

## Chapitre 3

## LES DIODES LASER

### Introduction :

Le LASER est un procédé d'amplification de la lumière, défini en anglais par Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

L'amplification de la lumière par émission stimulée de photons produit une lumière qui est monochromatique, directionnelle, cohérente et de haute intensité.

Différentes sortes de lasers existent. Ils comprennent tous trois éléments nécessaires qui sont : le milieu émetteur, l'excitation et l'amplification. Parmi ces lasers nous distinguons le laser à semi-conducteur ou la diode laser.

### 1- Définition de la diode laser à semi-conducteur

La diode laser à semi-conducteur émet de la lumière monochromatique cohérente (une puissance optique) destinée, entre autres, à transporter un signal contenant des informations sur de longues distances (dans le cas d'un système de télécommunications) ou à apporter de l'énergie lumineuse pour le pompage de certains lasers (lasers à fibre, laser DPSS) et amplificateurs optiques (OFA, *Optical Fiber Amplifier*).

Les diodes lasers sont utilisées dans plusieurs domaines, particulièrement dans :

- Les télécommunications optiques.
- La lecture de CD, le stockage de l'information dans les disques optiques (CD ou DVD pour la musique comme pour l'informatique).
- La photocopie ou l'impression laser,
- les applications médicales et industrielles... (Lecteurs code barre).

Elle trouve également son application dans les dispositifs électroniques de mesure de distance, de vitesse, de guidage et de pointage précis.

### 2. Principe de fonctionnement

Comme tout laser, une diode laser fonctionne à l'aide d'un milieu amplificateur (amplification dans les semi-conducteurs par émission stimulée), d'une structure résonante (cavité de Fabry-Pérot ou autre types) et d'un processus de pompage (courant électrique).

La diode laser est un composant similaire à la diode électroluminescente, car elle est constituée d'une jonction p-n réalisée sur des matériaux à gap direct avec une région active où les porteurs injectés, par forte polarisation directe de la diode, se recombinent de façon radiative, produisant une lumière cohérente issue d'émissions stimulées de photons.

Une telle diode laser s'appelle laser à homojonction, sa structure de base est représentée sur la figure(1). Son faisceau lumineux de sortie est latéral. Il est très directif et de fréquence très précise.

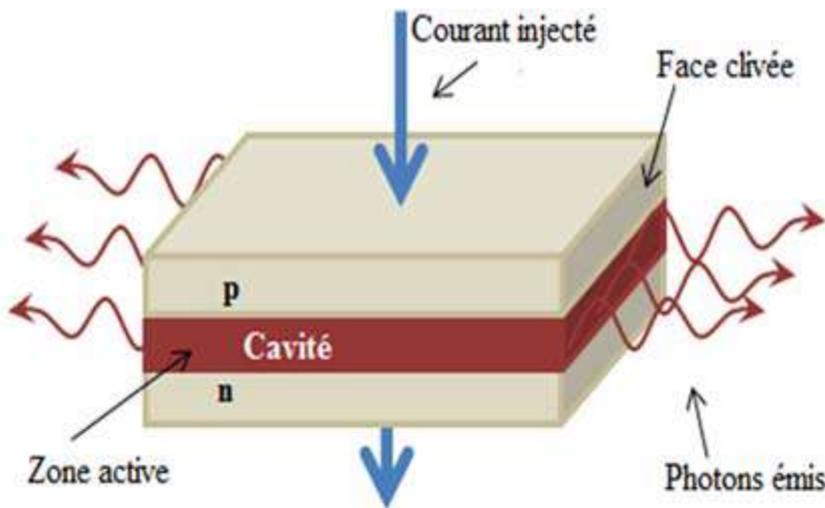


Figure 1 : Structure de base d'une diode laser.

La région active de la diode, comprise entre les régions n et p, est quasi neutre. Elle est équivalente à une cavité optique résonnante (Fabry- Pérot cavité) qui consiste en un guide d'ondes délimité par deux faces clivées perpendiculairement au plan de la jonction qui forment deux miroirs semi-transparents de facteurs de réflexion R1 et R2 (figure 2), le clivage consistant à réaliser une cassure nette et parallèle à un plan réticulaire. Les autres côtés de la structure sont rugueux pour éviter des réflexions sur les autres faces de la structure.

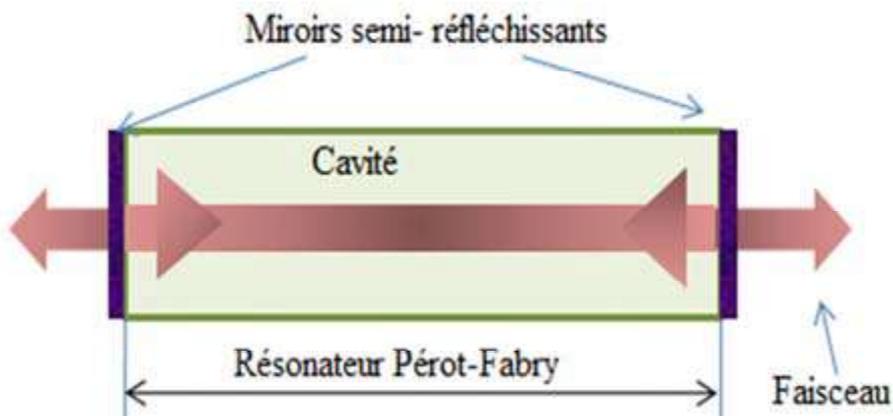


Figure 2 : Cavité optique de la diode laser.

- **La longueur L** de cette cavité résonnante est un multiple entier de la demi-longueur d'onde des photons créés par émission stimulée.  
$$L = m \frac{\lambda}{2}$$
 Avec m un entier égal à 1, 2, 3, 4, ...
- **L'épaisseur d** de la zone active est limitée par la longueur de diffusion des porteurs.

- Les dimensions types de la diode à homojonction sont :

**L** : longueur de la diode : 200 - 500  $\mu\text{m}$

**l** : largeur de la diode : 100 - 300  $\mu\text{m}$

**d** : épaisseur de zone active (au voisinage de la jonction) : 0.1 – 0.3  $\mu\text{m}$

### 3. Matériaux utilisés pour les diodes laser

La longueur d'onde de la lumière émise d'une diode laser est directement liée au matériau de la région active, région où a lieu le maximum d'émissions stimulées. Elle est une fonction de la largeur de la bande interdite et est déterminée par la concentration de dopants et la configuration de la zone active.

Ainsi, Les mêmes types de matériaux et alliages utilisés pour les LED sont aussi utilisés pour les diodes laser.

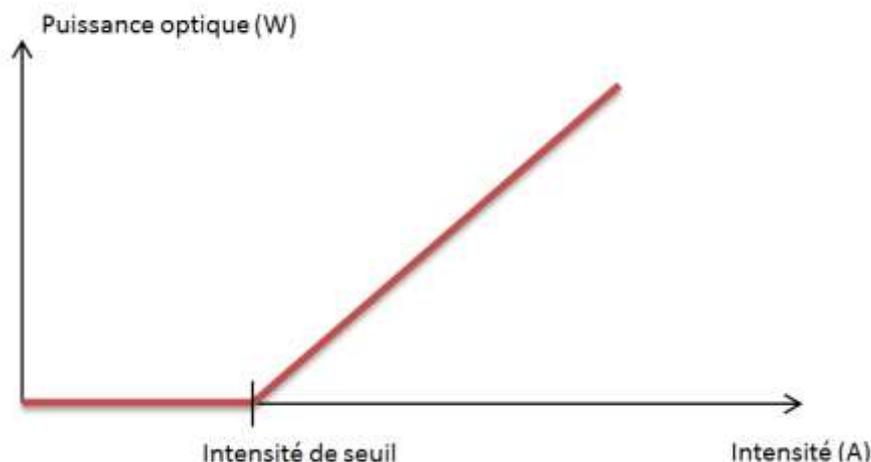
- Les diodes Laser actuelles sont à hétérojonctions et à base d'alliages ternaires (exemple : GaAlAs) et quaternaires (exemple : GaInAsP).
- Ainsi en variant la fraction  $x$  d'aluminium dans le mélange  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ , une jonction pn au GaAlAs peut émettre de 750 nm à 900 nm. L'InGaAsP est principalement utilisé pour la fabrication de composants qui émettent vers 1300 nm et 1550 nm.
- L'InGaAlP est utilisé pour les lasers à semi-conducteurs dans la plage visible à partir de 630 nm. Ces lasers sont adaptés pour la transmission de données avec des fibres plastiques synthétiques. par exemple pour les scanners de codes à barres.

## 4- Caractéristiques

### 4.1 .Caractéristiques puissance- courant:

La caractéristique d'une diode laser ressemble à celle d'une diode.

En dessous d'une valeur d'intensité seuil, la diode est absorbante, au-delà, l'émission stimulée est proportionnelle à l'intensité du courant électrique.



### Figure 3 : Caractéristique d'une diode laser.

- Lorsqu'un faible courant lui est appliqué, l'émission stimulée ainsi que les recombinaisons Auger sont négligeables, une diode laser émet de la même manière qu'une LED. La puissance rayonnement émis est proportionnelle au courant de polarisation. L'inversion de population n'a encore pas lieu.
- Lorsque le courant qui traverse la jonction devient supérieur au courant seuil, l'inversion de population a lieu. Les photons émis vont générer des photons cohérents qui vont atteindre les faces clivées du laser en se multipliant par émissions stimulées.
- Les courants seuils typiques varient de 1 à 20 - 25 mA et les puissances émises sont de l'ordre de 15 à 25 mW pour un courant de 100 mA
- En régime laser la caractéristique P(I) est quasiment droite.
- A fort courant, la courbe s'éloigne de la droite à cause de l'échauffement du composant.

#### 4.2. Rendement quantique différentiel externe de la diode

- Le rendement différentiel de la diode laser représente la pente de la caractéristique P (I), dans la région de fonctionnement normal. C'est le rapport entre la puissance optique émise et la puissance électrique absorbée  $\Delta P(W) / \Delta I(A)$ . Il est de l'ordre de 100 à 200 mW/A.
- Le rendement quantique différentiel externe est déduit de ce rendement différentiel. Il est donné par :

$$\eta = 2 \frac{\Delta P}{\Delta I} \frac{e}{h\nu} = \frac{2}{E_g(eV)} \frac{\Delta P(W)}{\Delta I(A)}$$

- Il est de l'ordre de 60%
- Le facteur 2 résulte de l'existence de deux faces émettrices.

#### 4.3. Dépendance de la température :

La caractéristique électrique d'une diode laser dépend de la température de la diode. La température modifie l'intensité de seuil et translate donc la caractéristique.

Le courant de seuil augmente rapidement avec la température. A même puissance lumineuse, la puissance électrique dissipée dans le laser augmente. Ce décalage du courant de seuil est dû à la dépendance à la température de la concentration de porteurs dans la couche active et également à la possibilité d'augmentation des processus de recombinaisons non radiatives.

- le courant seuil varie, avec la température, suivant la loi :

$$I_s(T) = I_{s0} \exp \frac{T}{T_0}$$

Où  $T_0$  est la température caractéristique de la diode. Sa valeur varie de 120 à 230 K Pour les diodes laser à base de GaAlAs et de 60 à 80 K pour les lasers à base de GaInAsP.

$I_{s0}$  est le courant de seuil.

- L'expression montre que la réaction de la diode laser aux changements de température est d'autant plus importante que la température caractéristique  $T_0$  est faible.
- Pour une bonne fiabilité avec conservation d'une puissance lumineuse optimale, il est nécessaire de réguler en température la diode.

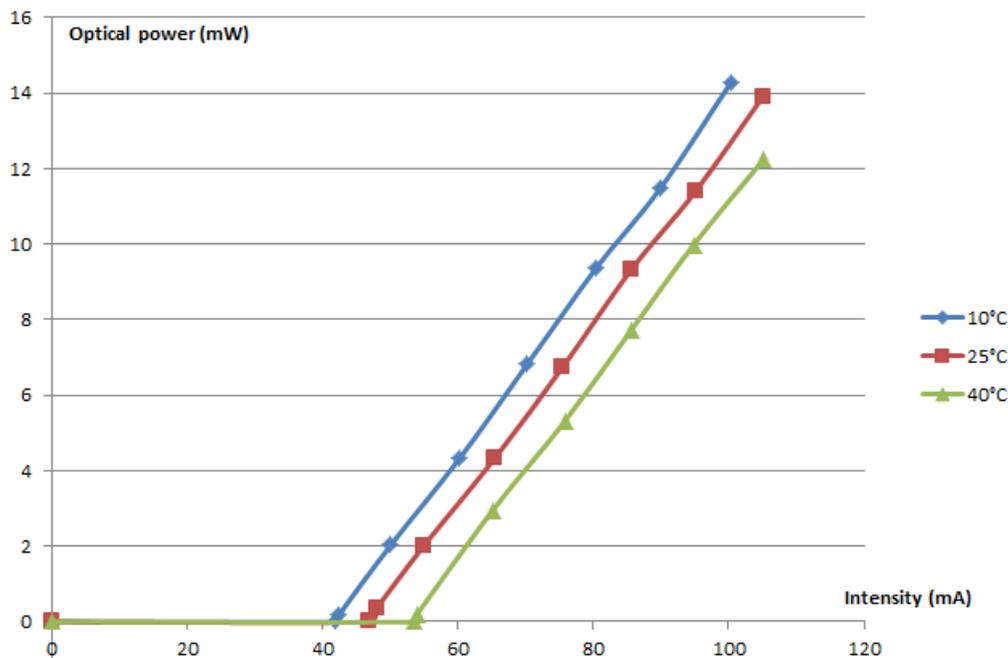


Figure 4 : Exemple d'évolution de la caractéristique d'une diode laser avec la température.

#### 4.4. Distribution spectrale du rayonnement

Le spectre optique, des cavités Fabry-Pérot, composé d'un ensemble de raies spectrales individuelles avec un espacement régulier  $\Delta\lambda$  appelées aussi modes longitudinaux (figure 5). La largeur spectrale de chaque raie dépend de nombreux facteurs, en particulier de la puissance de la diode laser. Ces raies sont comprises à l'intérieur d'une enveloppe plus large appelée courbe de gain.

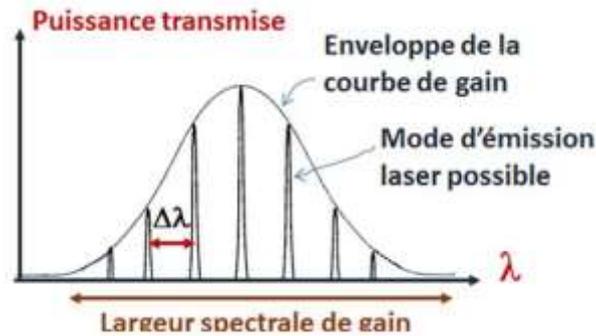


Figure 5 : Spectre d'émission d'une diode laser.

Le spectre d'émission de la diode laser est conditionné par le gain de la cavité, donc par le courant de seuil. La répartition des modes varie avec le courant de polarisation et présente un décalage vers les longueurs d'onde les plus élevées quand le courant augmente. Ainsi, comme le montre la figure (6), lorsque :

- a-  $I < I_s$  : on obtient un spectre continu à forme parabolique avec  $\Delta\lambda \approx 20$  nm. Avec une puissance optique émise proportionnelle au taux de recombinaisons spontanées.
- b-  $I \approx I_s$  : l'Intensité lumineuse croît rapidement faisant apparaître une série de modes séparés de quelques Å.
- c-  $I > I_s$  : La cavité résonne sur plusieurs modes avec concentration de la lumière sur le mode principal.

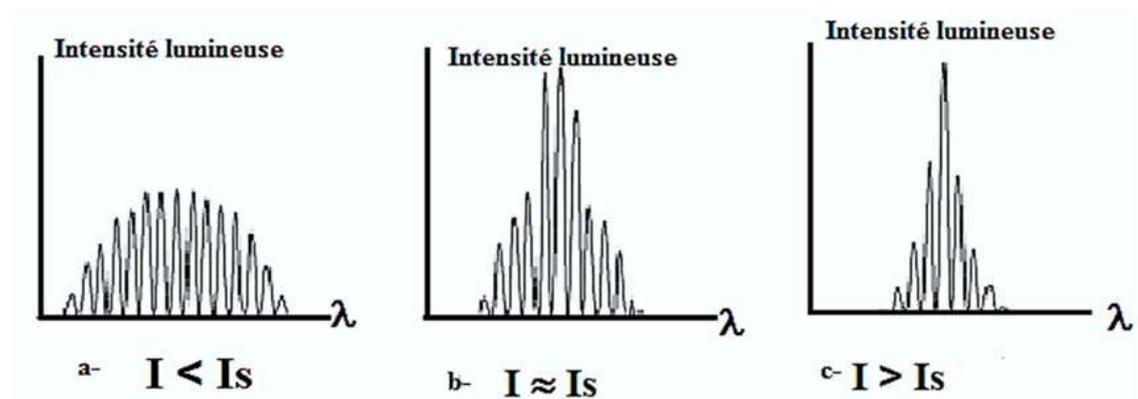


Figure 6 : Evolution du spectre d'émission d'une diode laser avec le courant de polarisation

Dans certaines conditions la largeur de raie peut n'autoriser qu'un seul mode à  $I = I_s$ , l'émission de la diode est alors monomode.

On distingue alors deux types de diodes lasers :

- Les diodes lasers multimodes : plusieurs modes d'oscillation. Moins coûteuses.

- **Les diodes lasers monomodes : un seul mode d'oscillation. Plus performantes mais aussi plus coûteuses.**