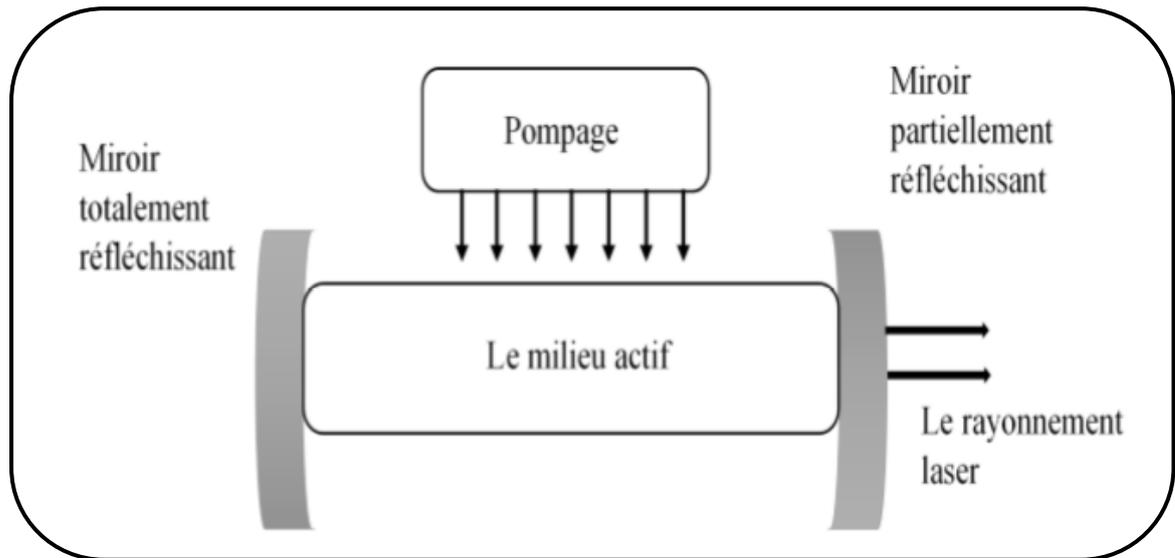
#### 4.1.1) Définition :

Le mot LASER est un acronyme: L (Lumière) A(Amplificateur) S(Stimulation) E(Emission) R (Radiation): c'est à dire Amplification de Lumière par Emission Stimulée de Rayonnement.

Le principe consiste à exciter les électrons d'atomes avec une source externe.

Ces électrons vont à leur retour en orbite stable émettre un faisceau de lumière cohérente monochrome ce dernier appelé faisceau laser, le laser compose de trois éléments fondamentaux qui sont le milieu actif, le système de pompage et la cavité résonnante.

Un system laser peut être schématisé de la façon suivante :



**Figure I.6:** schéma d'un système laser.

#### 4.1.2) Caractéristique de la lumière laser :

Les caractéristiques d'un faisceau laser sont :

- ❖ **D'une seule couleur :** On dit qu'elle est monochromatique, contrairement à la lumière émise par le soleil ou par une ampoule à incandescence qui est polychromatique (constituée de plusieurs longueurs d'onde), il existe de nombreux types de lasers de couleurs différentes.
- ❖ **Unidirectionnelle :** Toutes les ondes lumineuses se déplacent dans la même direction et forment un faisceau de lumière étroit, non divergent. Cependant, il peut y avoir une divergence de 1 degré d'arc provoquée par la diffraction.

lorsque le faisceau se propage dans un milieu, ainsi, le diamètre du faisceau peut augmenter jusqu'à 1mm par mètre parcouru.

- ❖ **Cohérent** : Le faisceau laser est ordonné dans le temps et dans l'espace. Ainsi, chaque photon qui la compose oscille en même temps de la même manière. La directivité de la lumière laser est d'ailleurs une conséquence de sa cohérence.

La diode laser se base sur trois processus fondamentaux pour effectuer la génération de la lumière.

Ces processus sont l'absorption, l'émission spontanée et l'émission stimulée.

Si le photon absorbé induit la transition d'un électron de la bande de conduction vers un état vide de bande de valence avec émission d'un photon, l'émission est dite stimulée [4].

Pour obtenir l'effet laser, il est nécessaire de privilégier l'émission stimulée au détriment des deux autres processus.

Deux conditions doivent être réalisées pour favoriser cette émission stimulée et ainsi obtenir l'effet laser :

- Il faut avoir suffisamment d'électrons dans l'état d'énergie supérieure.

Dans un semi-conducteur, ceci est réalisé par une opération dite de pompage électrique qui consiste à promouvoir un maximum d'électrons dans la bande de conduction :

C'est ce qu'on appelle " une inversion de population ".

- Il faut favoriser l'émission stimulée : il faut donc avoir suffisamment de photons incidents (excitateurs).

Pour cela, on enferme le semi-conducteur dans une cavité résonante constituée par exemple par un résonateur du type Fabry-Pérot, obligeant ainsi l'énergie lumineuse à s'accumuler.

### 4.1.3) Les applications de lasers :

Au cours des 20 dernières années, le laser n'a cessé de se diversifier et de s'améliorer et il existe à présent de très nombreux types de lasers (liquide, solide ou à gaz) travaillant dans de multiples longueurs d'onde et fréquences et pouvant remplir une multitude d'applications dans tous les domaines : physique, énergie, électronique, télécommunications, médecine, biologie, militaires .... [5]

Les lasers sont largement utilisés dans la fabrication, par ex.

Pour le découpage, le soudage, le traitement de surface, etc...

- ❖ **Applications de soudage** : Les applications de soudage peuvent nécessiter une puissance élevée, mais seulement une qualité de faisceau modérée, alors que le soudage à distance (c'est-à-dire le soudage avec une distance importante entre la tête de laser et les pièces soudées) dépend d'une qualité de faisceau élevé.
- ❖ **Applications médicales** : Il existe un large éventail d'applications médicales. Souvent, elles concernent les parties extérieures du corps humain, qui sont facilement atteintes par la lumière. Les trois types de laser les plus utilisés dans le domaine de médecine (ex : En dermatologie) sont les lasers CO<sub>2</sub>, les lasers (Nd-YAG, YAG KTP). Dans de nombreux cas, la longueur d'onde du laser est choisie de telle sorte que certaines substances (par exemple les pigments dans les tatouages ou les caries dans les dents) absorbent la lumière plus fortement que les tissus environnants, de sorte qu'ils puissent être ciblés plus précisément.
- ❖ **Métrie** : Les lasers sont largement utilisés dans la métrologie optique, par ex. Pour des mesures de position extrêmement précises et un profil optique de surface avec interféromètres, pour la recherche et la navigation à longue distance. Les capteurs à fibre optique, souvent sondés par la lumière laser, permettent la mesure répartie de la température, de la contrainte et d'autres quantités.

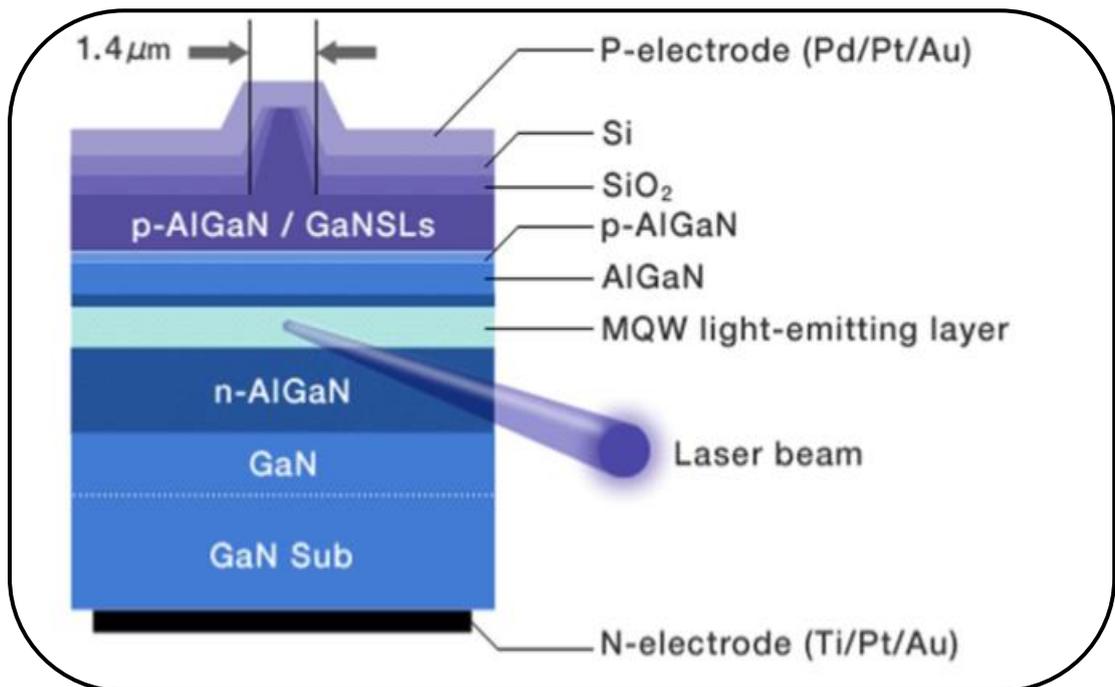
- ❖ **Stockage de données** : Stockage de données optiques, par ex. Dans des disques compacts (CD), des DVD et des disques magnéto-optiques, repose presque toujours sur une source laser, qui a une cohérence spatiale élevée et peut donc être utilisée pour adresser des taches très petites dans le support d'enregistrement [6]. On prend comme exemple un type de laser à semi-conducteur qui est utilisée aux Disques optiques. Laser GaN.

#### 4.1.4) Structure de la diode bleue à base de GaN :

La diode laser est un dispositif à base de matériaux semi-conducteurs. Les candidats pour accéder aux courtes longueurs d'onde (bleu, violet), sont des semi-conducteurs à grande bande interdite comme le séléniure de zinc (ZnSe), le nitrure de gallium (GaN), ou encore le carbure de silicium (SiC). Typiquement, un laser à semi-conducteur est formé d'un empilement de couches de compositions différentes que l'on fait croître sur un substrat. Dans un laser bleu à base de GaN, la région active (qui produit l'émission laser) est constituée de quelques puits quantiques de InGaN contenant 10% à 20% d'In et séparés par des barrières de GaN. Cette zone active est prise en sandwich entre des couches de GaN et AlGaN dopées n ou p, c'est-à-dire comprenant un excès de charges négatives ou positives (jonction p n).

Ces couches jouent le double rôle de guide d'onde pour la lumière émise et de réservoirs d'électrons et de trous qui seront injectés dans la région active par le courant électrique d'alimentation.

C'est la recombinaison des paires électron-trou qui va produire les photons de l'émission laser [7].



**Figure I.7 :** Structure de la diode bleue à base de GaN.

### I.5) Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté des rappels sur les semi-conducteurs qui se comportent en fonction de la population d'électrons et de trous dans chacune des bandes de conduction et de valence, et nous avons étudié, les composants optoélectroniques et leurs applications.

---

# Chapitre II

## II.1) Introduction :

La transmission optique est l'acheminement de l'information (données) sous forme de la lumière d'un point d'émission vers un point de réception, elle est assurée par une chaîne de télécommunication optique qui comporte trois blocs : un bloc d'émission, un bloc de transmission et un bloc de réception.

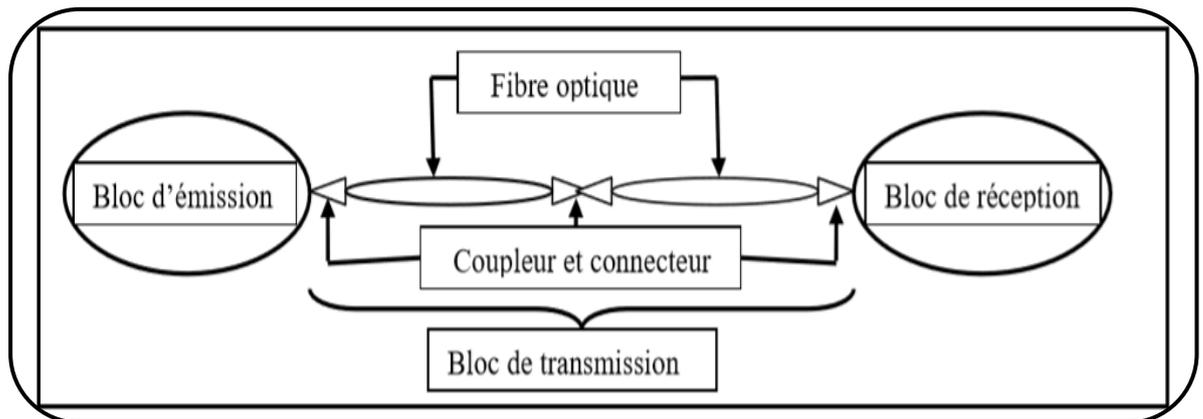


Figure II.1 : Schéma représentatif d'une chaîne de télécommunication optique.

## II.2) La ligne de transmission optique :

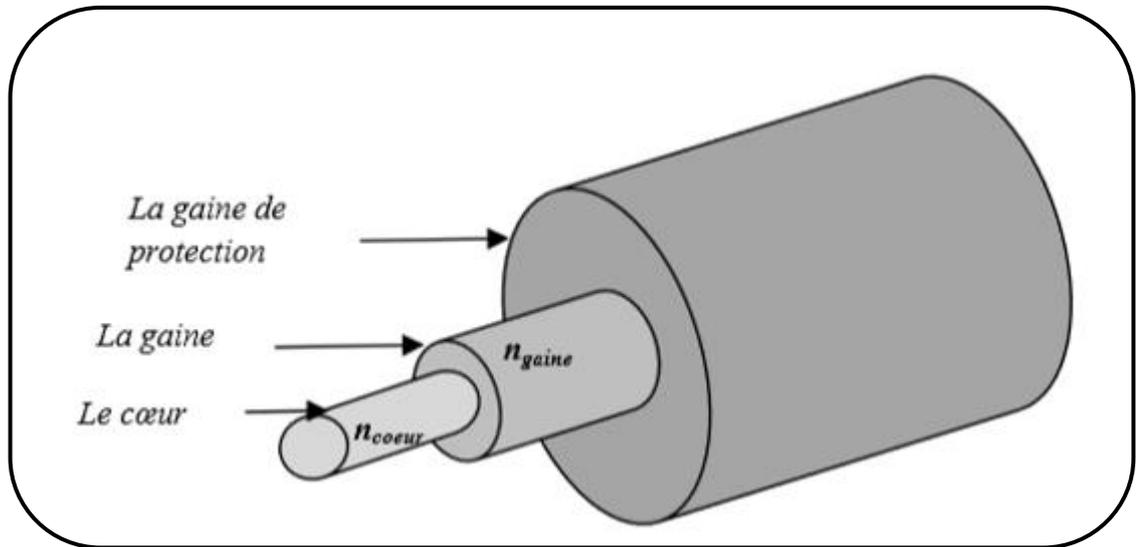
### II.2.1) Fibre optique :

La fibre optique représente le support de propagation de la lumière (canal de communication) dans les systèmes optiques.

Il s'agit d'un guide d'onde diélectrique à géométrie cylindrique constitué au centre d'un cœur composé essentiellement de silice pure hautement raffinée et plus ou moins dopée à un indice de réfraction  $n$ -cœur légèrement plus élevé (une différence de quelques % est suffisante) à celui de la gaine  $n$ -gaine avec un diamètre extérieur de l'ordre de  $125\mu\text{m}$  (pour les fibres conventionnelles).

Elle peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux, selon les lois de Descartes.

Enfin, une gaine dite mécanique, généralement en plastique, est rajoutée dont le premier rôle est de protéger la fibre mécaniquement, et le second est de piéger la lumière qui se propage dans la gaine optique.



**Figure II.2 :** schéma d'une fibre optique.

La fibre optique est, généralement, fabriqué de la silice, un matériau qui ressemble au verre. La silice est un composé de silicium (Si) et d'oxygène (O) dont la formule chimique est  $\text{SiO}_2$ .

Nous retrouvons ce composé dans la nature dans différents minéraux tels que le quartz. Le principe de fabrication d'une fibre optique repose sur l'étirage d'une préforme de verre. Grâce à des techniques complexes, on peut ainsi étirer un tube de verre d'un mètre de long sur 10 cm de diamètre jusqu'à en faire une fibre optique de 150 km de long.

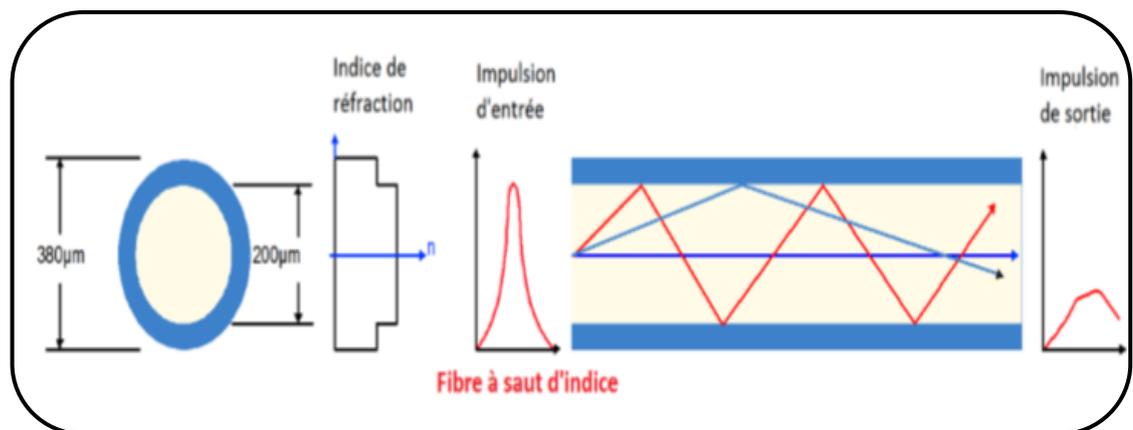
## II.2.2) Différents catégories de fibre optique :

### 2.2.1) Fibre multimode :

**Fibre multimode saut indice :** La fibre optique à saut d'indice : Le cœur et la gaine présentent des indices de réfraction différents et constants. Le passage

d'un milieu vers l'autre est caractérisé par un saut d'indice (figure II.3). Le faisceau lumineux injecté à l'entrée de la fibre va atteindre la sortie en empruntant des

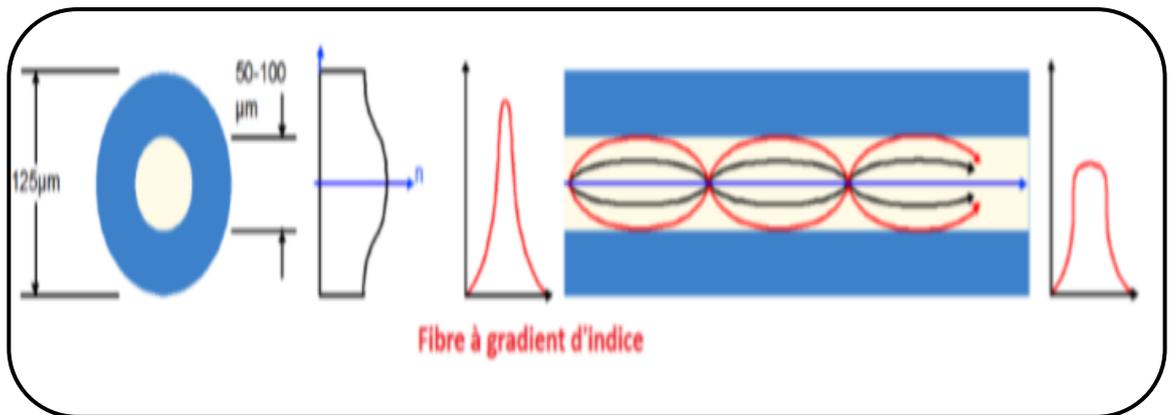
chemins optiques différents ce qui se traduit par des temps de propagation différents et donc un étalement du signal transmis.



**Figure II.3 :** Propagation des ondes dans une fibre multimode à saut d'indice.

Les différents rayons empruntent des trajectoires différentes, leurs chemins optiques et leurs temps de propagation sont différents. Il en résulte donc une dispersion intermodale. Pour diminuer cet effet, le profil d'indice du cœur peut être modifié de telle sorte à créer un gradient d'indice.

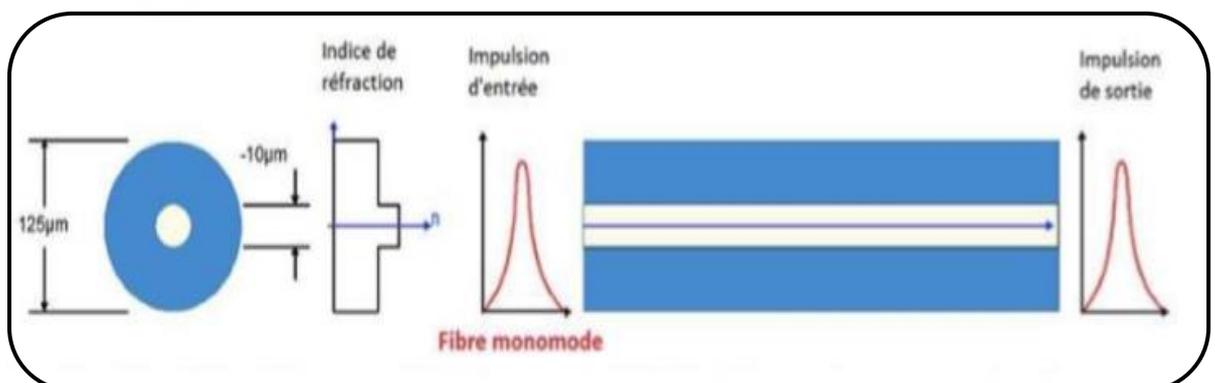
- ❖ **La fibre optique à gradient d'indice :** Le cœur se caractérise par un indice variable qui augmente progressivement de  $n_1$  à l'interface gaine-cœur jusqu'à  $n_2$  au centre de la fibre. Là aussi les rayons lumineux vont emprunter des chemins différents, mais un choix judicieux du profil d'indice du cœur permet de tendre vers des temps de parcours voisins et donc réduire l'étalement du signal (figure II.4).



**Figure II.4 :** Propagation des ondes dans une fibre multimode à gradient d'indice.

### 2.2.2 Fibre monomode :

Dans une fibre monomode, on obtient un seul mode grâce à la très faible dimension du cœur. Ainsi, le chemin de la lumière est imposé. Lorsque le rayon du cœur est suffisamment faible, il est possible d'avoir qu'un seul mode de propagation ( $m=1$  donc fibre monomode). Le chemin de propagation est ainsi unique et parallèle à l'axe de la fibre (figure II.5). Théoriquement le signal injecté en entrée va atteindre la sortie sans aucune déformation. C'est ce type de fibre qui présente les plus grandes performances.



**Figure II.5 :** Propagation du mode fondamental dans une fibre monomode.

La fibre monomode dont le cœur est si fin que le chemin de propagation des différents modes est pratiquement directe. La dispersion modale devient quasiment nulle. La bande passante transmise est presque infinie ( $>10$  GHz/Km). Cette fibre est utilisée essentiellement pour les communications à grande distance.

Le petit diamètre du cœur nécessite une grande puissance d'émission, donc des diodes laser relativement onéreuses. Les principales caractéristiques qui déterminent le choix d'un type de fibre sont l'atténuation et la dispersion.

Nous donnons par le tableau suivant les caractéristiques de quelques fibres normalisées par l'UIT-T :

**Tableau II.1:** caractéristiques de quelques fibres.

Norme UIT-T					
Caractéristiques		G.652	G.653	G.655 (NZDF)	G.655 (Téralight)
Année de mise oeuvre		1983	1985	1994	1994
Propriétés Géométriques	Diamètre coeur ( $\mu\text{m}$ )	9	9	9	9
	Diamètre fibre( $\mu\text{m}$ )	125	125	125	125
Propriétés Optique ( a 1550 $\mu\text{m}$ )	Atténuation (dB/Km)	0.25	0.25	0.25	0.22
	Dispersion Chromatique (ps/nm/Km)	17	0	0.07	8
	Coéfficient de non linéarité ( $\text{W}/\text{m}^2$ )	$2.7.10^{-20}$	$2.7.10^{-20}$	$2.7.10^{-20}$	$2.7.10^{-20}$
	Section effective ( $\mu\text{m}$ )	80	57	57	65
	PMD (ps/sqrt(Km))	0.05 a 0.08	0.1 max	0.1 max	0.04

- **La différence entre les fibres (Multi - Mono) :**

**Tableau II.2 :** Caractéristiques générales des fibres uni modales et multimodes.

Fibre uni modale	Fibre multimode
Ouverture numérique faible (connexion délicate). Très faible atténuation (qqd dixième de dB/Km). Faible dispersion Haut débit longues distances	Ouverture numérique forte (connexion facile). Faible atténuation Forte dispersion Réseaux locaux

### 2.2.3 Les avantages et les inconvénients :

- **Avantages :** Par comparaison aux autres supports de transmission existants, la fibre optique présente de nombreux avantages qui justifient son introduction dans les systèmes de transmission. Le mode de transmission est le plus fiable et le plus sécurisé.
  - La transmission de gros volumes de données à haut débit.
  - Le signal lumineux reste pur le long de la fibre optique et ne s'affaiblit pas (il n'y a pas d'atténuation du signal comme avec le cuivre).
  - Il est impossible d'écouter ou d'intercepter les signaux lumineux qui circulent à l'intérieur d'une fibre optique. Le support est sécurisé.
  - Il n'y a pas d'interférences, ni de rayonnement.
  - La fibre est un diélectrique, il ne présente pas de risque d'étincelle.
  - Les fibres optiques durent généralement plus longtemps environ plus de 100 ans.
  - Les fibres optiques peuvent être tirées sur des diamètres plus petits que pour le fil de cuivre.
  - Parce que les fibres optiques sont plus minces que les fils de cuivre, d'autres fibres peuvent être regroupées dans un câble. Cela permet à plus de lignes téléphoniques ou plusieurs canaux de passer dans le même câble.

- Un câble à fibre optique typique peut transporter environ 9000 voies téléphoniques ou plus de 1000 chaînes de musique, ou 8 chaînes de télévision. Ces chiffres sont cinq fois supérieurs à ce que pourrait supporter un câble de cuivre.
- Les câbles à fibre optique ont beaucoup plus de bande passante que les câbles métalliques.

➤ **Inconvénients :**

- Des pertes peuvent être causées par des courbures du câble, des connecteurs mal positionnés ou sales, des inhomogénéités dans le verre de la fibre.
- Difficultés d'adaptation avec les transducteurs optoélectroniques.
- Exigences micromécaniques importantes (connexions, alignement).
- La fibre optique est plus chère.
- Plus difficile à installer et à maintenir, et seuls des techniciens qualifiés et expérimentés peuvent mettre en place un câblage en fibre optique.
- Le verre de la fibre optique est fragile.
- La connexion de deux fibres optiques requière un polissage délicat et un parallélisme parfait.

### **II.3) Système de transmission par fibre optique :**

#### **II.3.1) Emetteur :**

La partie émission d'une liaison optique est composée de divers éléments (source optique, modulateur). Son rôle est de délivrer au support de transmission un signal optique sur lequel sont inscrites les données. Les systèmes de transmission par fibre optique nécessitent des émetteurs optiques devant remplir certaines conditions :

- Faible encombrement.
- Fonctionnement à température ambiante.
- Commande par circuits à semi-conducteurs.
- Capacité à moduler la lumière émise à haute fréquence.
- Spectre d'émission étroit.

- Puissance d'émission importante.
- Grande durée de vie.

Les composants d'émission de lumière qui satisfont le mieux à ces critères sont des composants à semi-conducteurs et se regroupent en deux catégories : les diodes électroluminescentes et la diode laser.

### 3.1.1 Sources optique :

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 par rapport à celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité à

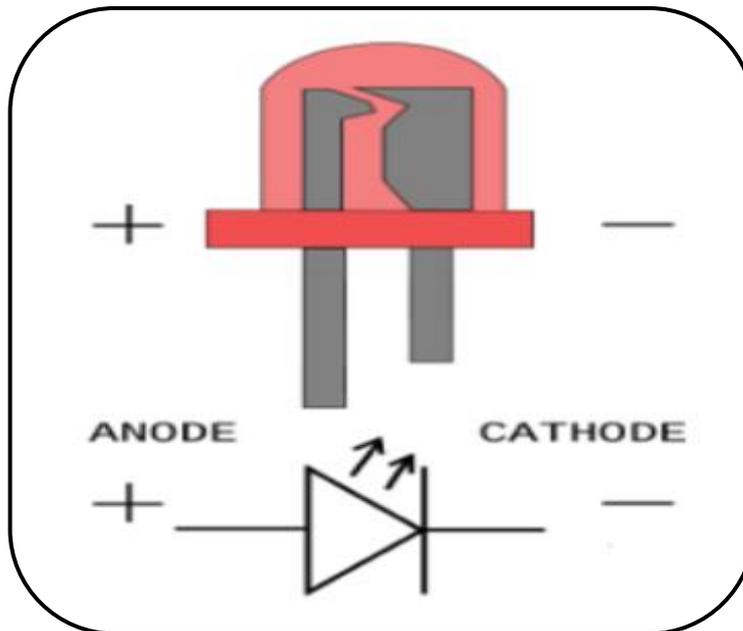
moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique.

Dans le domaine des télécommunications optiques, deux types de sources lumineuses sont couramment utilisées : les diodes électroluminescentes (DEL) et les diodes lasers.

Nous allons rappeler dans la suite de ce paragraphe les principales caractéristiques de ces sources.

- **Diode LED :** La diode électroluminescente est utilisée surtout dans les systèmes de communications à fibres optiques multimodes, du fait de leurs faisceaux de sortie à large angle de divergence.

Elle réalise directement l'émission de photons par recombinaison des porteurs dans une hétérojonction polarisée en direct. Dans une hétérojonction la couche active très mince (moins d'un micron) est entourée de couche de confinement [8].

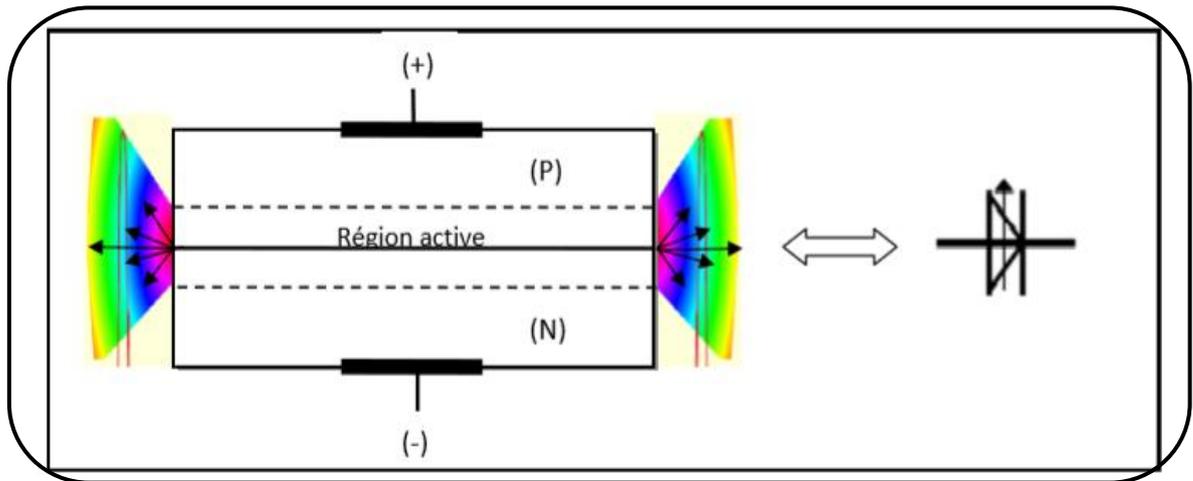


**Figure II.6 :** Schéma simplifié d'une LED.

La LED représente les caractéristiques suivantes :

- En théorie c'est une droite.
  - En pratique la courbe dévie de la droite idéale à cause de l'échauffement.
  - Pas de tension de seuil. La lumière est émise dès que le courant passe.
  - Une diode standard émet typiquement 3mW pour un courant de 100 mA.
  - Rendement de l'ordre de 0.03 mW/mA.
  - Courant maximum de fonctionnement conseillé : 100 à 200 mA.
- **Diode LASER :** Les diodes laser produisent une puissance optique beaucoup plus importante que les LEDs avec un spectre plus fin, et peuvent donc coupler plus de puissance avec la fibre.

La différence avec les LEDs et que les lasers disposent sur les deux côtés de deux miroirs pour obtenir plusieurs allers retours dans le milieu en constituant ainsi une cavité optique. Pour les télécommunications on choisit une composition GaInAsP qui émette à 1.3 ou 1.55 $\mu\text{m}$ .



**Figure II.7 :** La diode LASER.

La diode laser présente les caractéristiques suivantes :

- La source est cohérente et monochromatique.
- Largeur de spectre étroite.
- Les émissions se font dans la même direction (diagramme de rayonnement directif).
- Utilisée dans les systèmes de transmission à grande distance.

### 3.1.2) Principe de fonctionnement du LASER :

L'effet laser est un principe d'amplification cohérente de la lumière par émission stimulée. La plupart des amplificateurs optiques sont basés sur l'effet laser.

Une source laser est une source de lumière spatialement et temporellement cohérente basée sur l'effet laser. Une source laser associe un amplificateur optique basé sur l'effet laser à une cavité optique, encore appelé résonateur, généralement constituée de deux miroirs, dont au moins l'un des deux est partiellement réfléchissant c'est-à-dire qu'une partie de la lumière sort de la cavité et l'autre partie est réinjectée vers l'intérieur de la cavité laser comme il est schématisé (figure II.8).

Les caractéristiques géométriques de cet ensemble imposent que le rayonnement émis soit d'une grande pureté spectrale, c'est-à-dire temporellement cohérente.

Le spectre du rayonnement contient en effet un ensemble discret de raies très fines, a des longueurs d'ondes définies par la cavité et le milieu amplificateur.

La finesse de ces raies est cependant limitée par la stabilité de la cavité et par l'émission spontanée au sein de l'amplificateur (bruit quantique) [9].

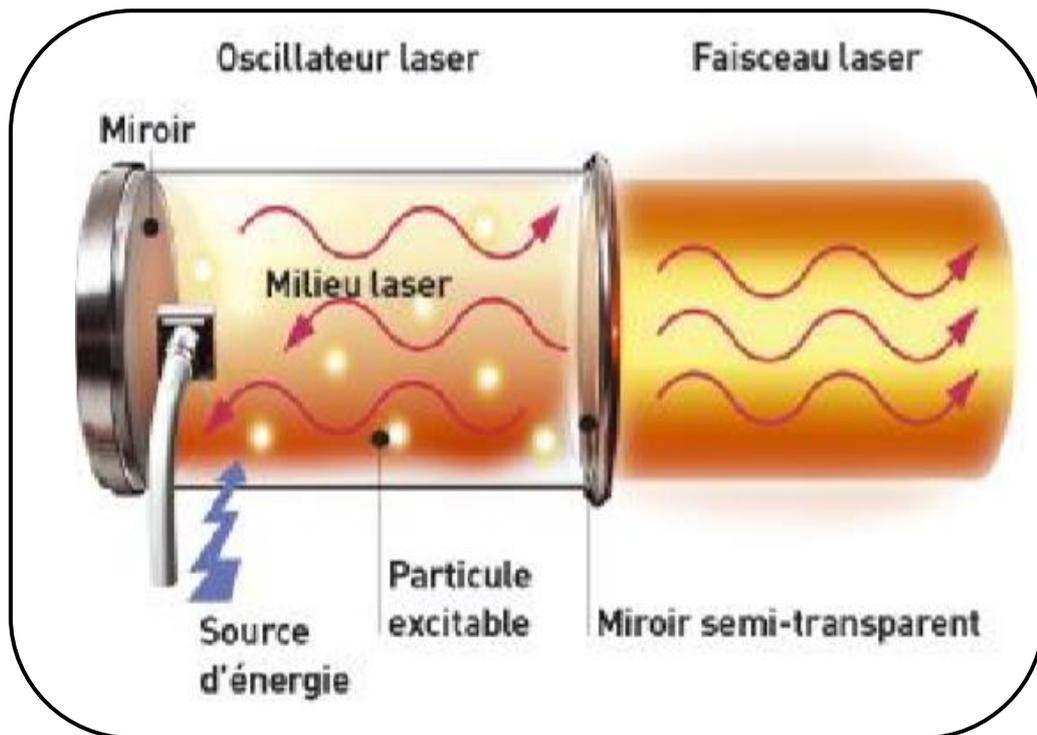


Figure II.8 : L'effet laser.

### 3.1.3) La modulation :

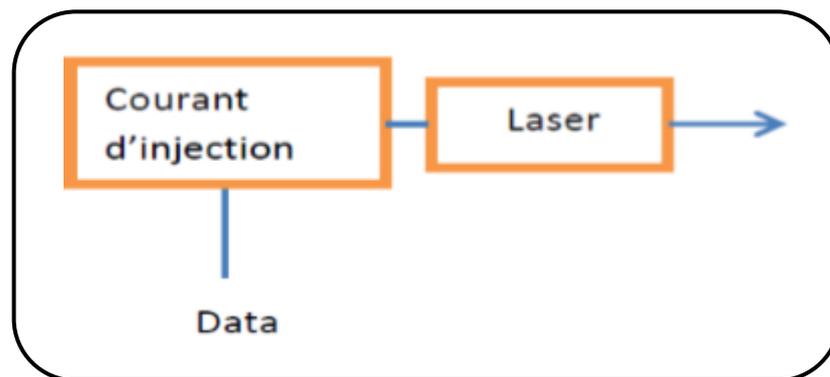
Un modulateur, c'est un système adroit de modifier les paramètres de la lumière (amplitude et ou phase ; mais cela pourrait être : polarisation, direction de propagation, fréquence, répartition de modes, etc.) en fonction d'un signal de commande.

Un modulateur est un système d'interaction. Les interactions entre phénomène physique de nature différente mécanique (ou élastique), acoustique, magnétique, etc. [10]

- **Modulation directe** : On agit sur le courant de jonction qui provoque l'effet laser. En première approximation, la puissance optique délivrée varie linéairement en fonction du courant. Cette modulation provoque une modification dynamique du spectre due à

la conversion amplitude-fréquence et du diagramme de rayonnement, avec des effets nuisibles aux grandes vitesses de modulation.

La modulation directe offre l'avantage d'être simple et peu coûteuse, en plus elle nécessite une tension réduite (la tension appliquée n'est que de 2 à 3 Volts) et une puissance faible [11].

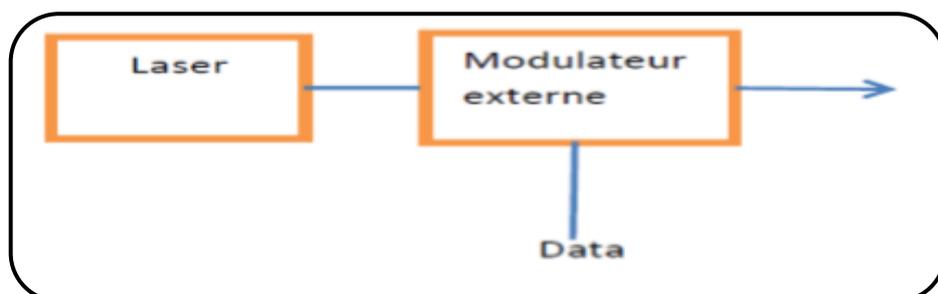


**Figure II.9 :** Modulation directe.

- **Modulation externe :** Le principe de modulation externe consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser.

Ainsi les défauts de la modulation directe qui incombent au laser ne seront plus présents sur le signal optique. [11]

La modulation externe est indispensable pour maintenir une qualité de transmission correcte, et ce type de modulation permet d'obtenir de très grands débits.



**Figure II.10:** Modulation externe.

### 3.1.4) Comparaison :

La modulation directe, plus simple et moins coûteuse est encore très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelques Gbits/s, selon la qualité du laser. Mais au-delà de 5 Gbits/s, la modulation externe est indispensable pour maintenir une qualité correcte. Cependant, les modulateurs ne sont pas parfaits et peuvent engendrer des défauts mais leur impact est moins important. [12]

## II.4) Récepteur optique :

Le but du récepteur est de restituer de façon fidèle l'information, il doit extraire avec des moyens fiables l'information transmise à partir du signal optique reçu.

Dans notre étude nous allons parler des photos détecteurs, les plus utilisés dans les systèmes de transmission par fibre optique qui sont les photodiodes PIN ou APD.

La photo détecteur est un semi-conducteur de jonction PN polarisé en inverse il permet la conversion du signal optique reçu (les photons) en signal électrique par l'effet photoélectrique.

Les photodiodes peuvent être classées en deux catégories : celles qui n'ont aucun gain interne PN et PIN, et celles qui ont un gain interne AVALANCHE. [13]



**Figure II.11** : Un récepteur optique (photo détecteur).

### II.4.1) La photodiode PIN :

Cette photodiode, polarisée en inverse, est réalisée à partir de trois couches de semi-conducteur.

Deux couches fortement dopées P+ et N+ entre les quels existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque) où il existe très peu de charges mobiles.

Les photodiodes PIN sont les plus utilisés car elles sont peu coûteuses et simples à utiliser avec une performance satisfaisante.

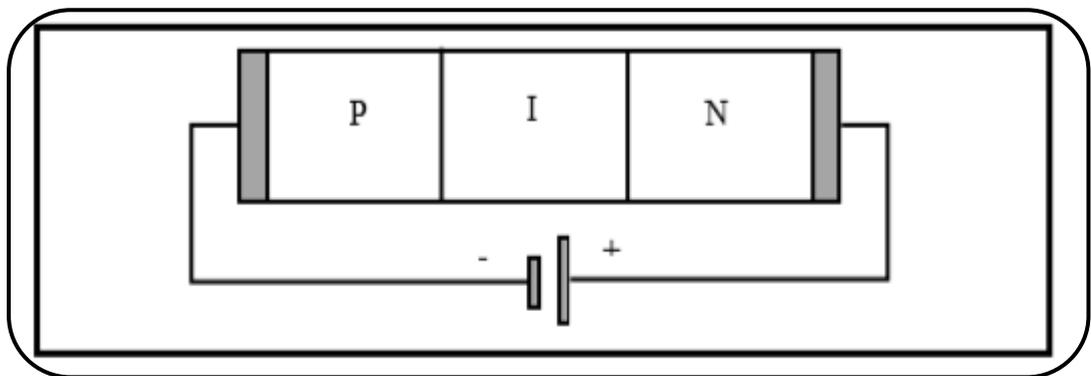


Figure II.12 : Photo diode PIN.

#### ➤ Avantages de la photodiode PIN :

- Large bande passante.
- Haute efficacité quantique.
- Vitesse de réponse élevée.

### II.4.2) La photodiode APD :

Lorsque la puissance lumineuse reçue est très faible, les courants détectés sont peu élevés et se superposent au courant d'obscurité, conduisant à un mauvais rapport signal à bruit.

Pour augmenter ce dernier, il est nécessaire que le courant détecté soit plus important en utilisant d'autres types de photodiodes, comme les photodiodes à gain interne de type avalanche.

La photodiode d'avalanche est une diode PIN dans laquelle est réalisée une amplification de puissance, cela permet d'extraire un signal électrique fort même pour une puissance lumineuse affaiblie.

Les photodiodes à avalanche sont aussi utilisés grâce à leurs performances, leur gain important et leur réponse rapide mais elles sont plus coûteuses, difficiles à utiliser et nécessitant une polarisation inverse très forte.

➤ **Comparaison entre les photodiodes PIN et PDA :**

Une comparaison entre leurs performances est présentée dans le Tableau ci-dessous:

**Tableau II.3 :** Comparaison des caractéristiques des photodiodes PIN et PDA.

Types de photodiode Caractéristiques	Photodiodes	
	PIN	PDA
Tension de commande (V)	Faible	Elevé
Fréquence de coupure (GHz)	>60	Quelques
Rendement quantique (%)	Faible	Elevé
Bande passante (GHz)	Large	Faible
Longueur d'onde (nm)	1300 et 1550	1300 et 1550

**II.5) Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons étudié en détail le laser et on a vu une description d'une liaison par fibre optique, les composantes d'un émetteur, le récepteur et ses caractéristiques, la composition de la fibre, ses différents types, ces avantages ainsi que ces inconvénients.

---

# Chapitre III

**III.1) Introduction :**

L'électronique est soumise aux variations de la température. Cette température peut croître ou décroître selon l'utilisation de ses circuits.

Tous les composants semi-conducteurs et les circuits sont sensibles aux variations de la température.

**III.2) Variation des caractéristiques du laser en fonction de la température :****III.2.1) Effet de la température sur l'occupation des états électronique (statistique de fermi) :**

Les électrons sont régis par la statistique de FERMI et la probabilité d'occupation des états d'énergie E est donnée à l'équilibre thermodynamique à une température T par la formule (III.1) :

$$f(E) = \frac{1}{[1 + \exp((E - E_f)/KT)]} \quad \text{(III.1)}$$

Un matériau à semi-conducteur peut être amené hors équilibre thermodynamique par différents moyens, et le plus souvent les populations d'électrons et de trous peuvent être considérées chacune comme en équilibre dans sa bande respective. En effet le temps de mise en équilibre des électrons entre eux et des trous entre eux (temps de relaxation intra bande) est de l'ordre de  $10^{-12}$  s alors que le temps de mise en équilibre des électrons avec les trous (temps de relaxation inter bande ou durée de vie) est généralement supérieur à  $10^{-9}$  s. Les fonctions de FERMI décrivant les occupations de la BC et de la BV comprennent alors des pseudo-niveaux de FERMI  $F_n$  et  $F_p$  distincts pour les électrons et pour les trous au lieu du niveau unique  $E_f$ .

**III.2.2) Effet de la température sur le semi-conducteur constituant le laser :**

Les semi-conducteurs sont très sensibles aux perturbations extérieures telles qu'un éclairage, un champ électrique ou un gradient de température. Dans l'étude qui suit, on s'intéresse à l'effet de température sur ces matériaux.

La chaleur produit des variations mécaniques au sein du cristal perturbent l'arrangement des atomes générant ainsi une variation de la hauteur  $E_g$  de la bande interdite selon la relation (III.2):

$$E_g = E_{g0} - \beta T \quad (III.2)$$

Où :

$E_{g0}$  : La bande interdite (GAP) à température (0 °K).

$\beta$  : Le coefficient de température de  $E_g$  (ev/°K) du semi-conducteur.

$T$  : La température en (°K).

**Tableau III.1 :** donnant  $E_g$  à 0°K et 300°K :

	Si	Ge	GaAs	AlAs	InAs	GaP	InP
$E_g$ (ev) à 0°k	1.170	0.744	1.519	2.229	0.418	2.350	1.424
$E_g$ (ev) à 300°K	1.124	0.664	1.424	2.170	0.354	2.272	1.344

Une élévation de température fait diminuer la bande interdite, ce changement fait que ces semi-conducteurs peuvent devenir des conducteurs à des températures très élevées (par exemple 100°C pour le Ge, et 200°C pour le Si) modifiant ainsi leurs propriétés présentant alors aucun intérêt.

La longueur d'onde émise, traitée au chapitre précédent est liée à la largeur de la bande interdite, celle-ci étant une caractéristique du matériau selon la relation suivante (III.3) :

$$\lambda(\mu\text{m}) = \frac{1.24}{E_c - E_v} = \frac{1.24}{E_g \text{ (eV)}} \quad (\text{III.3})$$

Donc une variation de la température fait varier la bande interdite et décaler la longueur d'onde.

### III.2.3) Effet de la température sur le spectre d'émission :

Lorsque l'on examine le spectre d'un LASER en fonction de la température on constate une variation linéaire de la longueur d'onde entre des variations brutales qui sont les sauts de modes pour un LASER à cavité Fabry-perot, ainsi qu'un élargissement des raies introduit par la cavité selon les formules suivante :

La cavité présente des spectres d'émission séparés par la relation (III.4) :

$$\delta\nu = \frac{c}{2L} \quad (\text{III.4})$$

C'est l'écart entre modes de la cavité avec une largeur à mi-hauteur donnée par la relation (III.5):

$$\Delta\nu = \frac{\delta\nu}{F} \quad (\text{III.5})$$

Où :

$F$  : La finesse donnée par la relation (III.6):

$$F = \pi \frac{\sqrt{R_m}}{1 - R_m} \quad (\text{III.6})$$

Et par la suite (III.7):

$$v = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \Delta\lambda = \frac{\lambda^2 \Delta v}{c} = \frac{\lambda^2}{2LF} \quad (\text{III.7})$$

On remarque bien de cette relation qu'un décalage de la longueur d'onde induit un élargissement de  $\Delta\lambda$ .

#### III.2.4) Effet de la température sur le courant de seuil et la puissance émise :

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, le LASER n'émet de la lumière stimulée que lorsque le courant injecté a dépassé un courant de seuil spécifique au LASER, sans dépasser une certaine valeur au-delà duquel la puissance correspondante présente une grande non-linéarité, malheureusement nous trouvons expérimentalement que ce courant de seuil  $I_{\text{seuil}}$  des diodes LASERs augmente avec l'élévation de la température. [14]

Cette augmentation du courant de seuil est décrite par la relation (III.8):

$$I_{\text{seuil}} = I_0 \exp \frac{T}{T_0} \quad (\text{III.8})$$

Où

$T_0$  : Le paramètre phénoménologique est parfois désigné sous le terme de température caractéristique du LASER donner par le tableau ci-dessus.

**Tableau III.2** : Températures caractéristiques de quelques systèmes laser.

Hétéro structure	Longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )	$T_0$ ( $^{\circ}\text{K}$ )
<b>GaN / InGaN</b>	0.40	180
<b>GaAs / AlGaAs</b>	0.85	150
<b>InGaAs / GaAs</b>	0.98	90
<b>InGaAs / AlGaAs / InP</b>	1.55	60
<b>InGaSb / InAs / GaSb</b>	3-4	35

$I_0$  : Le courant pour lequel  $T=0$ .

A la température ambiante le courant de seuil donné par la formule suivante (III.9):

$$I_{\text{seuil}} = \frac{NeV}{\tau_{sp}} \quad (\text{III.9})$$

Où :

V: Volume active de la cavité

e : C'est la charge de l'électron

$\tau_{SP}$  : Facteur d'émission spontané

Une faible variation de ce courant de seuil induit une forte variation de la puissance optique émise par le LASER, selon le procédé suivant (III.10):

$$P_s = \eta_d \cdot \frac{hv}{q} (I - I_{\text{seuil}}) \quad (\text{III.10})$$

Où :

$\eta_d$  : Le rendement quantique différentiel externe:

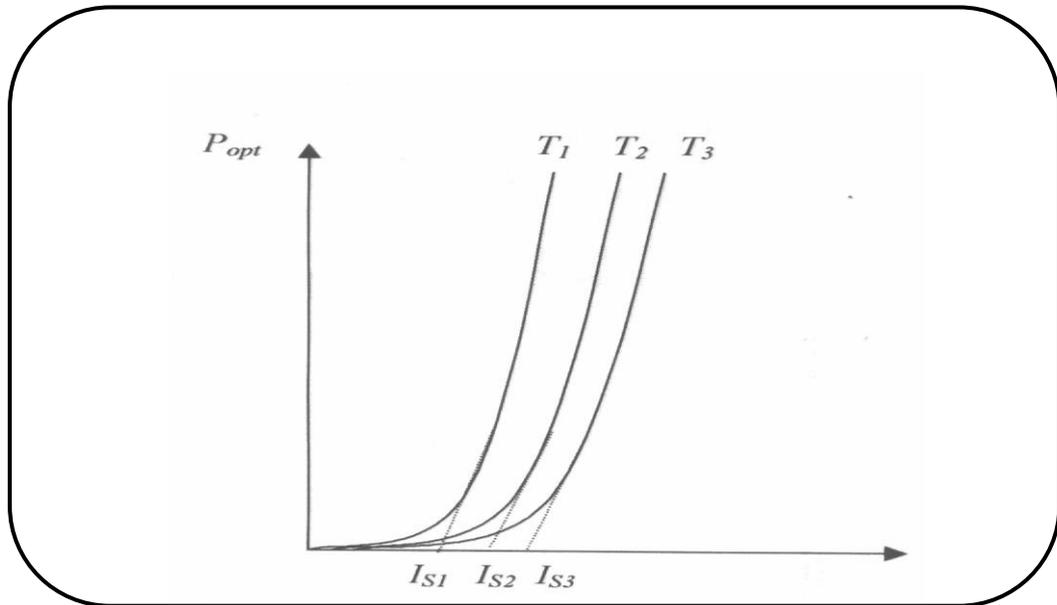


Figure III.1 : Caractéristique de transfert pour différentes températures.

### III.2.5) Effet de la température sur la fiabilité du LASER :

La fiabilité est un paramètre clé pour l'utilisation des émetteurs à semi-conducteur. D'une façon générale ces composants ont une durée de vie compatible avec une utilisation dans les systèmes de télécommunications par fibre optique.

Le tableau suivant rassemble les critères de fiabilité requis dans les différents systèmes de transmission (DEL, DL).

**Tableau III.3:** les critères de fiabilité requis dans les différents systèmes de transmission (DEL, DL).

Systeme	Condition de fonctionnement	Fiabilité demandée	Systeme
<b>Réseaux locaux "LAN" boucles d'abonnés courts distances à bas débit</b>	0 à 85°C	Grande	DEL DL
<b>Systemes terrestres à longue distance et haut débit</b>	En dessous de 50°C	Assez grande Supérieure à 10 ans	DL
<b>Systemes sous-marins longue distance à bas débit</b>	Environ 10°C	Très grande Supérieure à 25 ans	DL

On remarque que la fiabilité ou bien la durée de vie d'une DEL ou DL est reliée au facteur de température. Cette relation est interprétée par la formule suivante (III.11):

$$t_d = t_0 \exp (E_a / KT) \quad \text{(III.11)}$$

Où :

$t_d$  : Présente la durée de vie

$t_0$  : Constante

$E_a$  : Energie d'activation [0.7,..1.5ev] pour le semi-conducteur

$T$  : Température (°K)

On résume que si la température augmente au-delà de température de fonctionnement donnée par le constructeur alors automatiquement il y aura une diminution de la durée de vie.

### III.3) Bruit dans le laser :

Un laser à semi-conducteur constitue un générateur de fréquences optiques particulièrement imparfait émettant des ondes dont le champ électrique est affecté par des bruits d'amplitude ou d'intensité et des bruits de fréquence ou de phase, même lorsque le laser est polarisé en continu d'une façon très stable. Ces fluctuations imposent une limite ultime aux performances de n'importe quel système de communication optique.

L'origine de ces fluctuations est à chercher d'abord dans l'émission spontanée puis dans la nature discrète des processus d'émission et d'absorption de photons et des processus de génération et de recombinaison des porteurs. [14]

#### III.3.1) Bruit d'amplitude ou d'intensité :

On caractérise le bruit d'intensité à une certaine fréquence par le RIN (Relative Intensity Noise) défini par le rapport entre la densité spectrale des fluctuations de la puissance optique et le carré de cette puissance. [14]

$$\text{rin}(f) = \frac{\langle \Delta p^2(f) \rangle}{p^2} \quad (\text{III.12})$$

$\text{rin}(f)$  s'exprime en secondes. On utilise habituellement la quantité  $\text{RIN}(f)$  définie par la relation (III.13):

$$\text{RIN}(f) = 10 \log (\text{rin}(f)) \quad (\text{III.13})$$

Comme  $\text{rin}(f)$  représente la puissance relative (sans dimensions) contenue dans 1hz de bande,  $\text{RIN}(f)$ , qui est l'expression en décibels de  $\text{rin}(f)$ , s'exprime en décibels dans 1hz de bande que l'on note dB/Hz.

Chaque évènement tel que l'absorption ou l'émission d'un photon, l'insertion ou la perte d'un électron dans la bande de conduction devient la source d'un processus ponctuel.

Les équations d'évolution complétées ainsi par des sources de bruit sont linéarisées en supposant un petit incrément (pour les électrons) et (pour les photons) autour des valeurs stationnaires, N pour les électrons et S pour les photons. Dans le domaine spectral on extrait alors la densité spectrale bilatérale des fluctuations du nombre de photons :

$$\boxed{|\Delta s(f)|^2} \quad (\text{III.14})$$

En fonction de courant de polarisation, RIN augmente comme la puissance lumineuse P émise au-dessous du seuil, puis décroît au-dessus du seuil en effet lorsqu'on tendre la fréquence vers zéro et quand l'on se place au-dessus du seuil, on peut extrait de la modélisation la relation approchée suivante (III.15):

$$\boxed{\text{rin}(f) = 2 \frac{|\Delta s(f)|^2}{s^2} \approx \frac{\beta \tau \phi}{\left(\frac{I}{I_0} - 1\right)^3}} \quad (\text{III.15})$$

Le maximum du bruit se situe au seuil, indiquant le changement des propriétés de la lumière émise par le laser lorsque l'émission stimulée l'emporte sur l'émission spontanée.

### III.3.2) Bruit de fréquence ou de phase (largeur de raie) :

La phase du champ optique est affectée, de la même façon que son intensité, par les processus précédemment évoqués. Les fluctuations de phase entraînent des fluctuations de fréquence et se manifestent par une largeur de raie non nulle.

La largeur de raie vraie comme l'inverse de la puissance émise P car l'émission spontanée devient relativement moins importante à mesurer que la puissance croît. la largeur de raie varia comme l'inverse de la puissance émise P.

L'émission spontanée devient relativement moins importante à mesurer que la puissance croît la largeur de raie se met sous la forme (III.16):

$$\delta\nu = (1 + \alpha_H^2) \cdot \frac{h\nu}{8\pi} \cdot \frac{\eta_{sp}}{P} \cdot \nu_g^2 \alpha_m (\alpha + \alpha_m) \quad (\text{III.16})$$

$\alpha$  : Correspond à la perte interne (au nom résonnant dans le laser)

$\alpha_m$  : Correspond à la perte des extrémités (par exemple le cas d'un laser à cavité Fabry-Pérot.  $\alpha_m$  est fonction de la longueur et de la réflectivité des faces).

$\eta_{sp}$  : Est le paramètre de bruit.

$\nu_g$  : Est la vitesse de groupe de l'onde lumineuse guidée tenant compte de la dispersion des matériaux.

$\alpha_H$  : Est le facteur de Henry ou facteur de couplage phase-amplitude : c'est le rapport des dérivées des parties réelles et imaginaires de la constante de propagation  $\beta$  par rapport à la densité de porteur ( $n$ ).

### **III.4) Influence du décalage spectral sur les caractéristiques de la fibre :**

#### **III.4.1) Introduction :**

La fibre optique assure le guidage des photons de A à B, points entre lesquels la transmission de l'information doit être faite. Les deux paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique sont l'affaiblissement et la bande passante. Généralement ces deux paramètres sont en fonction de la longueur d'onde qui elle-même en fonction de la température.

Dans ce chapitre, notre étude est basée sur l'instabilité de la longueur d'onde et leur influence sur ces deux paramètres.

#### **III.4.2) L'affaiblissement :**

La lumière qui se propage dans une fibre optique subit un affaiblissement (atténuation), c'est à dire qu'il y a des pertes d'énergie. Ces pertes doivent rester petites.

L'affaiblissement de la liaison optique est un paramètre important pour effectuer la planification d'installation à câble optique. Il est causé principalement par les phénomènes

physiques, absorption et diffusion (affaiblissement intrinsèque). L'importance de ces pertes lumineuses dépend, entre autre, de la longueur d'onde et de la lumière injectée.

### III.4.3) Diffusion (Rayleigh) :

Elle est due à l'interaction de l'onde avec la matière, qui la diffuse d'une manière relativement isotrope. On l'observe dans tous les milieux désordonnés (vers, liquide, gaz). Elle est proportionnelle à  $\lambda^{-4}$  pour une fibre de silice à cœur dopé germanium, on a uniquement :

$$\alpha_D^{\left(\frac{dB}{Km}\right)} = (0.75 + 0.66 \Delta n) \lambda^{-4} \quad \text{(III.17)}$$

Avec :

$\lambda$  : Longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )

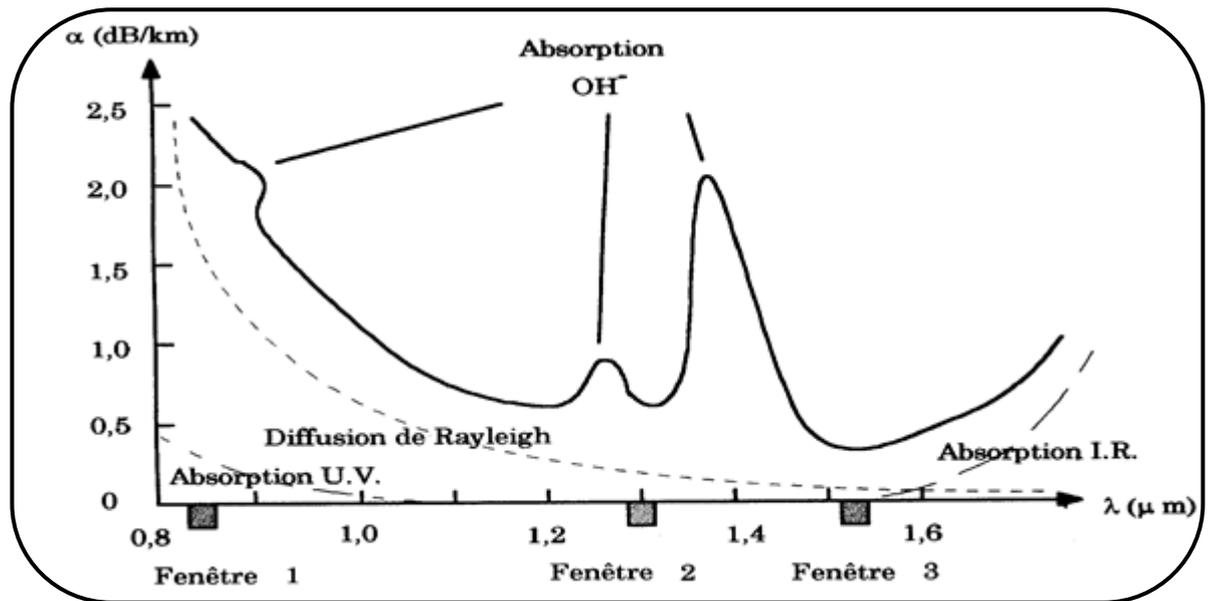
$\Delta n$  : La différence absolue d'indice entre le cœur dopé et la gaine pure.

Cette dépendance incite à travailler à des longueurs d'ondes élevées. C'est le cas pour de températures élevées. Donc l'échauffement de la source LASER n'influe pas négativement sur la diffusion Rayleigh (c'est à dire  $\alpha_D$  diminuée).

### III.4.4) Absorption :

Elle se compose de plusieurs termes :

- Les transitions électroniques qui se situent dans l'ultraviolet, que les fibres en silice ne transmettent pas.
- Les vibrations moléculaires de la silice, qui présentent un spectre complexe dans l'infrarouge (nombreux pics entre 2 et 2.5  $\mu\text{m}$ ). Concrètement, elles entraînent une remontée rapide de l'atténuation à partir de 1.7  $\mu\text{m}$ .



**Figure III.2 :** Caractéristique d'atténuation typique d'une fibre optique en silice.

- Des pics d'absorption sélective par diverses impuretés, le plus important étant dû aux liaisons OH à 1.39  $\mu\text{m}$ . Il est progressivement réduit par l'amélioration de la technologie de fabrication. Une teneur résiduelle en eau de l'ordre de  $10^{-7}$  est nécessaire pour ne pas être gênée par ce pic.

### III.4.5) Bande passante :

Lorsqu'une fibre est utilisée comme support de transmission, il est toujours important de connaître sa capacité de transmission ainsi que sa bande passante. Physiquement, les facteurs limitatifs de la bande passante sont les dispersions chromatiques et modales. La bande passante d'une fibre n'est pas une caractéristique intrinsèque, elle est influencée par des paramètres externes qui dépend de la source (largeur spectrale).

La bande passante globale d'une fibre est obtenue à partir de la relation suivante (III.18) :

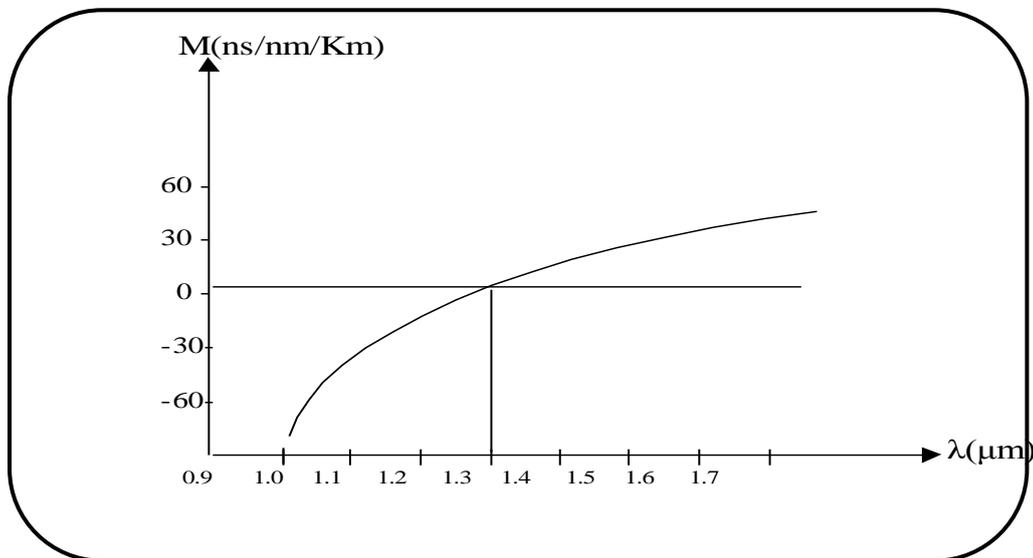
$$\mathbf{B_{globale}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{B_{chro}}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_{Mod}}\right)^2}} \quad \text{(III.18)}$$

Une croissance de la température dans le Laser a une influence précisément sur la bande chromatique, selon la relation suivante (III.19):

$$\mathbf{B^{chro} = \frac{1}{2M\sigma_\lambda L}} \quad (\text{III.19})$$

$\sigma_\lambda$  : La largeur spectrale de la source à  $-3$  dB, elle s'élargit avec la température.

$M$  : Le paramètre de dispersion chromatique du matériau il est en fonction de la longueur d'onde.



**Figure III.3 :** Evaluation du paramètre de dispersion chromatique de la silice pure en fonction de la longueur d'onde.

Par conséquent, une augmentation de la température au niveau de la source fait décaler la longueur d'onde ainsi qu'un élargissement du spectre d'émission implique une diminution de la bande chromatique et par la suite la bande globale au niveau de la fibre optique.

### III.5) L'influence des variations des caractéristiques de la source sur le module récepteur :

#### III.5.1) Introduction :

Dans une liaison par fibre optique, le photo-détecteur est l'élément chargé de convertir les variations de puissance lumineuse en une grandeur électrique.

Généralement les photo-détecteurs à semi-conducteurs présentent les avantages d'être très rapides et faciles à utiliser dans les domaines de transmission optique.

Le principe de fonctionnement de ces dispositifs est basé sur le phénomène d'absorption qui est conditionné par la source LASER. Lorsqu'on considère le bilan d'une liaison par fibre optique les performances du système dépendent en grande partie de celle du photo-détecteur, ce composant intervient grâce à la puissance de seuil qu'il peut détecter et au bruit qu'il introduit. Dans ce paragraphe on étudiera l'influence du décalage spectral ainsi que la puissance émise au niveau de la source sur le photo-détecteur et leur principe de fonctionnement ainsi qu'au rapport signal sur bruit.

#### III.5.2) L'influence du décalage spectral de la source sur le photo-détecteur :

L'absorption est le phénomène par lequel un photon d'énergie supérieur ou égal à la bande interdite du matériau  $(h\nu \geq E_g)$  donne naissance à une paire électron-trou, puis à un courant correspond à cette énergie  $h\nu$ . Par conséquent le photon incident ne peut être absorbé que si  $h\nu$  est au minimum égal au GAP, alors cette condition d'absorption peut ne pas être vérifiée à cause du décalage de la longueur d'onde  $\lambda$  au niveau de la source par l'effet de la température et perturbe ainsi le fonctionnement du photo-détecteur.

#### III.5.3) Effet de la puissance émise sur le rapport $\left(\frac{Signal}{Bruit}\right)$ coté réception :

Dans le cas d'une information analogique, le récepteur réalise une opération d'estimation, c'est-à-dire cherche à reconstituer un signal qui soit le plus proche possible du signal émis. Le rapport signal sur bruit à l'entrée du récepteur est une grandeur qui a l'avantage de pouvoir être calculée et fournit un critère de ressemblance.[15]

La forme générale de rapport signal sur bruit est donnée par :

$$\frac{\text{Signal}}{\text{Bruit}} = \frac{(S p_r M)^2}{\left[ 2e(S p_r M^{x+2} + I_{ob}) + F \cdot \frac{4KT}{R_L} \right] B} \quad (\text{III.20})$$

Où :

$P_r$  : Puissance incidente [mW], coté récepteur.

$$P_r = (1 - \alpha_T) P_s \quad (\text{III.21})$$

$\alpha_T$  : L'affaiblissement total de la liaison.

$P_s$  : La puissance émise par la source [mW].

$S$  : Sensibilité du photo-détecteur [A / W].

$M$  : Gain d'avalanche.

$I_{ob}$  : Le courant d'obscurité [mA].

$R_L$  : Résistance de charge [ $\Omega$ ].

$x$  : Paramètre de matériau constituant le photo-détecteur.

$B$  : Bande passante du système (signal).

$F$  : Facteur de bruit de l'amplificateur.

$K$  : Constante de BOLTZMAIN =  $1.37 \cdot 10^{-23}$  j / °K.

$T$  : Température au niveau de récepteur [°K].

Une variation de la puissance  $P_e$  coté émission due à la température fait diminuer ce rapport et par la suite donne une mauvaise reconstitution du signal par la diminution du rapport signal / bruit.

### **III.6) Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons étudié la variation des caractéristiques du laser en fonction de température et ses effets sur son fonctionnement. Puis, nous avons fait une revue sur les bruit d'amplitude et largeur de raie pour connaître les variables physiques d'un laser pouvant présenter du bruit.

Finalement, nous avons expliqué l'influence des variations des caractéristiques de la source sur le module récepteur.

---

# Chapitre IV

**IV.1) Introduction :**

Dans ce chapitre nous avons fait la simulation des différentes caractéristiques de diode LASER 'type Fabry-Perot'.

Pour cela on a fait des programmes en langage MATLAB répond aux paramètres d'une telle diode laser.

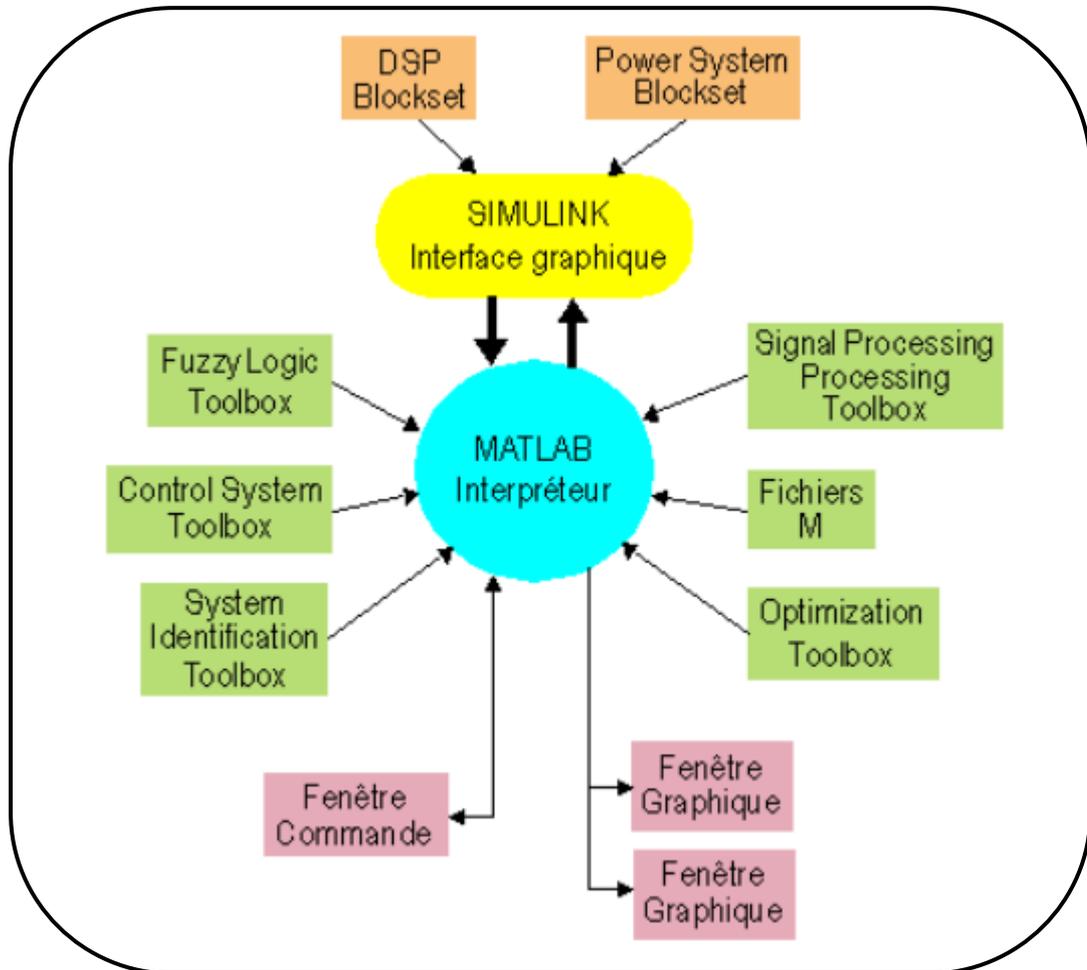
Ce dernier est régi par :

- Un courant de seuil.
- Une puissance émise.
- La longueur d'onde.
- La bande interdite (gap)
- La nivale énergétique (statistique de fermi)
- Le bruit d'intensité.

**IV.2) Etude avec Matlab :****IV.2.1) Introduction :**

MATLAB1 est un logiciel commercial de calcul interactif. Il permet de réaliser des simulations numériques basées sur des algorithmes d'analyse numérique. Il peut donc être utilisé pour la résolution approchée d'équations différentielles, d'équations aux dérivées partielles ou de systèmes linéaires, etc... L'objectif de ces séances Matlab est double : la connaissance de ce logiciel est en soi indispensable parce qu'il est de plus en plus utilisé dans l'industrie et les banques pour développer des prototypes de logiciels et tester de nouveaux algorithmes. Tous les ans entre vingt et trente pour cent des étudiants du DESS utilisent Matlab pendant leur stage. Ensuite son apprentissage va passer par la mise en pratique des algorithmes d'analyse numérique étudiés plus théoriquement dans le reste du module.

Pour cela on réalisera au cours des séances un projet directement inspiré d'un cas concret schématisant un problème industriel.



**Figure IV.1 :** Environnement MATLAB

**Fenêtre Commande :** Dans cette fenêtre, l'utilisateur donne les instructions et MATLAB retourne les résultats.

**Fenêtres Graphique :** MATLAB trace les graphiques dans ces fenêtres.

**Fichiers M :** Ce sont des programmes en langage MATLAB (écrits par l'utilisateur).

**Toolboxes :** Ce sont des collections de fichiers M développés pour des domaines d'application spécifiques (Signal Processing Toolbox, System Identification Toolbox, Control System

Toolbox, u-Synthesis and Analysis Toolbox, Robust Control Toolbox, Optimization Toolbox, Neural Network Toolbox, Spline Toolbox, Chemometrics Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox, etc.)

**Simulink** : C'est l'extension graphique de MATLAB permettant de travailler avec des diagrammes en blocs.

**Blocksets** : Ce sont des collections de blocs Simulink développés pour des domaines d'application spécifiques (DSP Blockset, Power System Blockset, etc.).

#### IV.2.2) Influence de la température sur la bande interdite (gap) :

Pour représenter cette influence on trace la courbe  $E_g=f(T)$  suivant la formule (IV.1) :

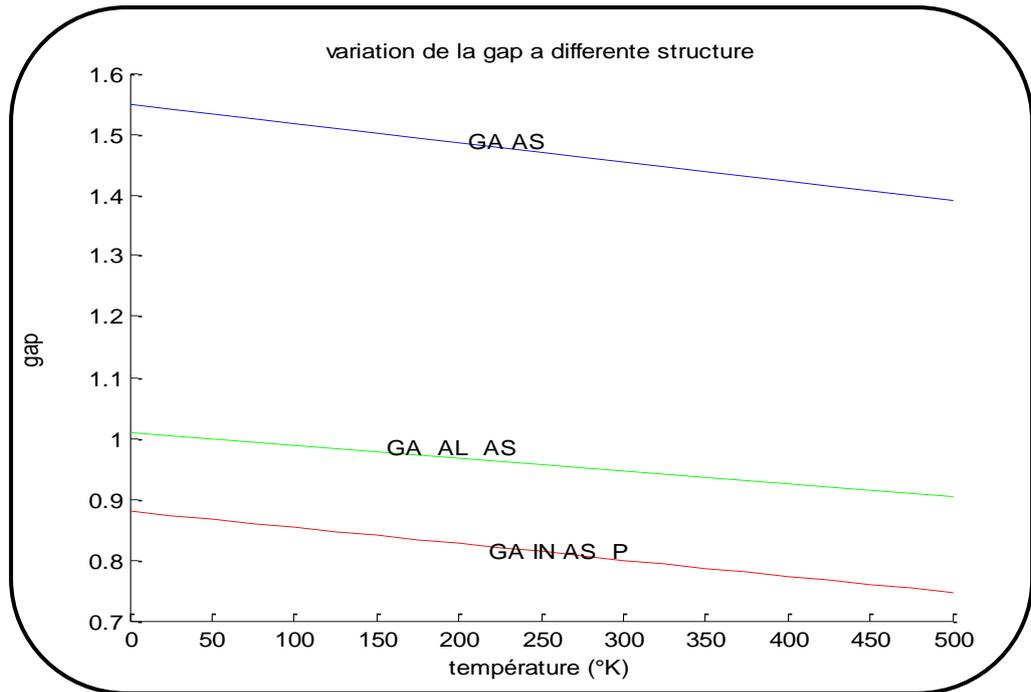
$$\mathbf{E_g = E_{g0} - B_T} \quad \text{(IV.1)}$$

**$E_{g0}$**  : Est la bande interdite (gap) à température ( $0^\circ\text{K}$ )

**$E_g$**  : Est la bande interdite à la température  $T$

**$T$**  : La température en ( $^\circ\text{K}$ )

On prend trois types des matériaux et on varie la température de  $0^\circ\text{K}$  à  $300^\circ\text{K}$  puis on a obtenu les graphes suivants



**Figure IV.2:** Représentation de la GAP pour différente structure.

### Interprétation :

Selon les courbes on remarque que plus la température augmente plus la bande interdite (gap) diminue, donc une élévation de température influe négativement sur la liaison optique.

### IV.2.3) Influence de la température sur la longueur d'onde :

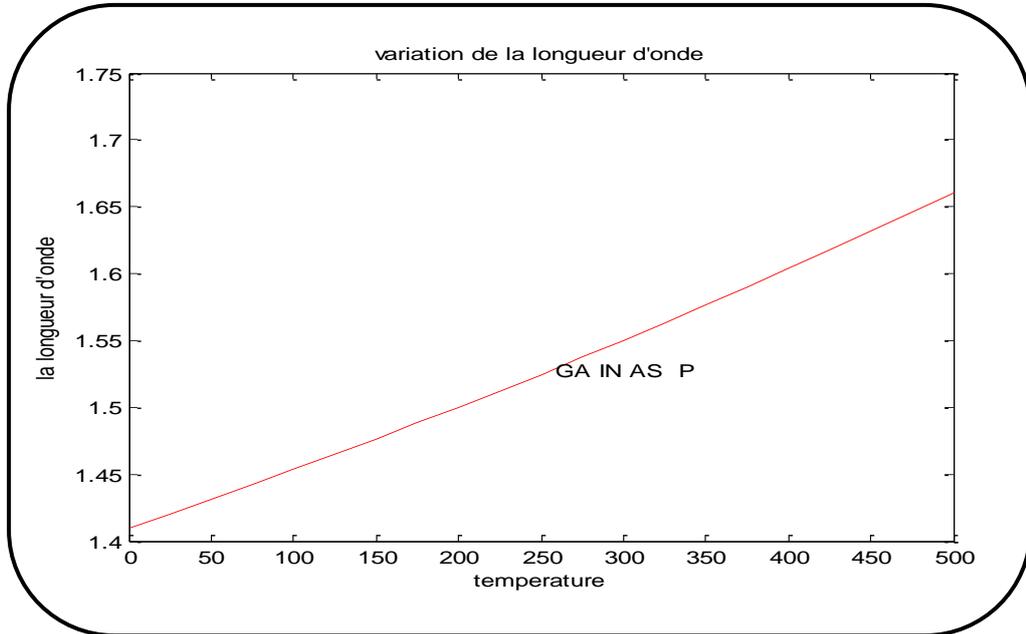
La longueur d'onde émise est liée à la largeur de bande interdite suivant la relation suivante (IV.2):

$$\lambda(\mu\text{m}) = \frac{1.24}{E_c - E_v} = \frac{1.24}{E_g^{(ev)}} \quad (\text{IV.2})$$

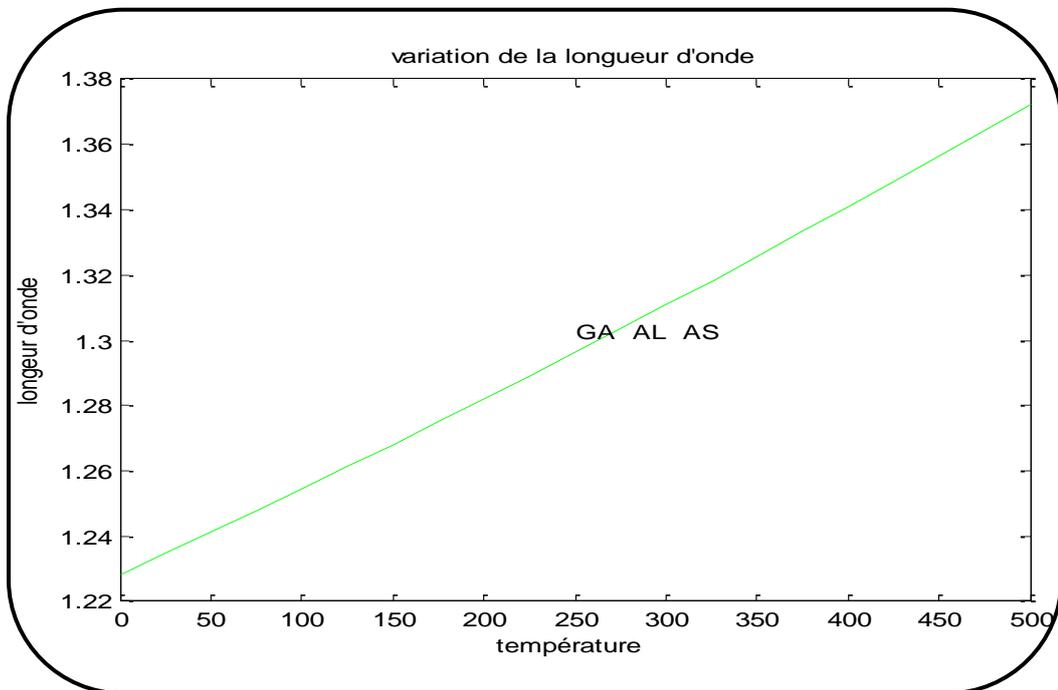
$E_g$  : est la bande interdite en fonction de la température.

Pour avoir l'effet de la température sur la longueur d'onde, on prenant les valeurs de la gap qui ont obtenu dans la première simulation  $E_g = f(T)$ , on calcul la longueur d'onde en fonction de la température pour différentes structures (Ga As, Gs Al As, Ga In As P)

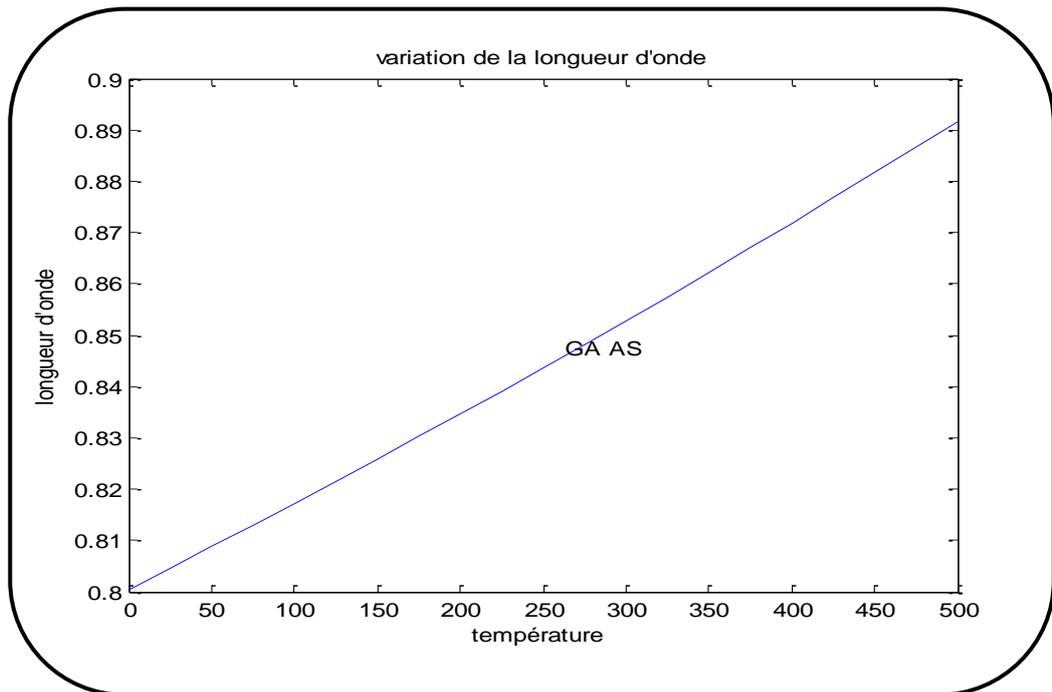
Ces calculs nous donnent les graphes suivants :



**Figure IV. 3:** Variation de la longueur d'onde pour le GA IN AS P.



**Figure IV.4:** Variation de la longueur d'onde pour le GA AL AS.



**Figure IV.5:** Variation de la longueur d'onde pour le GA AS.

### Interprétation:

Selon les graphes on a remarqué qu'une augmentation de la température va introduire une augmentation de la longueur d'onde pour les différentes structures, donc l'augmentation de la température (au-dessus de la température ambiante) est proportionnelle à la longueur d'onde, cet effet est mauvais pour l'émission de diode laser.

### IV.2.4) Effet de la température sur l'occupation des états électroniques

#### (statistique de fermi):

Les électrons sont régis par la statistique de FERMI et la probabilité d'occupation des états d'énergie E est donnée à l'équilibre thermodynamique à une température T par la formule suivante (IV.3):

$$f(E) = 1 / (1 + \exp(E - E_f / KT))$$

(IV.3)

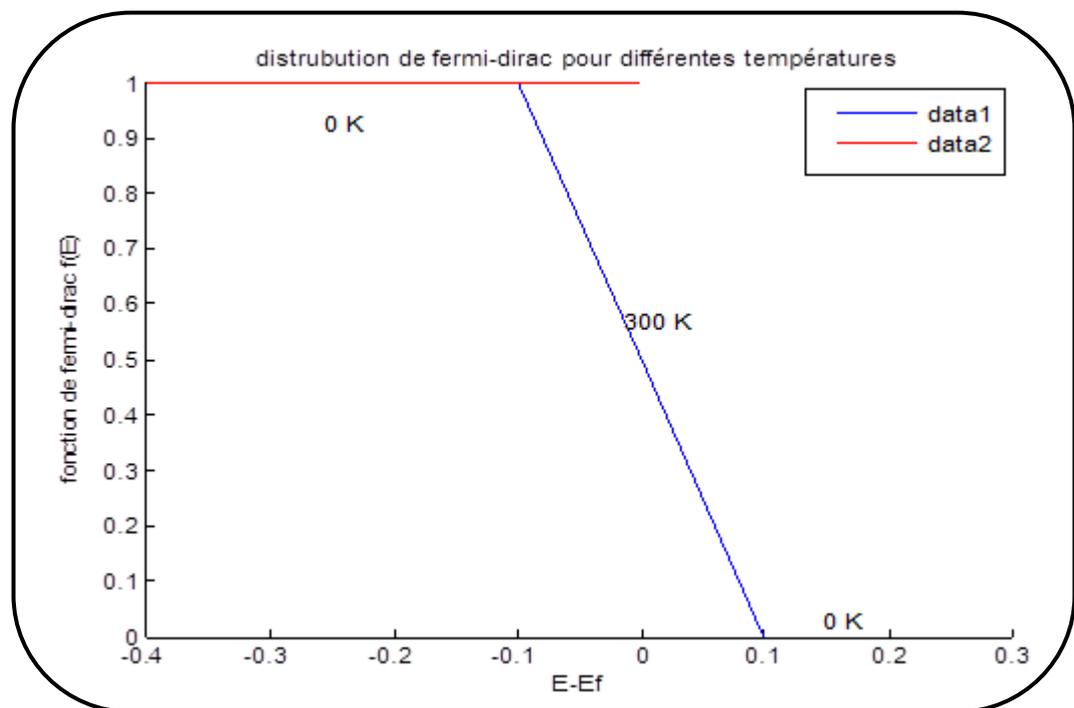
$E_f$  : L'énergie de fermi (l'énergie de dernier état occupé)

$E$  : Energie d'un état.

$K$  : Constante de Boultzman.

$T$  : Température en ( $^{\circ}$ K).

On prend cette formule pour différente température ( $0^{\circ}$ K,  $300^{\circ}$ K) et on obtient la figure suivante :



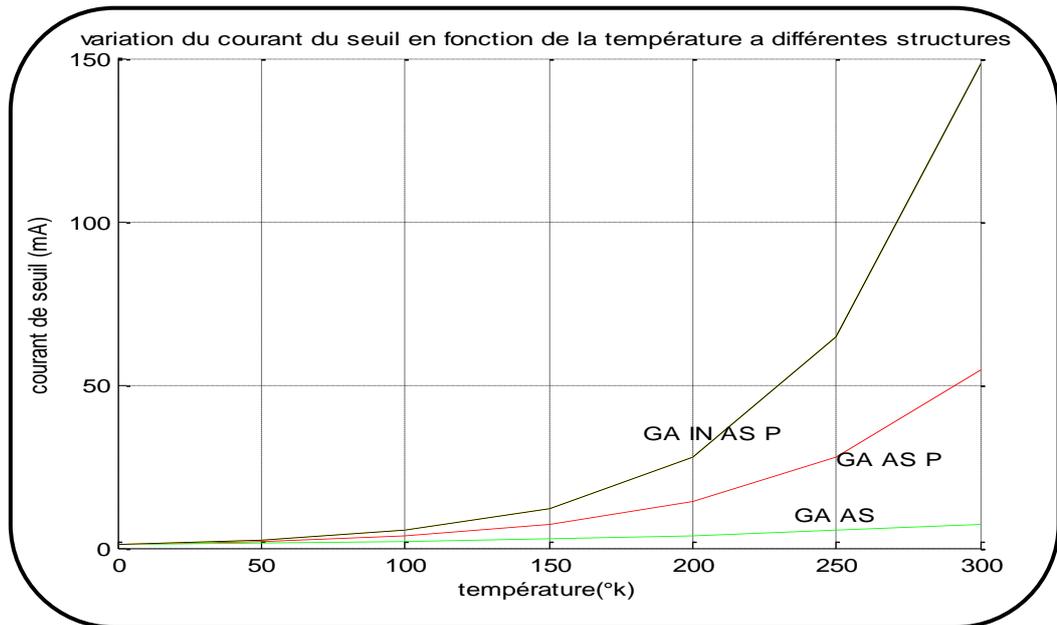
**Figure IV.6:** Distribution de Fermi-Dirac pour différentes températures

### Interprétation :

D'après les deux courbes on remarque que les probabilités d'occupation d'un niveau énergétique sont positives ; si l'énergie d'un état  $E$  est supérieur à l'énergie de fermi.

### IV.2.5) Effet de la température sur le courant de seuil :

Pour confirmer bien notre étude sur la variation de courant du seuil nous avons tracé les graphes  $I_{\text{seuil}} = F(T)$  pour différentes hétéro structures.



**Figure IV.7:** Variation du courant de seuil en fonction de la température pour différentes structures.

#### Interprétation :

On remarque que pour les trois matériaux ; le courant de seuil augmente avec la température, ceci a une incidence sur la puissance optique.

#### IV.2.6) Puissance optique:

Pour calculer la puissance optique il faut calculer tout d'abord le courant de seuil par la relation suivante (IV.4):

$$P_s = \eta_d \frac{hc}{q\lambda} (I - I_{seuil}) \quad (IV.4)$$

Tel que :

$\eta_d$  : Le rendement quantique externe.

$h$  : Constante de Planck =  $6,62 \cdot 10^{-34}$  J.s.

$C$  : vitesse de la lumière dans le vide =  $3.10^8$  m/s.

$q$  : La charge d'électron =  $1,6.10^{-19}$  C.

$\lambda$  : Longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )

$I$  : Courant de pompage (mA)

Le courant de seuil à la température ambiante (300 °K) est donné par la formule suivante (IV.5):

$$\mathbf{I_{seuil} = \frac{NqV_{act}}{\tau_{sp}}} \quad \text{(IV.5)}$$

Pour une cavité 'fabry-perot' on a la valeur suivante :

$N$  : densité de porteur ( $2.10^{18}$ ) à 300 °K.

$q$  : la charge d'électrons ( $1,6.10^{-19}$ ) à 300 °K.

$\tau_{sp}$  : taux d'émission spontané (10 ns)

$V_{act}$  : volume actif est donné par  $V_{act} = L \cdot d \cdot W$

Où :

$L$  : la longueur de la cavité (250  $\mu\text{m}$  'fabry-perot')

$W$  : la largeur de cavité (3  $\mu\text{m}$ )

$d$  : largeur du mode est donné par  $d = \lambda/2n$

$n$  : l'indice de réfraction

**Tableaux IV.1:** Courant de seuil à 300 °K pour différentes structures.

Matériaux	$\Lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	n	D ( $\mu\text{m}$ )	$V_{\text{act}}$ ( $\text{m}^3$ )	$I_s$ (mA)
<b>GA AS IN P</b>	1.55	3.2	0.242	$181.5 \times 10^{-18}$	5.808
GA AL AS	1.33	3.1	0.214	$160.5 \times 10^{-18}$	5.136
GA AS	0.85	3.5	0.121	$90.75 \times 10^{-18}$	2.904

D'après le résultat qu'on a obtenu sur le tableau ci-dessous, on peut introduire les courants  $I_0$  pour différentes structures :

**Tableaux IV.2 :** variation de courant  $I_0$  pour différentes structures.

Matériaux	$T_0$ (température caractéristique)	$I_0$ (mA) à 0°K
<b>GA AS IN P</b>	60	0.0391
<b>GA AL AS</b>	75	0.094
<b>GA AS</b>	150	0.393

Après quand on a trouvé  $I_0$ , on a calculé le courant de seuil pour différentes températures et différentes structures, ensuite on a calculé la puissance optique pour chaque température.

- On prend le courant de polarisation 5 fois plus que le courant de seuil.

**Tableaux IV.3:** Variation de la puissance et du courant de seuil pour GA AS IN P.

Température (°K)	300	313	323	333
<b><math>I_s</math>(mA)</b>	5.8030	7.2069	8.5139	10.0580
<b><math>P_0</math></b>	11.14	13.82	16.33	19.29

**Tableaux IV.4:** Variation de puissance et ducourant de seuil pour GA AL AS.

Température ( °K)	300	313	323	333
$I_s(\text{mA})$	5.1322	6.1036	6.9741	7.9688
$P_o$	11.49	13.66	15.61	17.83

**Tableaux IV.5:** variation de la puissance et ducourant de seuil pour GA AS.

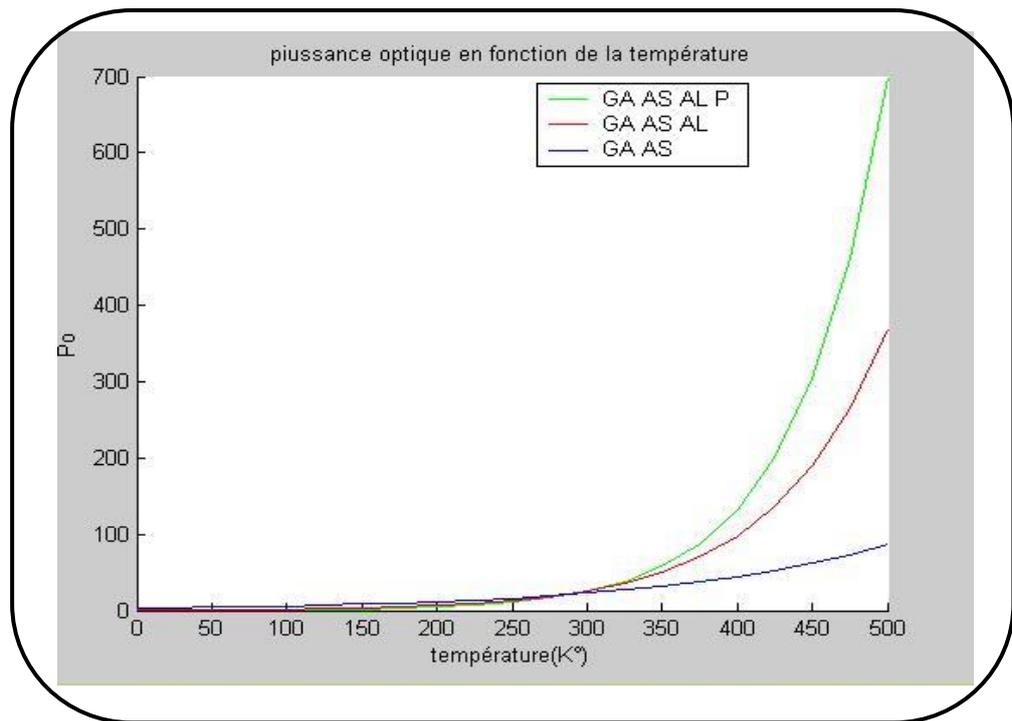
<b>Température ( °K)</b>	<b>300</b>	<b>313</b>	<b>323</b>	<b>333</b>
$I_s(\text{mA})$	2.9039	3.1668	3.3851	3.6185
$P_o$	10.09	10.99	11.76	12.56

**Interprétation:**

D'après chaque tableau on a remarqué que pour différente température et pour un courant de polarisation égale à 5 fois plus que le courant du seuil, la puissance optique est toujours en augmentation.

D'après les trois tableaux ci-dessus on a vu que la puissance est élevée dans le premier tableau c'est à dire dans le IN GA AS P.

En représentant la variation de la puissance optique en fonction de la température pour les trois cas pour l'argument  $\lambda$ ; dans un programme Matlab et un graphe qui nous permet de comparer la puissance optique à ces différentes structures.



**Figure IV.8:** puissance optique en fonction de la température pour différentes structures.

#### Interprétation :

D'après qu'on a fixé le courant de la polarisation à 10 fois plus le courant de seuil on a trouvé que la puissance optique augmente proportionnellement avec la température ; donc pour avoir une puissance optique élevée il faut que le courant de polarisation doit être très élevé (correspond à la température élevée) qui est égale à dix fois Plus de courant de seuil  $I_S$ .

D'après tous ces tableaux et ces graphes on conclut quele matériau quaternaire (*IN GA AS P*) atteindre une puissance plus élevée à une température moins élevée que les autres.

**IV.2.7) Bruit d'amplitude ou d'intensité :**

Le bruit d'intensité ou d'amplitude est donné par la relation suivante (IV.6):

$$\text{rin}(f) = 2 \frac{|\Delta s(f)|^2}{s^2} \approx \frac{\beta \tau \phi}{\left(\frac{I}{I_0} - 1\right)^3} \quad (\text{IV.6})$$

Pour une diode laser à une longueur d'onde 1.55  $\mu\text{m}$  on a :

$\beta$  : Facteur d'émission spontané =  $5 \times 10^{-5}$

$\tau \phi$  : Temps de vie de photon = 1.6 p.s

On variant le courant de polarisation et on calcul le rin(f) et RIN(f) :

**Tableaux IV.6:** variation de rin(f) et RIN(f).

$[(I/I_0)^{-1}]$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	10	100
<b>rin(f)</b>	$0.8 \times 10^{-10}$	$0.0008 \times 10^{-10}$	$8 \times 10^{-19}$	$8 \times 10^{-16}$
<b>RIN(f)</b>	-90.96	-120.96	-170.96	-140.96

**Interprétation:**

On a remarqué du tableau IV.6 que le bruit rin(f) est très grande au-dessus de seuil.

**IV.3) Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons tracés (simulé) les caractéristiques électriques et optiques de notre diode laser à semi-conducteur, la longueur d'onde en fonction de la température pour différentes structures (Ga As, Ga Al As, Ga In As P) et Effet de la température sur le courant de seuil et sur l'occupation des états électroniques...ect.

---

# Conclusion

---

## **Conclusion générale :**

L'évolution des communications optiques a permis aux réseaux de télécommunications d'atteindre un niveau de performances extraordinaires et a ouvert les portes devant l'apparition de nouvelles disciplines qui visent l'amélioration de l'existant et la création de nouveaux dispositifs pour la transmission et le traitement du signal optique.

L'étude approfondie des paramètres les plus pertinents du LASER à semi-conducteur (courant de seuil, puissance optique, longueur d'onde, spectre et bruit) nous renseigne clairement que la température est un paramètre qui influe considérablement sur ses paramètres, donc la nécessité de contrôler la diode LASER en température, pour assurer un bon fonctionnement de la liaison optique reste une exigence.

De la concentration des résultats obtenus notamment pour la puissance optique, la troisième fenêtre spectrale  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$  utilisant le matériau à base InP, InGaAsP est le mieux adopté actuellement pour les transmissions longues distances surtout avec la révolution de l'Internet à très hauts débits.

Le résultat de la simulation nous a montré clairement que la température reste un facteur déterminant pour la liaison optique, de ce fait sa stabilité thermique reste une exigence essentielle.

---

# Références

## Références

---

- [1] : A.ABDELALI, Role du rayonnement dans l'élaboration et l'étude de nanoagrégats semi-conducteurs de ZnS, thèse de magister, université MENTOURI CONSTANTINE
- [2] : K.DJERIOUAT, Optimisation du rendement des cellules photovoltaïques à hétérojonctions GaInP/GaAs, Université Abou-Bakr Belkaïd-Tlemcen.
- [3] : B. de Crémeux. Les diodes laser : des principes aux développements récents. Laboratoire CSF. Central de Recherches Thomson-France.
- [4] : B N Brahmi. « Etude ab-initio des propriétés structurales et électroniques des alliages ternaires des semi-conducteurs II-VI à base de zinc ». Thèse de doctorat Université Abou Bakr Belkaïd –Tlemcen. 2013.
- [5] : «<http://www.pavillon-orange.org/blog/?p=4850>» source web mars 2019
- [6] : « [https://www.rp-photonics.com/laser\\_applications.html](https://www.rp-photonics.com/laser_applications.html) » source web mars 2019
- [7] : C Louala . « La diode laser bleue à base de GaN », Ingénieur d'études CNRS, 2002
- [8] : J.Refi, « LED bandwidth of multimode fiber as a function of laser bandwidth and LED spectral characteristics », Journal of Light wave Technology, vol. 4n Issue 3, 1986.
- [9] : C.BENZERDJEB, S.SELKA, « Encodage de l'amplitude spectrale pour OCDMA », Université ABOUBAKR BELKAID, Tlemcen. 2013
- [10] : kafte djogoo kungwa « Etude d'une liaison de transmission par fibre optique et simulation d'un résonateur optique en anneau », mémoire présentée en 2016.
- [11] : Jean-Louis verneuil « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s », , Université de Limoges, Novembre 2003.
- [12] : Gwenaelle Girault « Contribution à l'étude de portes optiques à base d'amplificateurs optiques à semi-conducteurs pour le traitement tout-optique de signaux de télécommunication à très hauts débits » Thèse de doctorat. Université de Rennes I 2007.
- [13] : Stéphane Dellier « Contributions à la conception des circuits micro-ondes » Thèse de doctorat Université de LIMOGES 2005.

## Références

---

[14] : A.MUSSOT « Application paramétrique dans les fibres optiques pour les télécommunications à haut débit » Thèse, Université des Sciences et Technologies, Villeneuve d'Ascq 2004.

[15] : Elodie Le Cren« Etude de composants absorbants saturables à semi-conducteurs à multi-puits quantiques dopés au fer pour la régénération de signaux optiques à très hauts débit d'information » Thèse de doctorat Université de Rennes I 2004.