

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi-

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière

Filière Physique



جامعة محمد البشير الإبراهيمي « برج بوعريريج »

كلية العلوم و التكنولوجيا

قسم علوم المادة

فرع فيزياء

# Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLOME DE : Licence

**Filière : Physique**

**Option : Physique des matériaux**

## THÈME :

**LES PRINCIPES DE BASE DES COMPOSANTS  
OPTOELECTRONIQUES**

**Préparé par : HADIDANE ROCHDI**

**SILEM ABDELMOUMENE**

Devant le jury :

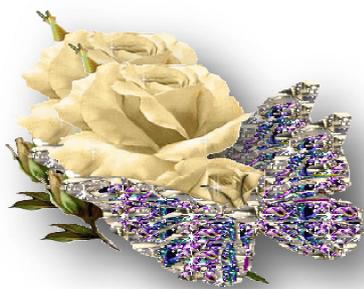
**Soutenu le : 10/06/2015**

Akmoum khemisti

**Encadreur : Latreche Abdelhakim**

Mechouma farid

**Année Universitaire 2014-2015**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته



## Remerciements

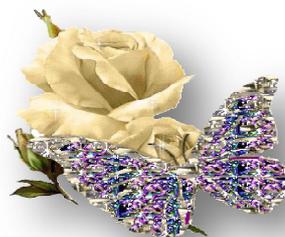
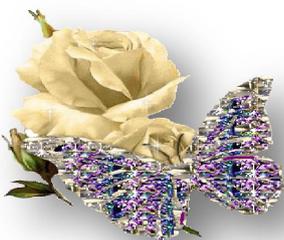
Avant tout propos, nous remercions **ALLAH** le tout-puissant de m'avoir donné le courage et la volonté pour pouvoir élaborer ce travail et le présenter.

En effet, le présent mémoire de licence n'aurait pu avoir le jour sans la contribution de nombreuses personnes, dont je me fais aujourd'hui un plaisir et un devoir de les remercier.

Je suis reconnaissant à mon encadreur **Latreche Abdelhakim** qui m'a aidée à progresser dans ma recherche grâce à ses conseils, son esprit critique et son soutien tout long de la réflexion de cette recherche. Et qui a bien voulu assurer le suivi de mon étude à travers son encouragement et ses précieux conseils qui m'ont été très utiles dans l'élaboration de cette recherche.

Je tiens à remercier vivement tout mes enseignants de l'université **BBA** Sur tout; M :Mihoubi, Dr :Roibeh Z, M : lebga N, Simohamad B... qui nous ont aidés à l'accumulation des connaissances nécessaires durant le cursus universitaire.

Finalement, je remercie vivement les membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.



## DÉDICACE

Je offre ce modeste travail à ma famille :

Mon père

Ma mère

Mes frères et Mes sœurs

Sur tout

Mes grand-pères

Mes grand-mères

Et tout la famille Silem

A tous mes amis sur tout; Mouhamed, ishak, yassin, bilel,  
khalef, zohir, abdeloihad, faress, abdel djallil,  
abdeloihad, abdelmotalib, tayeb...

A tous mes enseignants qui ont contribués à ma formation et  
qui m'ont soutenue durant mon cursus scolaire.

A mon cher binôme **Hadidane Rochdi** qui m'a toujours soutenue  
durant les moments les plus difficiles et qui a toujours su  
dessiner le sourire sur mon visage.

Je le dédie aussi à toute la promotion de la physique.

Et tout qui me connaît.

Un grand merci à toute personne qui aura l'occasion de lire ce  
dédicace.

Silem Abdelmoumen



## DÉDICACE

*Offre ce modeste travail à ma famille :*

*Mon père mouloud*

*Ma mère salîha*

*Mes frères*

*Mes sœurs*

*Petit poulette Khalîl*

*Ma grand-père(mère) Abdallah, wraïda*

*A tous mes amis sur tout; zohir, khaled, abdelldjalile, fares,  
bilel, anisse, yacin, ishak, messaoud, mohamad,  
Abdelhak, Zekri, hamza...*

*A tous mes enseignants qui ont contribués à ma formation et  
qui m'ont soutenue durant mon cursus scolaire.*

*A mon cher binôme Silem Abdellmoumene qui m'a toujours  
soutenue durant les moments les plus difficiles et qui a toujours  
su dessiner le sourire sur mon visage.*

*Je le dédie aussi à toute la promotion de la physique.*

*Et tout qui me connaît.*

*Un grand merci à toute personne qui aura l'occasion de lire ce  
dédicace.*



*HADIDNE ROCHDI*

Sommaire

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : : Généralités sur semi-conducteurs</b>	
<b>1.Introduction Sur Les Semi-Conducteurs .....</b>	<b>2</b>
<b>2 .les semi-conducteurs intrinsèques .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Densité de porteurs .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Niveau de fermi intrinsèque .....</b>	<b>4</b>
<b>3. semi-conducteur extrinsèque .....</b>	<b>5</b>
<b>3 .1. semi-conducteur extrinsèque type N .....</b>	<b>5</b>
<b>3 .2. Semi-conduction extrinsèque type P.....</b>	<b>5</b>
<b>3 .3. Concentration extrinsèque .....</b>	<b>6</b>
<b>3 .3.1. Densité des porteurs .....</b>	<b>6</b>
<b>3 .3.2. Niveau de fermi .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Semi-conducteur à gap direct et indirect .....</b>	<b>7</b>
<b>5. Jonction pn .....</b>	<b>8</b>
<b>5.1. Formation de la jonction PN.....</b>	<b>8</b>
<b>5.2. Champ électrique interne et entraînement.....</b>	<b>8</b>
<b>5.3. Polarisation de la jonction en direct.....</b>	<b>10</b>
<b>5.4. Polarisation de la jonction en inverse.....</b>	<b>10</b>
<b>5.5. Caractéristiques courant-tension.....</b>	<b>11</b>
<b>Chapitre II : composants d'émission et de réception des photons</b>	
<b>1. Interaction électron-photon - Transitions radiatives .....</b>	<b>12</b>
<b>2. Absorption et émission d'un photon .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Absorption .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.Emission spontanée .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.Emission stimulée .....</b>	<b>14</b>

## Sommaire

---

<b>3. les composants de réception des photons .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1. Cellule photoconductrice .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.1: structure et principe de fonctionnement.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.2. Les applications de la photoconductrice .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. Cellule solaire - photovoltaïque .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.1.Définition .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.2.Principe de fonctionnement .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.3.Utilisation .....</b>	<b>19</b>
<b>4. les composants d'émission des photons.....</b>	<b>19</b>
<b>4. 1. Diode électroluminescente – LED .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.1.Définition .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.2.Principe de fonctionnement .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1.3.Utilisation des LEDs .....</b>	<b>21</b>
<b>4.2. Diode laser -LD .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.1.définition .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.2. Principe de fonctionnement .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2.3. Deux exemple diode laser.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2. 4 .Applicas .....</b>	<b>27</b>
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>28</b>

### Introduction Générale

L'opto-électronique est à la fois une branche de l'électronique et de la photonique. Elle concerne l'étude des composants électroniques qui émettent ou interagissent avec la lumière.

Le but de ce travail est de décrire quelques composants d'émission et de réception des photons. Ces composants sont très utilisés dans les produits électroniques. On peut citer les cellules photovoltaïques pour capter l'énergie solaire, les diodes LED amenées à jouer un rôle de plus en plus important pour l'éclairage, les diodes laser en particulier dans les lecteurs optiques,

Dans tous les cas, il s'agit d'étudier l'interaction des photons avec le semiconducteur en distinguant les semiconducteurs à gap direct et à gap indirect. Le domaine des composants optroniques est très vaste. Nous ne présenterons dans ce travail que les simples principes de base et les principaux composants. Le mémoire est organisé de la manière suivante: un premier chapitre sera consacré à l'étude des semiconducteurs de type n et p ainsi la formation de la jonction pn qui est la base de tous les composants opto-électronique tels que: les cellules photovoltaïques, les diodes LED et les diodes laser. Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude des différentes structures de ces composants ainsi les principes de leurs fonctionnements en citant quelques leurs applications. Nous concluons ce travail par une conclusion générale.

## Chapitre I : Généralités sur les semi-conducteurs

## 1 - Introduction Sur Les Semi-Conducteurs

-Les semi-conducteurs, du point de vue des propriétés électrique il existe des matériaux : les isolants, les semi-conducteurs et les conducteurs, c'est la structure des bandes électroniques d'un matériau qui est responsable de son appartenance à l'une de ces trois catégories (figure 1.1), pour un conducteur, il y a continuité des bandes de valences et bandes de conduction (sans bande interdite). A l'inverse il existe une bande interdite entre les bandes de conduction et les bandes de valence pour les isolants et les semi-conducteurs. La différence entre les deux catégories vient de la taille de cette bande interdite. Si la largeur de cette bande est de l'ordre de trois électron-volts ( $3\text{eV}$ ), le matériau est un semi-conducteur, sino il est isolant. Les semi-conducteurs sont des matériaux dont la conductivité, intermédiaire entre celles des isolants et des conducteurs, varie sur plusieurs ordres de grandeur sous l'effet de : la température, l'éclairement, la présence d'impuretés (dopage). Beaucoup de semi-conducteur, comme le germanium (Ge), le silicium (Si), l'arséniure gallium (GaAs) sont utilisés en électronique. Mais le rôle du silicium est de loi prédominant.

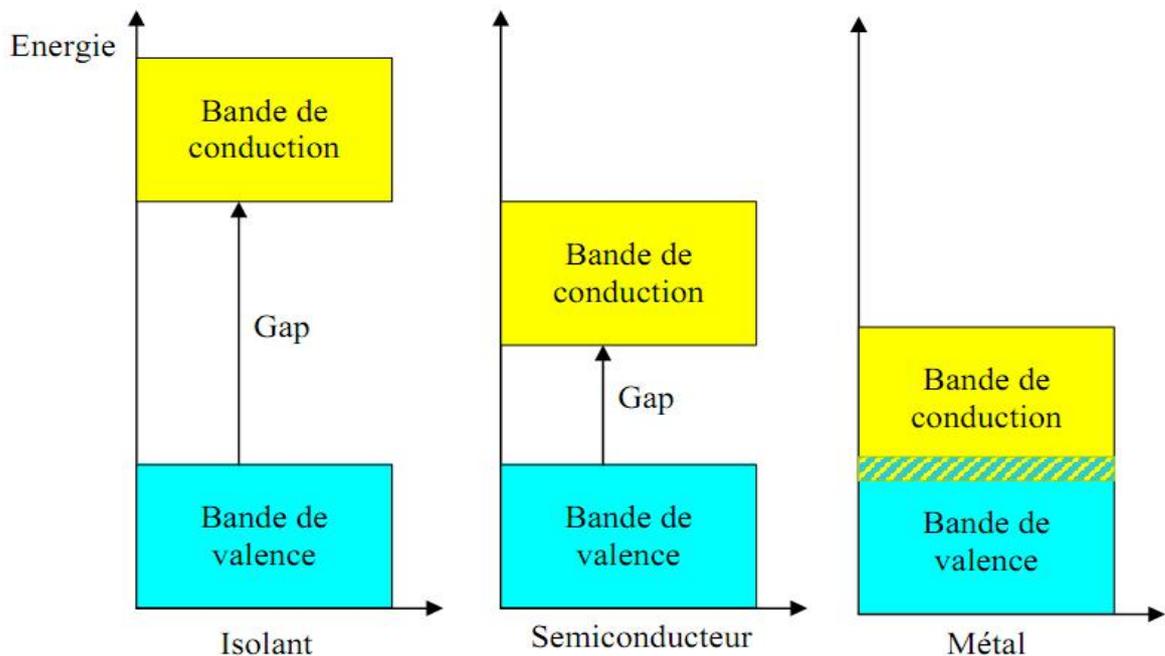
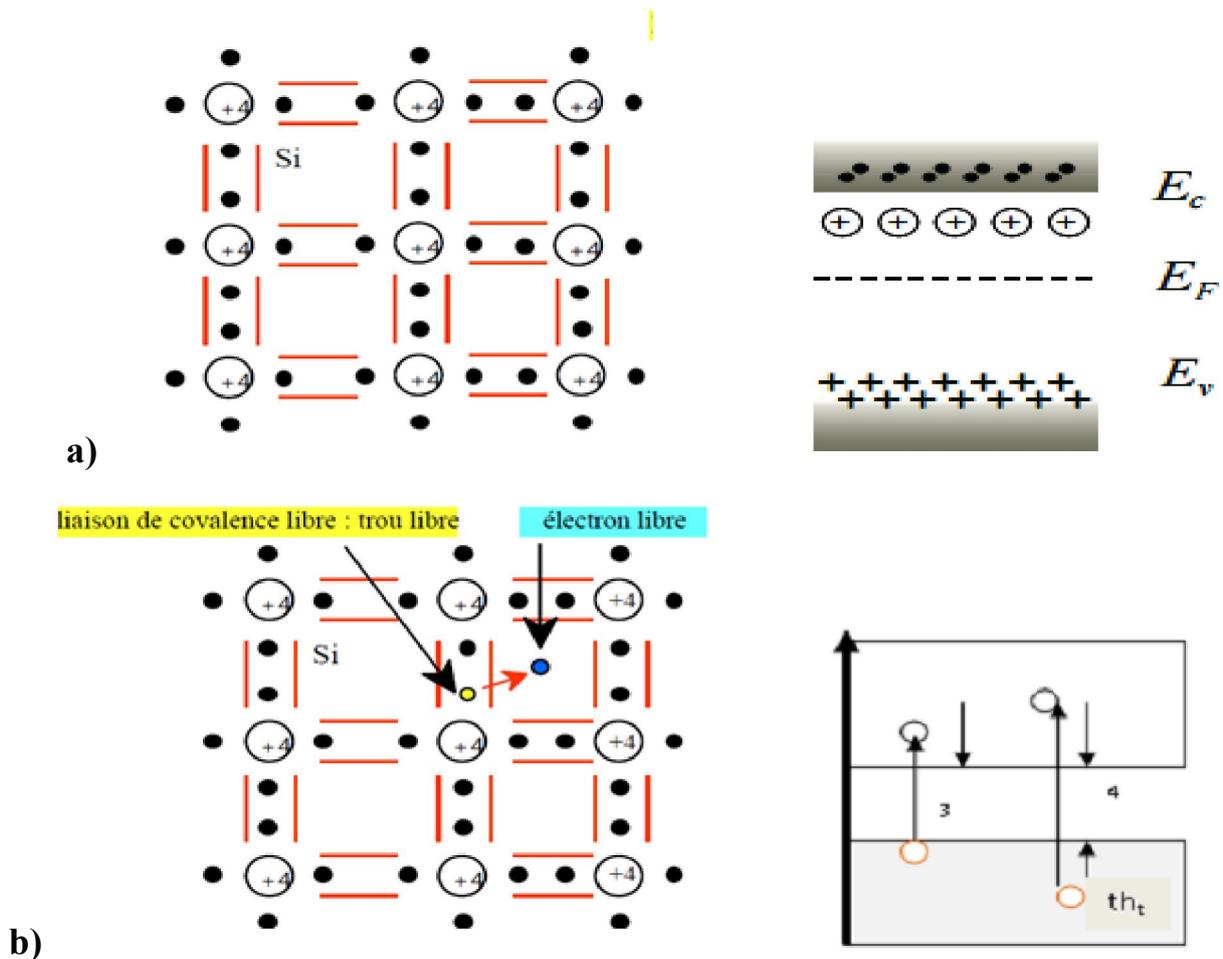


Figure 1.1 : Structure de bande des trois catégories de matériaux.

## 2. semi-conducteur intrinsèque :

Un semi-conducteur intrinsèque est un semi-conducteur dépourvu de toute Impureté susceptible de modifier la densité des porteurs. Les électrons de la bande de conduction ne peuvent résulter que de l'excitation thermique d'électrons liés de la bande de valence. Il en résulte que les électrons et les trous existent nécessairement par paires et  $n = p = n_i$  est appelé densité des porteurs intrinsèques, c'est une caractéristique du semi-conducteur à une température donnée.



Figur 2 : a) liaison de covalence b) création d'un pair électron trou

### 2.1. Densité de porteurs :

Un semi-conducteur intrinsèque n'est jamais dégénéré de sorte que le produit  $np = n_i^2$  est donné par l'expression (1.1). Il en résulte que la densité de porteurs intrinsèques s'écrit:

$$n_i = (N_c N_v)^{1/2} e^{-E_g/2KT} \quad (1.1)$$

Cette densité de porteur intrinsèque est une fonction exponentielle du gap du matériau et de la température. A la température ambiante on obtient

	Si	Ge	Gap	GaAs	InP
$n_i$ (cm <sup>-3</sup> )	10 <sup>10</sup>	2.10 <sup>13</sup>	1	3.10 <sup>6</sup>	3.10 <sup>7</sup>

**2.2. Niveau de fermi intrinsèque :**

Le niveau de fermi intrinsèque (correspondant au matériau intrinsèque), se trouve à peu près au milieu de la bande interdite du matériau, théoriquement au milieu à  $T = 0K$  . Pour  $T \neq 0K$  , on peut déterminer le terme correctif à partir des expressions soit :

$$E_{fi} = \frac{E_c + E_v}{2} + \frac{3}{4}kT \cdot \text{Log}\left(\frac{m_h^*}{m_e^*}\right) \tag{1.2}$$

$m_h^*$  : Masse effective des trous.

$m_e^*$  : Masse effective des électrons.

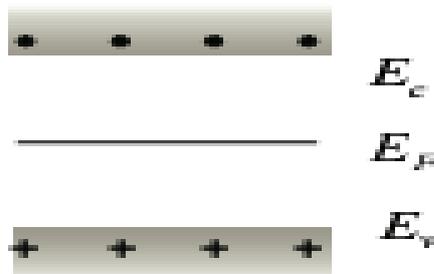
Où  $E_{fi}$  : position du niveau de fermi dans un semi-conducteur intrinsèque.

A  $T = 0K$  , le niveau de fermi dans un semi-conducteur intrinsèque est exactement au milieu de la bande interdit.

Lorsque la température augmente, le niveau de fermi s'éloigne légèrement du milieu sauf si :

$$m_e^* = m_h^*$$

$E_c$  : Énergie de conduction,  $E_v$  : Énergie de valence,  $E_F$  : Énergie de frémi



**Figure 1.3 :** position de niveau de fermi intrinsèque.

### 3. Semi-conducteur extrinsèque :

Un semi-conducteur extrinsèque c'est l'opération ou on introduit d'une manier contrôlée des atomes étranges "impuretés chimiques" à l'intérieur le réseau cristallin intrinsèque, c'est le dopage du semi-conducteur, la quantité d'impureté introduite est de l'ordre de 1 atome étranger pour  $10^6$  atomes du semi-conducteur, ces atomes étrangers peuvent se mettre en position de substitution a l'intérieur du semi-conducteur.

#### 3.1. Semi-conducteur extrinsèque type N :

Considérons un semi-conducteur intrinsèques introduisons par diffusion thermique, ou par bombardement ionique une faible quantité d'atomes étranger pentavalentes (P, As, Sb, Bi), il peut mettre quatre de ses électrons de valence en liaison covalente avec les atomes voisins du semi-conducteur, il lui reste un électron excédentaire. L'énergie de liaison de l'électron excédentaire est faible et elle donnée par l'équation (1.3). Les électrons sont les porteurs de charge majoritaires et les trous sont les porteurs de charge minoritaires  $n_N \gg p_N$ , a partir de  $150^\circ\text{K}$  tous les atomes donneur seront  $n=N_d$ .

$$E_d = 13,58 (m^* / m_0 \epsilon_0^2) \tag{1.3}$$

$\epsilon_0$  : Permittivité du vide  $8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$

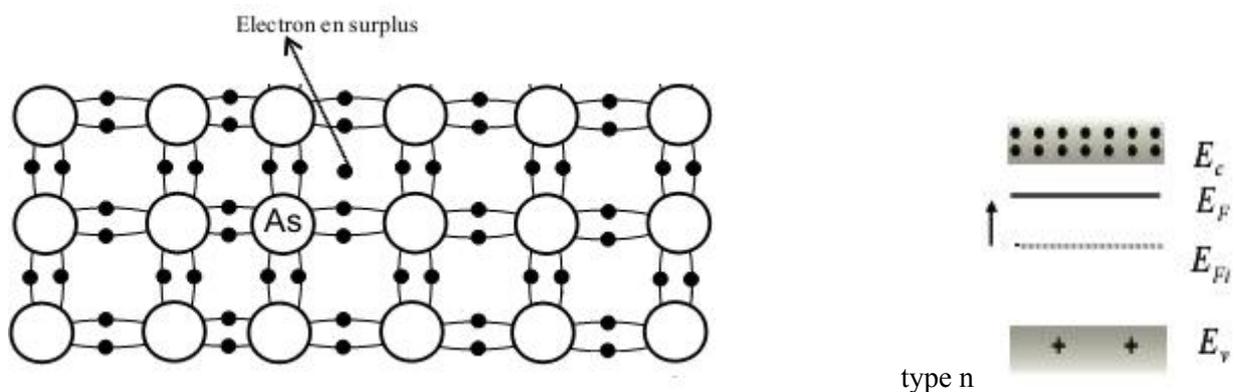


Figure 1.4: effet du dopage pour augmenter le nombre d'électrons libres.

#### 3.2. Semi-conduction extrinsèque type P:

Pour un semi-conducteur intrinsèque quadrivalent dopé avec des impuretés trivalent (B, Al, Ga, In), le nombre de trou est très grand devant le nombre d'électrons,  $P_p \gg n_p \rightarrow P = N_o$  (si toutes impêtres ionisez) et les atomes accepteurs sont ionisée a des  $T=150^\circ\text{K}$ , et dans ce type P l'énergie nécessaire pour passé un électron de la bande de valence jusqu' au niveau accepteur est

$$E_o = 13,6 (m^* / m_0 \epsilon_0^2) \tag{1.4}$$

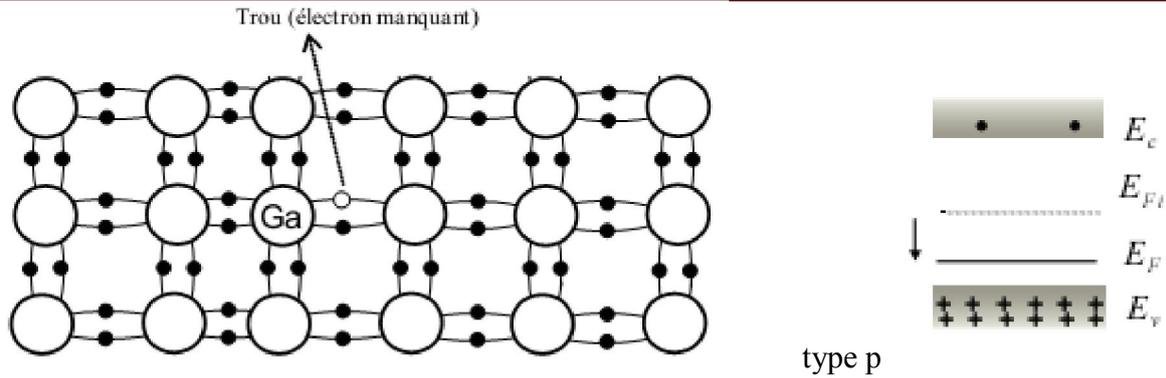


Figure 1-5: effet du dopage pour augmenter le nombre des trous libres.

**3.3. Concentration extrinsèque :**

**3.3.1. Densité des porteurs :**

Si on considère un semi-conducteur possédant une densité  $N_d$  d'atomes donneur et une densité  $N_a$  d'atomes accepteurs on peut estimer qu'à la température ordinaire toutes les impuretés sont ionisées, il en résulte le bilan des charges suivant :

$$n + N_o = p + N_d \tag{1.5}$$

Dans le cas de semi-conducteur dopés n ou p la relation (1.5) se simplifie.

Lorsque l'on tient compte des ordres de grandeur des différentes concentrations :

**a-Semi-conducteur dopé n :**

$$N_o = 0 \text{ et } N_d \gg p \rightarrow n = N_d$$

Les électrons sont les porteurs majoritaires.

**b-Semi-conducteur dopé p :**

$$N_d = 0 \text{ et } N_o \gg n \rightarrow p = N_o$$

Les trous sont les porteurs majoritaires.

**3.3.2. Niveau de fermi :**

le niveau de fermi est plus proche à la bande de conduction si on a un dopage de type N et par contre, si on a un semi-conducteur de type P, le niveau de fermi est très proche à la bande de valence (Voir la figure 1.6).

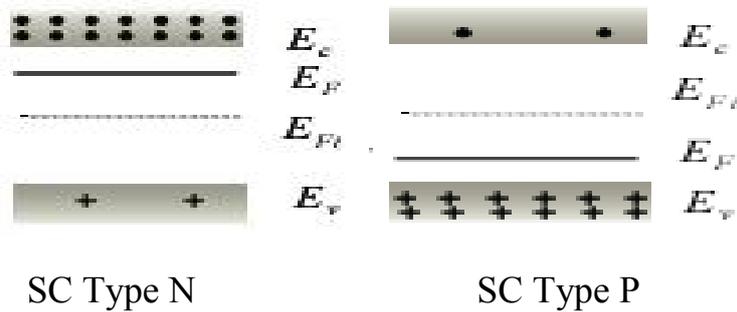


Figure 1-6 : position des niveaux de Fermi pour un semi-conducteur extrinsèque.

**4. Semi-conducteur à gap direct et indirect :**

les courbes  $E_{c,v}(\vec{K})$  dites aussi "relations de dispersion " où  $E_c$  est le base de la bande de conduction,  $E_v$  le haut de la bande de valence et  $\vec{K}$  le vecteur d'onde associé à un électron (quantité de mouvement  $\vec{P} = m\vec{V} = \hbar\vec{K}$ ) font apparaitre deux types de semi-conducteur : ceux pour lesquels minimum de  $E_c$  et maximum de  $E_v$  se produisent pour la même valeur de  $\vec{K}$ , que l'on appellera SC à gap direct, et les autres appelés SC à gap indirect.

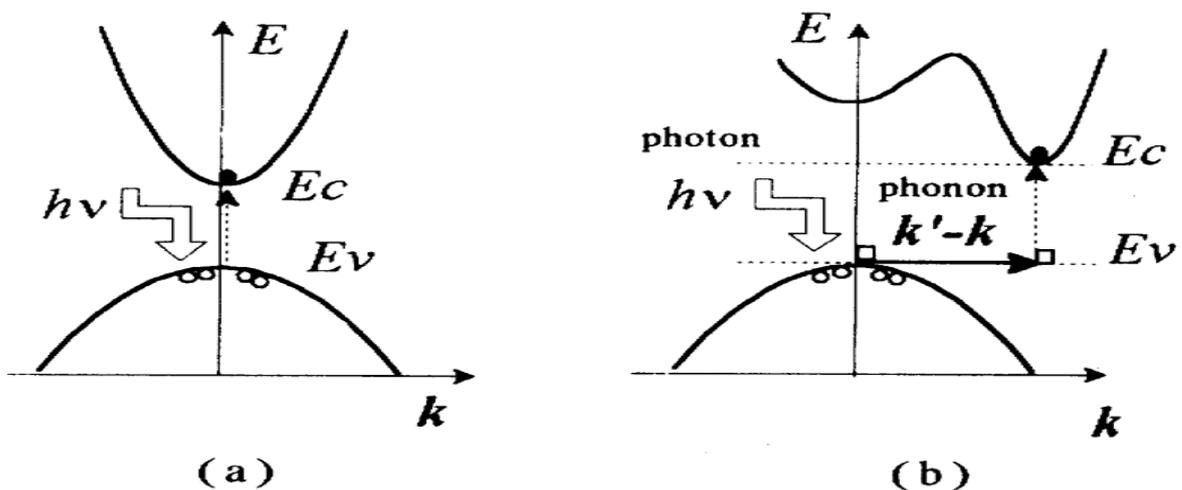


Figure 1-7 : structure de bande : a) gap direct, b) gap indirect.

La nature de gap joue un rôle fondamental dans l'interaction du semi-conducteur avec un rayonnement électromagnétique (particulier lumineux), et donc dans le fonctionnement des composants utilisés en optoélectronique. On peut remarquer pour l'instant, que dans un semiconducteur à gap direct un électron du haut de la bande de valence qui acquière une énergie  $E_G$  passe dans la bande de conduction sans changer de quantité de mouvement ( $\Delta p = \hbar\Delta K = 0$ ) ce qui n'est pas le cas dans un semiconducteur à gap indirect.

On rappelle aussi que lors de toute transition entre niveaux d'énergie, les lois de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement doivent s'appliquer et que la quantité de mouvement associée à un photon :

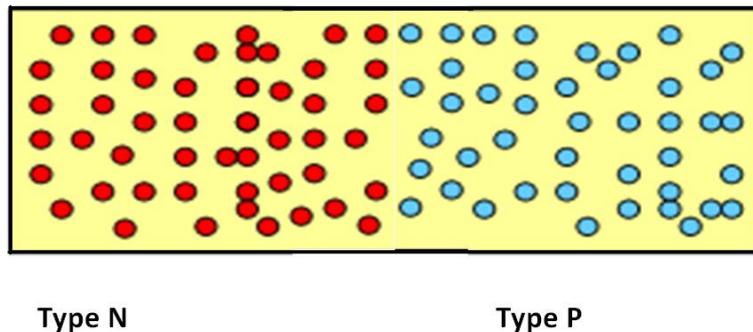
$$P_{ph} = mc = \frac{mc^2}{c} = \frac{E_{ph}}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = \hbar K_{ph} \quad (1.6)$$

Est typiquement  $10^3$  fois plus petite que celle correspondant aux variations  $\Delta K$  nécessaires dans un semiconducteur à gap indirect. Ainsi les photons ne peuvent pas y assurer seul le transfert de quantité de mouvement lors des transitions  $BC \leftrightarrow BV$ .

## 5. Jonction PN :

### 5.1. Formation de la jonction PN :

La diode à jonction PN est un composant électronique extrêmement utile et répandu, principalement parce qu'il peut redresser une tension. Une jonction PN est l'accolement d'une région dopée P et d'une région dopée N comme le montre sur la figure. Lors de cet assemblage les porteurs de charges libres s'attirent et se recombinent dans la zone de jonction où les porteurs libres disparaissent : c'est la zone de transition.



Type N

Type P

Figure 1-8 : principe de la création d'une jonction PN

### 5.2. Champ électrique interne et entraînement :

Les forces électriques internes ont pour origine la formation d'une région de déplétion au voisinage direct de la jonction métallurgique. La région de déplétion est formée à la suite des deux mécanismes décrits ci-dessous.

1. Dans un premier temps, les électrons de la région n qui diffusent dans la région p laissent derrière eux des donneurs ionisés. Ceux-ci étant immobiles (car ancrés au réseau), ils ne sont plus neutralisés électriquement par les électrons. Il apparaît donc une charge d'espace positive au voisinage direct de la jonction métallurgique, coté n. Parallèlement, les trous qui diffusent de la région p vers la région n découvrent des ions accepteurs, chargés

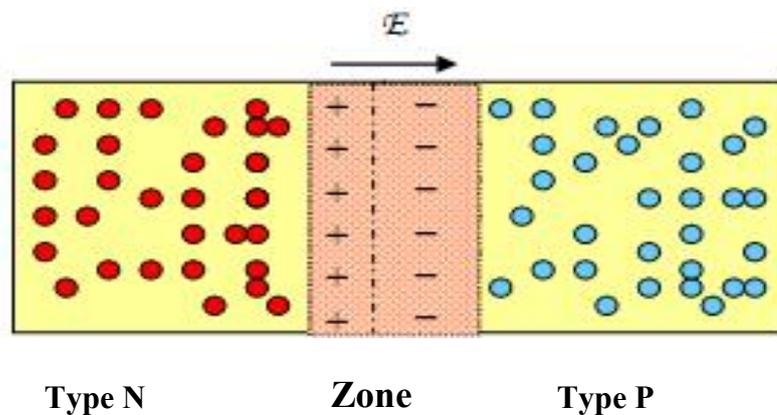
négativement, ce qui engendre une charge d'espace négative au voisinage direct de la jonction, coté p.

2. Dans un deuxième temps, les porteurs ayant diffusé se retrouvent dans une région où ils sont minoritaires ; par exemple, les électrons qui ont diffusé de la région n vers la région p sont minoritaires dans cette dernière. En conséquence, les porteurs ayant traversé la jonction subissent des recombinaisons. La disparition d'un grand nombre de porteurs de charge au voisinage direct de la jonction métallurgique renforce la formation d'une charge d'espace initiée par la diffusion.

Comme la charge d'espace est positive coté n et négative coté p, elle produit un champ électrique interne dirigé de la région n vers la région p. Ce champ électrique affecte la diffusion des porteurs libres : un trou qui diffusé de la région p vers la région n est soumis à une force de Coulomb dirigée vers la région p. De même, un électron diffusent de la région n vers la région p est freiné par la force de Coulomb due au champ interne. Dans les deux cas, les forces électriques s'opposent à la diffusion des porteurs majoritaires.

La figure 1-9 illustre les différentes régions de la jonction pn à l'équilibre.

Il ne reste donc plus que les ions dans cette zone qui vont créer un champ électrique interne au niveau de la jonction et qui empêche les charges libres restantes dans chaque zone de traverser la jonction pour se recombiner.



**Figure 1-9** : une jonction pn à l'équilibre sans aucune polarisation.

### 5.3. Polarisation de la jonction en direct :

Si on polarise la jonction sous une tension  $V_{\text{direct}}$ , elle réduit la hauteur de barrière qui devient  $(V_d - V_{\text{direct}})$  entraînant une diminution de l'épaisseur de la Z.C.E. De nombreux électrons de la région N et de trous de la région P peuvent alors franchir cette barrière de potentiel, et se présentant alors dans un "milieu hostile" (P pour électrons et N pour les trous), ils sont recombinaison. Cette recombinaison consomme près de la Z.C.E des trous dans la région P (des électrons dans la région N). Pour rétablir l'équilibre, les trous de la région neutre P se mettent en mouvement vers la zone où

se produit la recombinaison (déficit en trous). Les électrons de la région neutre N sont soumis à un phénomène analogue.

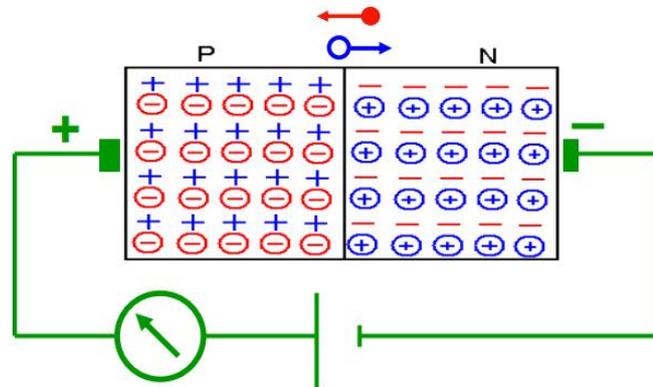


Figure 1-11: Jonction pn polarisée en direct

#### 5.4. Polarisation de la jonction en inverse :

Si on polarise la jonction en sens inverse la hauteur de barrière de potentiel entre les régions P et N est renforcée par la tension extérieure appliquée et devient  $V_d + V_{inv}$ . Le champ électrique dans la zone de charge d'espace augmente ainsi que son étendue. Les porteurs majoritaires des régions N et P n'ont pas l'énergie nécessaire pour sauter cette barrière de potentiel. La jonction est alors traversée par le très faible courant de saturation  $I_s$ . Ce courant issu du phénomène d'ionisation thermique du silicium, dépend uniquement de la température.

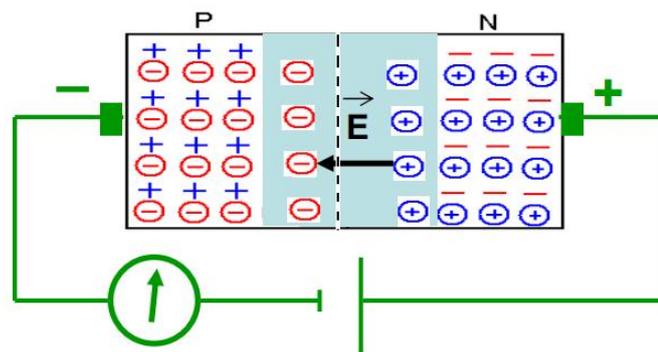


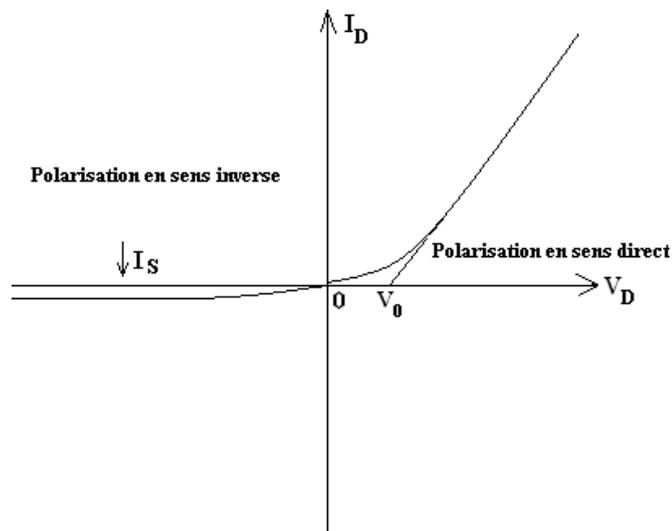
Figure 1-12: Jonction pn polarisée en inverse.

### 5.5. Caractéristiques courant-tension :

En dessous du seuil  $V_0$  le courant est très faible. Au-delà, le courant de diode est lié au courant de saturation par :

$$I_D = I_s \left( e^{e.V_D/kT} - 1 \right) \quad (\text{II.3})$$

Le courant  $I_s$  est appelé courant inverse car si la diode est polarisée en inverse ( $V < 0$ )  $I_D = I_{sat}$ . Ce courant résulte du débit des charges (trous thermo générés et électrons) qui traversent la jonction sous l'action du champ électrique.



**Figure 1-13:** Caractéristique courant –tension d'une jonction PN.

**Chapitre II : Composants d'émission et de réception des photons****1. Interaction électron-photon - Transitions radiatives :**

L'interaction du rayonnement avec les électrons du semi-conducteur se manifeste selon trois processus distincts

-un photon peut induire le saut d'un électron d'un état occupé de la bande de valence vers un état libre de la bande de conduction, c'est l'absorption fondamentale. Ce processus sera mis à profit dans les capteurs de rayonnement.

-un électron de la bande de conduction peut retomber spontanément sur un état vide de la bande de valence avec émission d'un photon, c'est l'émission spontanée. Ce processus sera mis à profit dans les émetteurs de rayonnements tels que les diodes électroluminescentes.

- un photon présent dans le semi-conducteur peut induire la transition d'un électron de la bande de conduction vers un état vide de la bande de valence avec émission d'un deuxième photon de même énergie, c'est l'émission stimulée. Ce processus sera mis à profit dans les lasers à semi-conducteurs.

Ces différents processus sont conditionnés par les règles de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement  $\vec{p} = \eta \vec{k}$ .

Si on repère par les indices  $i$  et  $f$ , les états initial et final de l'électron, et par l'état du photon, les règles de conservation s'écrivent :

$$E_f - E_i = \pm E_p \quad (2.1)$$

soit

$$\vec{k}_f - \vec{k}_i = \pm \vec{k}_p \quad (2.2)$$

Où le signe +correspond à l'absorption et le signe - à l'émission.

Notant en outre que si le rayonnement est communément caractérisé par sa longueur d'onde dans le vide mesurée en  $\mu m$ , le semi-conducteur est quant à lui communément caractérisé par son gap d'énergie mesuré en électron-Volt.

Dans l'étude des composants optoélectroniques, est les utile d'avoir en permanence

A l'esprit, la relation énergie – longueur d'onde, pour traduire en eV la caractéristique d'un rayonnement définie en  $\mu$ .

$$E = h\nu = \frac{h}{T} = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.3)$$

$$E(eV) = \frac{1.24}{\lambda(\mu)} \vec{p} = \eta \vec{k} \quad (2.4)$$

## 2. Absorption et émission d'un photon :

### 2.1. Absorption :

En absorbant un photon d'énergie  $h\nu$ , l'électron peut être amené dans un état plus Énergétique. Il passe de la bande de valence vers la bande de conduction.

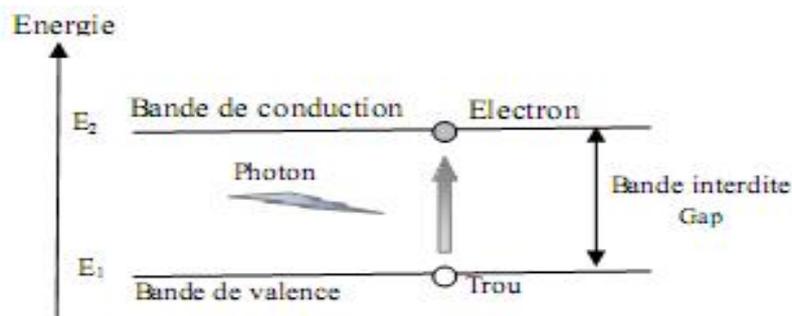


Figure 2-1 : Principe d'une absorption des photons incidents.

### 2.2. Emission spontanée :

La recombinaison d'un électron de la bande de conduction avec un trou de la bande de valence, permet l'émission d'un photon. C'est une émission isotropique où les photons émis ne sont absolument pas en phase les uns avec les autres.

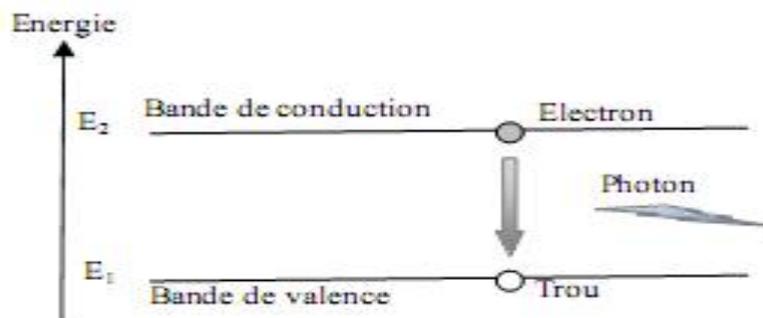


Figure 2-2 : Principe d'une émission spontanée des photons.

### 2.3. Emission stimulée :

Frappé par un photon, l'électron peut retomber dans l'état le moins énergétique en émettant un photon stimulé dont le rayonnement correspond à la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation et la même directivité spatiale que le photon incident.

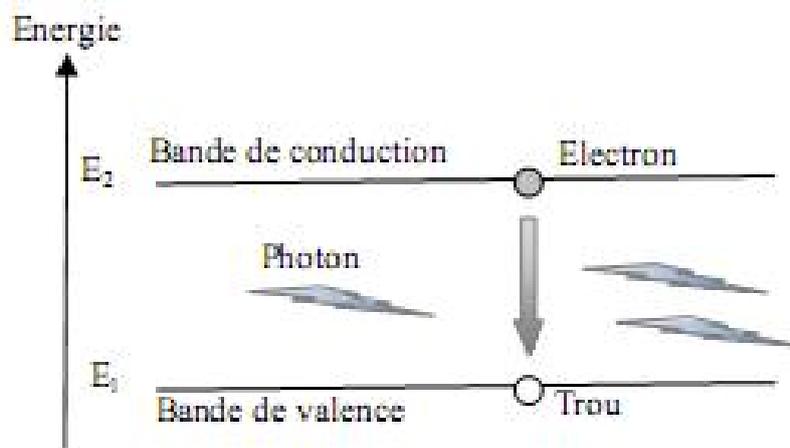


Figure 2-3 : principe d'une émission stimulée des photons.

**Remarque :** un processus d'absorption trouve son application dans la photodiode, celui de l'émission spontanée dans la diode électroluminescente et l'émission stimulée dans la diode laser.

## 3. Les composants de réception des photons :

### 3.1. Cellule photoconductrice :

#### 3.1.1: structure et principe de fonctionnement :

Une photorésistance est composée d'un semi-conducteur à haute résistivité. Si la lumière incidente est de fréquence suffisamment élevée, elle transporte une énergie importante. Au-delà d'un certain niveau propre au matériau, les photons absorbés par le semi-conducteur donneront aux électrons liés assez d'énergie pour passer de la bande de valence à la bande de conduction. Les électrons libres et les trous d'électron ainsi produits abaissent la résistance du matériau.

Lorsque le photon incident est suffisamment énergétique, la production des paires électron-trou est d'autant plus importante que le flux lumineux est intense. La résistance évolue donc comme l'inverse de l'éclairement (figure), cette relation peut être considérée comme linéaire sur une plage d'utilisation limitée.

Les matériaux utilisés dans les photorésistances sont le plus souvent des composés des colonnes II-VI de la classification périodique des éléments. Pour une utilisation dans le domaine visible et à

faible coût, on utilise le plus souvent le sulfure de cadmium (CdS) ou le sélénure de cadmium (CdSe). Pour des utilisations dans l'infrarouge on utilise le sulfure de plomb (PbS).

Une cellule photoconductrice exploite l'augmentation de conductivité électrique du semi-conducteur, résultant de la création de porteurs sous éclairage (Figure 2-4). Une source de tension débite un courant dans le semi-conducteur par l'intermédiaire de deux contacts ohmiques. La variation du nombre de porteurs  $\Delta n = \Delta p$ , entraîne une augmentation de conductivité (diminution de la résistance) du matériau comme le montre sur la figure 2-5, donc de la conductance du barreau, et par suite du courant et de la tension  $V_s$ .

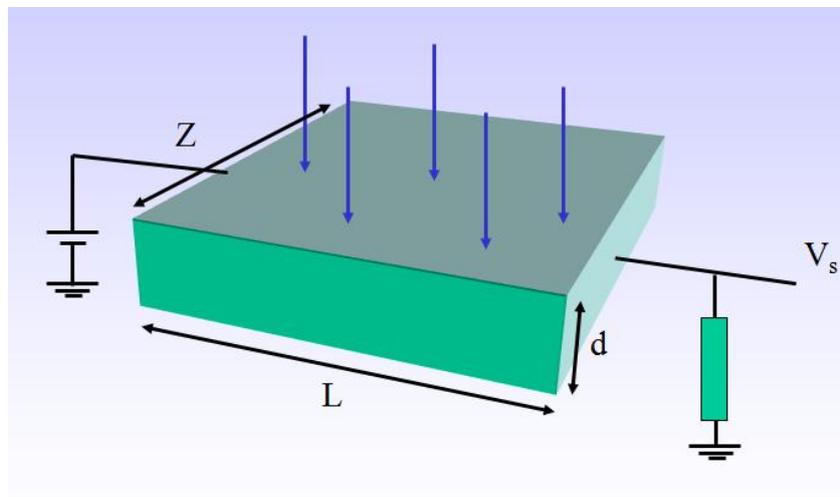


Figure 2-4 : Principe de la cellule photoconductrice

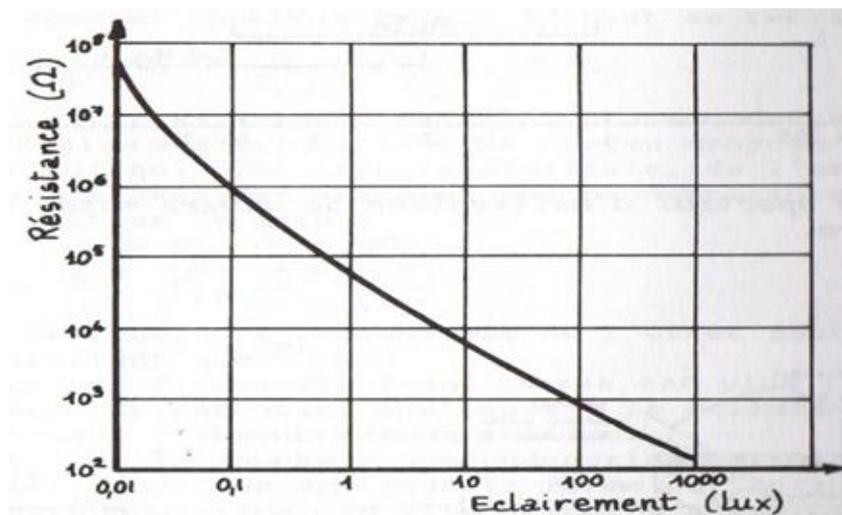


Figure 2-5: variation de la résistance d'une cellule photoconductrice en fonction de son éclairement.

### 3.1.2. Les applications de la photoconductrice :

Les photorésistances trouvent leurs applications principales dans la détection d'une différence de flux plutôt que dans la mesure précise du niveau de flux reçu (impulsions lumineuses, variation d'éclairement par exemple). La mesure en photométrie nécessite une détermination précise et une stabilisation des caractéristiques. Cette stabilisation ainsi que la détermination de ces caractéristiques passent par un étalonnage rigoureux et l'intégration de la photorésistance dans un conditionneur de capteurs résistifs. D'après les considérations précédentes, le type de mesurant de que les photorésistances sont en mesure de détecter a été défini. Cependant, le type de rayonnement détectable dépend du type de semi-conducteur composant la photorésistance. Par exemple, les photorésistances au CdSe (sélénure de cadmium) permettent de détecter un rayonnement dans les proches IR et le visible alors que celles de ZnO (oxyde de zinc) permettent de détecter un rayonnement UV. L'utilisation de ce type de détecteur est très variée:

- Les détecteurs de flammes qui sont des photorésistances à détection d'infrarouges ou d'UV. À savoir que seule une forte fumée cause une inhibition du capteur UV et que la foudre ou une soudure peut le déclencher accidentellement. Pour la photorésistance à infrarouges, la présence de vapeur d'eau atténue fortement sa sensibilité.
- Les détecteurs de présence se déclinent sous deux principes différents. Un premier détectant l'augmentation du flux induit par la présence d'un corps dans le champ (principalement des capteurs à infrarouges), le second détectant la diminution du flux induit par l'ombre du corps présent dans le champ du capteur qui est plus limité que celui à infrarouges (détection dans le visible et capteur LDR plus directif).
- Les récepteurs infrarouges permettent de faire communiquer deux appareils sans contact. L'un des appareils possède un émetteur infrarouge et le second la photorésistance.
- Les détecteurs à UV qui permettent de mettre en évidence toute source d'UV et ainsi asservir la source ou détecter une fuite par exemple.
- L'allumage des lumières lorsque la luminosité diminue (éclairage public ou domestique).
- La mesure de la luminosité extérieure dans les appareils photographiques ou les ordinateurs.

Les applications de ce composant sont donc très variées, que ce soit dans le monde industriel ou domestique. Étant peu cher, il présente un bon rapport qualité pour les industriels souhaitant l'intégrer dans leurs systèmes.

### 3.2. Cellule solaire - photovoltaïque :

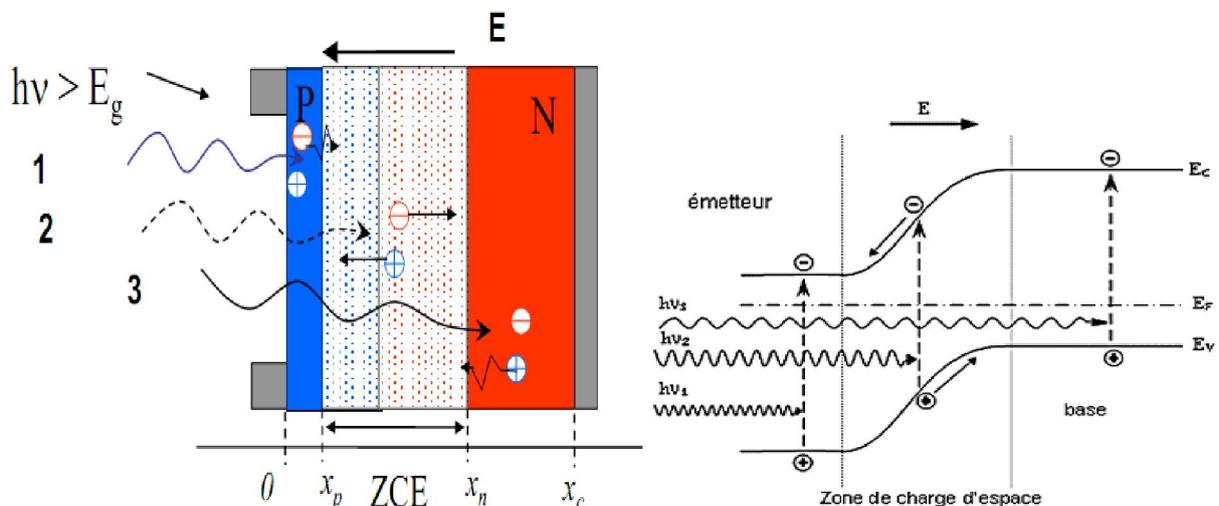
#### 3.2.1. Définition :

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), génère de l'électricité. C'est l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. L'électricité produite est fonction de l'éclairement, la cellule photovoltaïque produit un courant continu. Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : sélénure de cuivre et d'indium ( $\text{CuInSe}_2$ ) ou ( $\text{CuInGaS}_2$ ), tellure de cadmium ( $\text{CdTe}$ ), etc. Elles se présentent généralement sous la forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté, prises en sandwich entre deux contacts métalliques, pour une épaisseur de l'ordre du millimètre. Les cellules sont souvent réunies dans des modules solaires photovoltaïques ou panneaux solaires, en fonction de la puissance recherchée.

#### 3.2.2. Principe de fonctionnement :

Dans un semi-conducteur exposé à la lumière, un photon d'énergie suffisante arrache un électron, créant au passage un "trou". Normalement, l'électron trouve rapidement un trou pour se replacer, et l'énergie apportée par le photon est ainsi dissipée. Le principe d'une cellule photovoltaïque est de forcer les électrons et les trous à se diriger chacun vers une face opposée du matériau au lieu de se recombiner simplement en son sein. Ainsi, il apparaîtra une différence de potentiel et donc une tension entre les deux faces, comme une pile. Pour cela, on s'arrange pour créer un champ électrique permanent au moyen d'une jonction PN, entre deux couches dopées respectivement **P** et **N**.

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est illustré sur la figure suivante :



**Figure 2-6 :** Structure (image gauche) et diagramme de bande (image droite) d'une cellule photovoltaïque.

Les photons incidents créent des porteurs dans les zones **N** et **P** et dans la zone de charge d'espace. Les photons porteurs d'énergie auront un comportement différent suivant la région:

- Dans la zone **N** ou **P**, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace sont "envoyés" par le champ électrique dans la zone **P** (pour les trous) ou dans la zone **N** (pour les électrons) où ils seront majoritaires. On aura un photo-courant de diffusion.
- Dans la zone de charge d'espace, les paires (électron / trou) créées par les photons incidents sont dissociées par le champ électrique : les électrons vont aller vers la région **N** et les trous vers la région **P**. On aura un photo-courant de génération. Ces deux contributions s'ajoutent pour donner un photo- courant résultant  $I_{ph}$ . C'est un Courant d'une photodiode de porteurs minoritaires. Il est proportionnel à l'intensité lumineuse.

$$I = I_s (e^{ev/kT} - 1) - I_{ph} \tag{2.5}$$

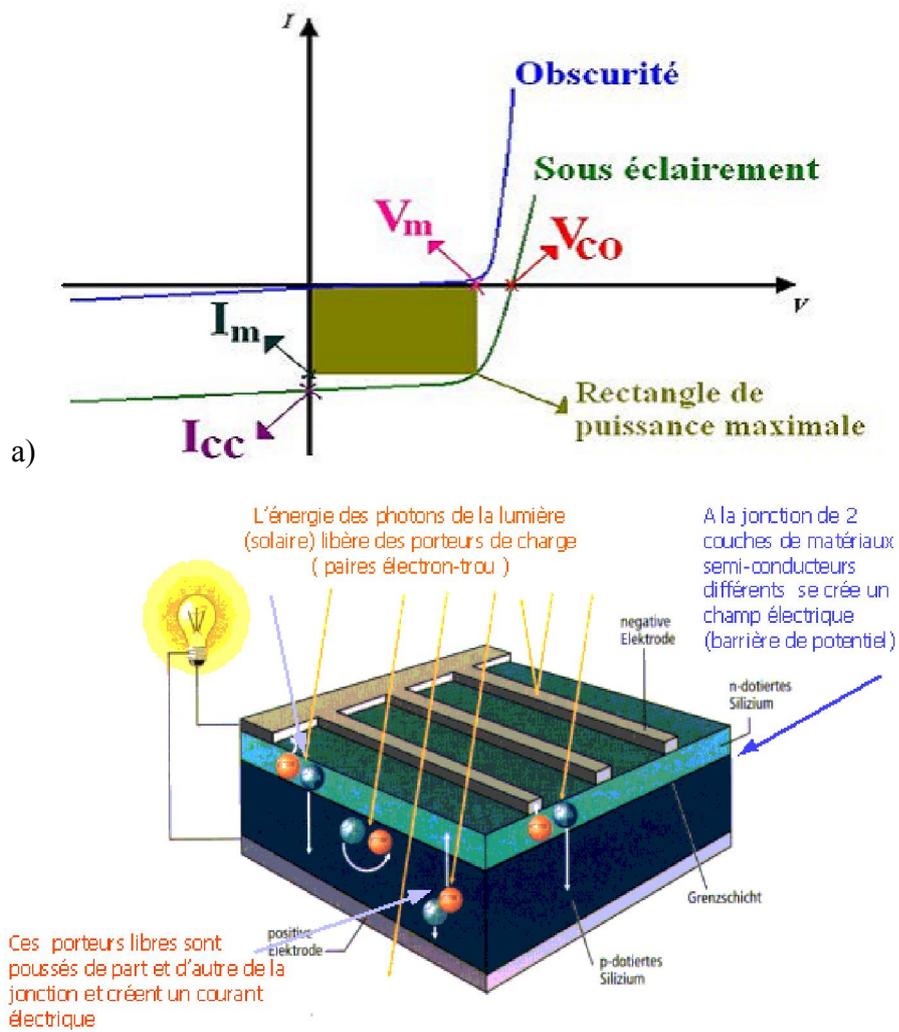


Figure 2-7 :a) Courant d'une cellule solaire, b) structure d'un circuit du courant d'une cellule solaire.

### 3.2.3. Utilisation :

Les cellules photovoltaïques sont parfois utilisées seules (éclairage de jardin, calculatrice, ..) ou bien regroupées sur des panneaux solaires photovoltaïques. Il est possible d'augmenter leur gamme d'utilisation avec un stockage (condensateur ou batterie). Elles sont utilisées surtout pour produire de l'électricité pour de nombreuses applications (satellites, parcmètres, ...), ainsi que pour alimenter des habitations ou un réseau public de distribution dans le cas d'une centrale solaire photovoltaïque.

## 4. les composants d'émission des photons :

### 4. 1. Diode électroluminescente – LED :

#### 4.1.1. Définition :

Une Diode électroluminescente est un dispositif issu de la technologie des semi-conducteurs, qui émet de la lumière lorsqu'un courant électrique la traverse. La diode produit une lumière quasi monochrome. La longueur d'onde donnée dépend du semi-conducteur utilisé :

Les LEDs consomment très peu d'énergie, elles ont une durée de vie importante par rapport aux sources de lumière ordinaires.

#### 4.1.2. Principe de fonctionnement :

Une LED (light emitting diode) est encore une fois constituée par une jonction PN **polarisée en direct**. En effet nous avons vu au chapitre I que sous polarisation positive, la barrière de potentiel s'abaisse. Par conséquent, le courant de diffusion des porteurs majoritaires de chaque côté de la barrière vers la zone opposée augmente. Cette augmentation du courant de diffusion déséquilibre le système et aboutit à une croissance de la population des porteurs minoritaires dans chaque zone, donc la probabilité de recombinaison radiative n'est plus négligeable et des photons sont produits par la jonction, ces recombinaisons peuvent être radiatives ou non. Ce qui nous intéresse dans le cas de la LED c'est de favoriser les recombinaisons radiatives. Des semi-conducteurs à gap direct sont généralement utilisés pour fabriquer des LED.

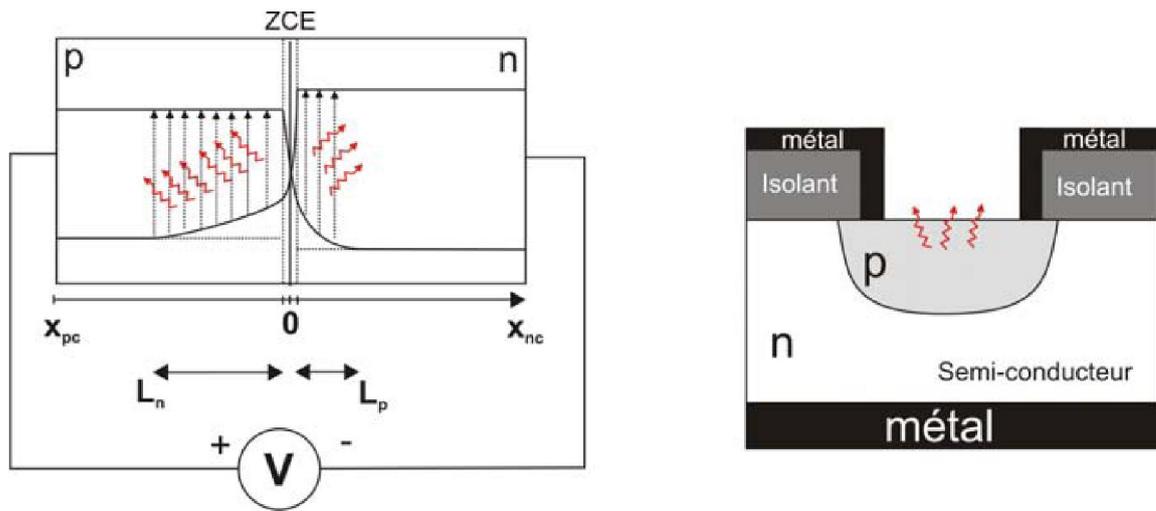


Figure 2-8: Structure d'une jonction LED

Dans le cas d'une LED, la jonction PN est fortement polarisée ce qui signifie que la ZCE est très fine. De plus, la jonction PN est telle que les porteurs minoritaires ne diffusent pas jusqu'au contact, ils se recombinent en totalité avant. Enfin, les électrons étant plus mobiles que les trous, la pénétration des électrons dans la zone  $n$  est plus importante que la pénétration des trous dans la zone  $p$  (figure) et le courant d'électrons est nettement plus important que le courant de trou.

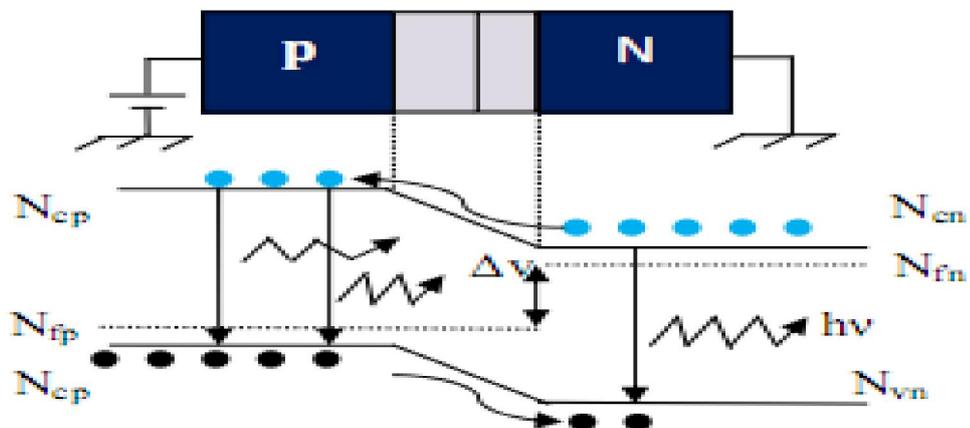


Figure 2-9 : principe de fonctionnement d'une LED,

L'émission d'une LED est dite spontanée, c'est-à-dire que ce type d'émission met en jeu uniquement la recombinaison d'un électron et d'un trou.

Il existe plusieurs types de Jonctions LED telles que: les LEDs à homojonction, les LED à hétérojonction et les LEDs à puits quantique.

### 4.1.3. Utilisation des LEDs :

#### a-Visualisation d'information

- utilisées dans les panneaux de signalisation, les écrans de communications de grandes dimensions,...).

#### b-Transmission d'informations

-LEDs de faible puissance utilisées dans les télécommandes de divers appareils ménagers (téléviseurs, chaîne hi-fi, lecteurs DVD...).

-Utilisées aussi avec les fibres optiques pour le développement des réseaux internet haut débit.

#### c-Eclairage

**Véhicules:** utilisées pour l'éclairage d'intérieur de voiture et le rétro-éclairage de tableaux de bord , utilisées dans les phares avant, en tant que feux de jour, et dans les feux arrières et les feux de stop.

**Téléviseurs et téléphones mobiles:** utilisées dans les écrans de téléviseurs permet également de réduire l'épaisseur des écrans grâce au très faible encombrement des LED CMS (composant monté en surface).

**Confort et décoration:** Des LED de faible puissance sont utilisées dans la voiture bar et des LED de forte puissance dans les sièges des passagers.

**En biologie:** Les LED sont utilisées dans le secteur de la recherche pour la croissance des végétaux où l'on stimule un éclairage naturel pour des études de longues durées.

- La figure indique la répartition du marché global des LED en 2010 selon les secteurs d'activités

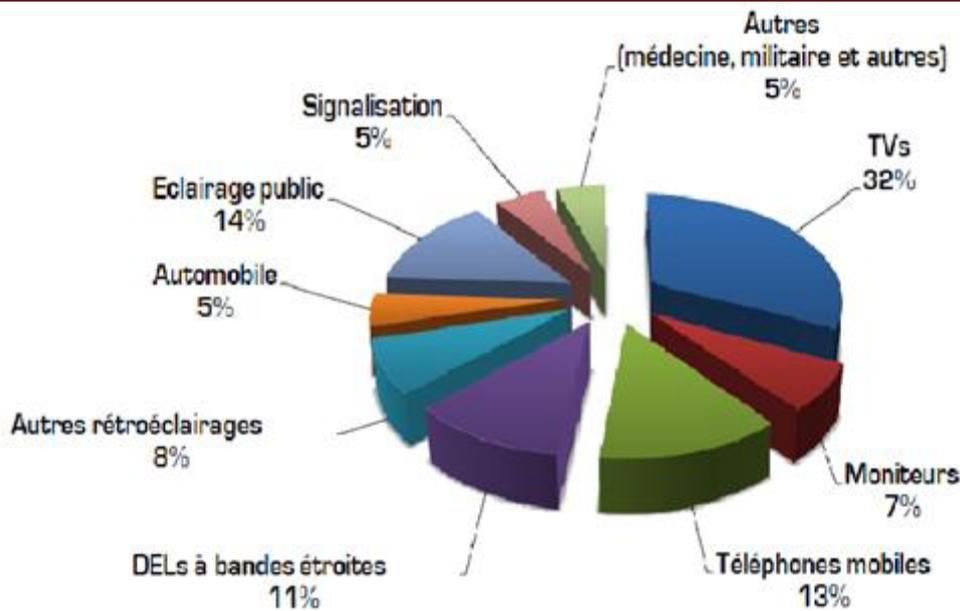


Figure 2-10 : les applications des LED.

## 4.2. Diode laser -LD :

### 4.2.1. Définition :

Une diode laser est un dispositif optoélectronique qui produit un faisceau de lumière cohérent créé par les phénomènes d'émission stimulée et de recombinaison radiative des porteurs de charge dans la zone active dans laquelle l'inversion de population est créée par injection de courant : la lumière confinée au sein de la zone active est amplifiée.

La structure du laser est celle d'une diode électroluminescente, mais dont les régions de types n et p sont dégénérées. La région de type p est très dopée pour qu'à l'équilibre, le niveau de Fermi soit dans la bande de valence. La région de type n est très dopée pour que la densité d'électrons injectés dans la région de type p sous l'action de la tension de polarisation, soit telle que le pseudo-niveau de Fermi des électrons  $E_{Fc}$  soit dans la bande de conduction.

Une diode laser est constituée typiquement de trois couches, qui forment un guide d'onde. Les deux couches externes de type AlGaAs, appelées couches Barrières, assurent un confinement électronique et optique à la verticale de la couche active où l'effet laser se produit.

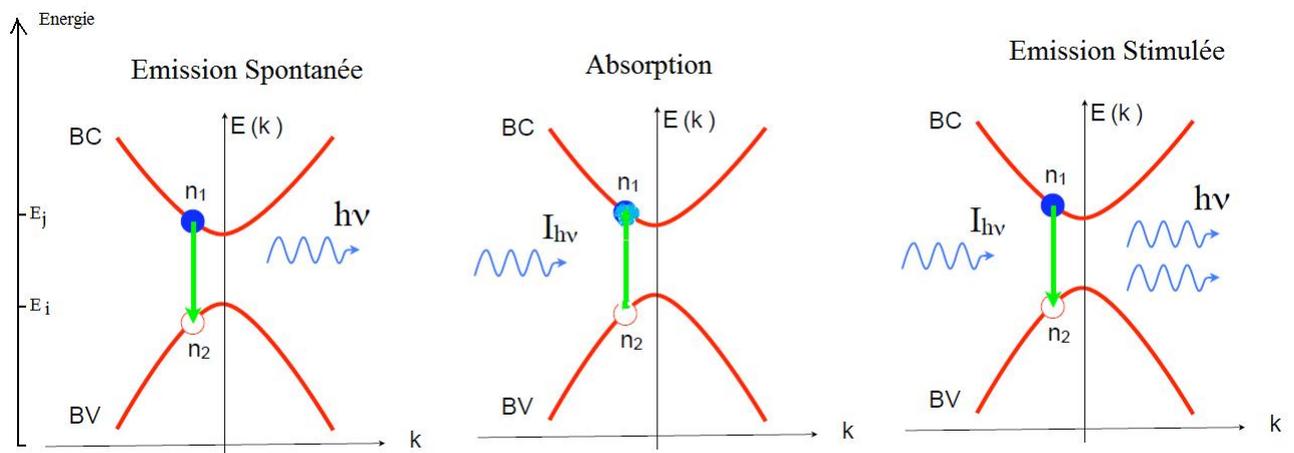
### 4.2.2. Principe de fonctionnement :

#### a) Emission spontanée, Absorption et Emission stimulée

Une raie spectrale déterminée correspond à la transition radiative d'un électron entre 2 niveaux d'un système donné (atome, molécule, cristal semi-conducteurs etc). Cette transition peut s'effectuer selon 3 processus:

1) Emission spontanée : l'électron descend spontanément d'un niveau  $E_j$  vers un niveau inférieur  $E_i$  et le système émet un photon d'énergie  $h\nu = E_j - E_i$ .

2) Absorption : si des photons d'énergie  $h\nu$  sont déjà présents dans le milieu, alors le système peut en absorber un en faisant passer un électron du niveau fondamental  $E_i$  vers le niveau supérieur  $E_j$ .



**Figure 2-11** : Principe d'absorption et émission (spontanée, stimulée) d'un photon.

3) Emission stimulée (ou induite) : c'est le phénomène inverse du précédent. L'un de ces photons  $h\nu$  peut induire un électron se trouvant dans le niveau supérieur  $E_j$  à redescendre vers l'état  $E_i$  en émettant un second photon dont non seulement l'énergie  $h\nu$  mais aussi toutes les autres caractéristiques (direction, polarisation, phase) sont identiques à celles du photon "inducteur".

L'émission stimulée, qui crée une population de photons aux caractéristiques identiques (énergie et direction notamment), est le principe de base du laser. Cependant l'émission stimulée et l'absorption sont 2 phénomènes concurrents. Pour favoriser l'émission stimulée, il faut que la population du niveau excité  $E_j$  soit plus élevée que celle du niveau fondamental  $E_i$ . Cette situation d'inversion de population nécessite un mécanisme de pompage pour maintenir constante la population du niveau supérieur  $E_j$ , qui tend naturellement à se vider (émission spontanée).

D'autre part il faut confiner les photons ("inducteurs") dans la zone active afin d'amplifier le phénomène d'émission stimulée. On place à cet effet le système dans une cavité résonnante

accordée à la fréquence  $\nu$ . L'émission laser apparaît alors quand le gain du milieu amplificateur excède les pertes de la cavité (notamment la perte associée à l'émission du faisceau laser).

Dans le cas des diodes laser, le niveau  $E_i$  se situe dans la bande de valence et le niveau supérieur  $E_j$  dans la bande de conduction. Le mécanisme de pompage se fait par injection de porteurs.

Le silicium massif ne peut pas émettre de lumière (semiconducteur indirect): les semiconducteurs utilisés pour les diodes laser sont à gap direct comme: GaAs, InGaAs, AlGaAs etc....

### b) Cavité résonnante

Un système d'ondes stationnaires s'établit dans la cavité délimitée par les variations d'indice dans le milieu semi-conducteur. L'indice de GaAs est supérieur de quelques pour cent à celui de  $Ga_{1-x}Al_xAs$  ce qui permet de confiner la lumière dans la couche active.

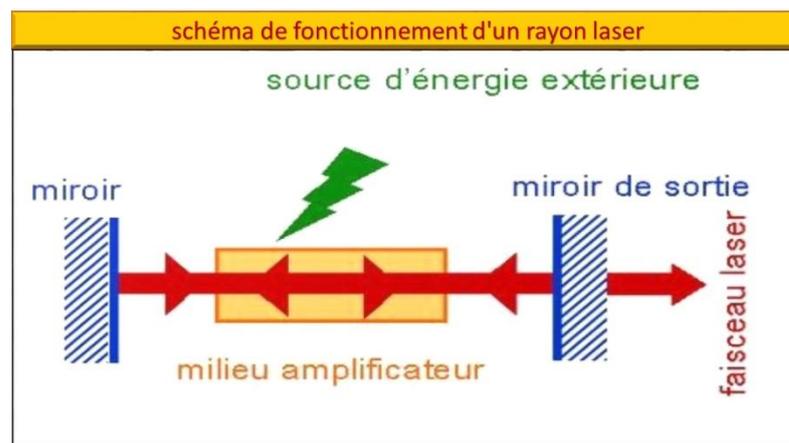


Figure 2-12: Résonateur de Fabry-Pérot

La longueur type  $L$  d'une telle cavité est de l'ordre de  $300 \mu m$  et l'indice de la couche active  $n$  de l'ordre de 3,5.

Il y a un nombre entier  $q$  de demi-longueurs d'onde dans  $L$

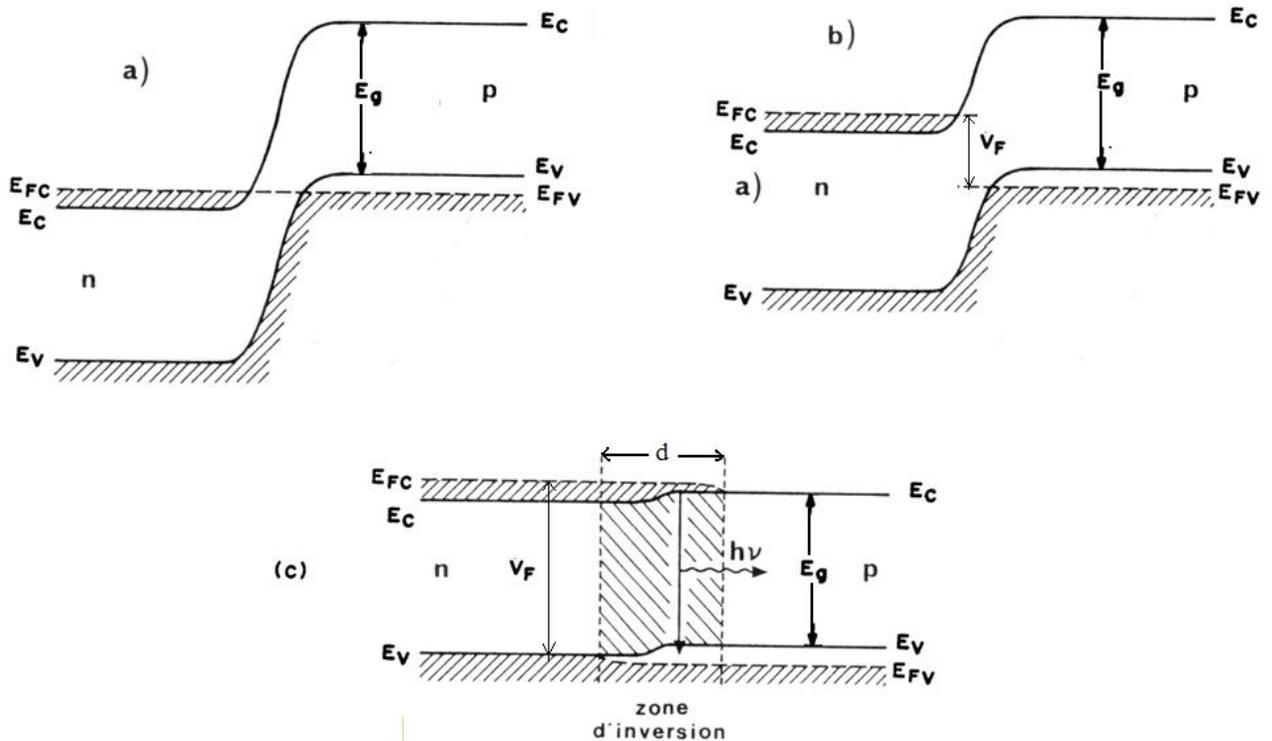
$$q \frac{\lambda}{2n} = L \quad q \text{ est de l'ordre de } 2000.$$

### c) inversion de population dans la diode laser

Pour obtenir une émission laser, il est nécessaire d'avoir une inversion de population. A l'équilibre thermique les bandes de conduction et de valence seront toutes deux au dessus du niveau de Fermi du côté p de la jonction et au dessous du côté n, comme indiqué sur la partie a de la figure 2-13a.

Quand on applique une tension de polarisation directe sur la diode, l'injection d'électrons dans la partie n et de trous dans la partie p, déplace le niveau de Fermi de part et d'autre de la jonction comme indiqué sur la partie b de la figure 2-13.

Enfin si on augmente la tension, l'injection de porteurs est suffisante pour obtenir la situation représentée en c : dans la zone de largeur d, on trouve une importante concentration d'électrons dans la bande de conduction et de trous dans la bande de valence, ce qui est la condition pour une inversion de population. Pour que ceci se réalise, il faut que:  $E_{FC} - E_{FV} > E_g$ .



**Figure 2-13:** Diagramme de bandes pour une jonction p-n selon l'état de polarisation: a) diode laser sans polarisation, b) diode laser à faible polarisation  $E_{FC} - E_{FV} < E_g$ , C) diode laser à forte polarisation  $E_{FC} - E_{FV} > E_g$  (condition pour une inversion de population).

### 4.2.3. Deux exemples de diode laser:

La figure 2-11 illustre deux type de la diode laser; la figure 2-14(a) est une diode laser homojonction et la figure 2-14 (b) représente un exemple de la diode laser hétérojonction.

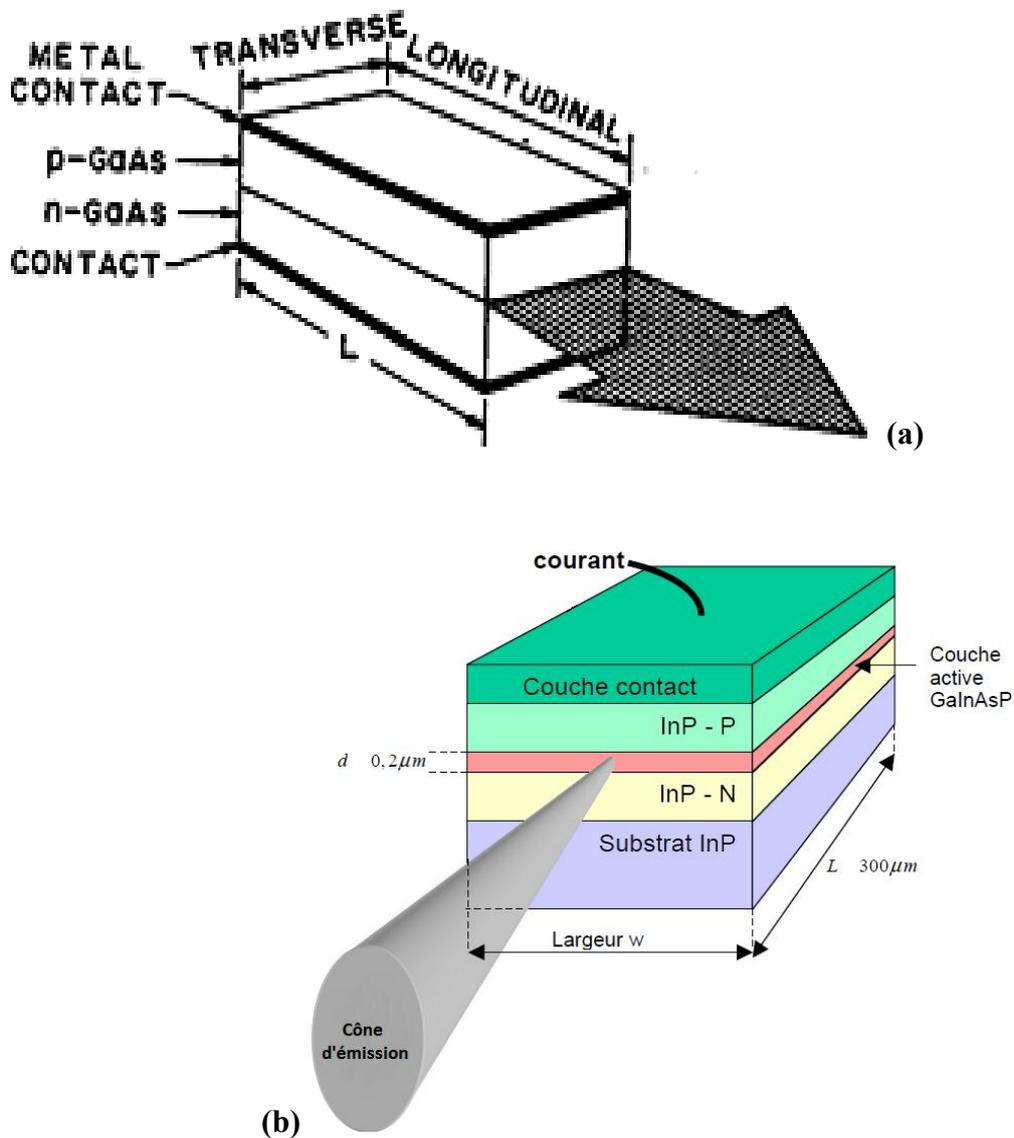


Figure 2-14: Exemple d'une diode laser homojonction et hétérojonction

#### 4.2. 4 .Applications :

Les diodes laser sont largement utilisées dans les télécommunications car elles sont facilement modulées et deviennent des sources lumineuses couplées pour des fibres optiques de communication. Elles sont utilisées dans divers instruments de mesure, comme les télémètres ou encore pour des lecteurs de code-barres. Les diodes laser visibles, généralement de couleur rouge, mais aussi verte, sont fréquentes, comme les pointeurs laser. Les diodes laser de basses ainsi que de hautes puissances sont largement utilisés dans l'industrie de l'imprimerie en tant que sources de lumière pour la numérisation d'images (entrée) ainsi que pour la fabrication de plaque d'impression de très haute vitesse et haute résolution (sortie). Des diodes laser infrarouge et rouge sont courantes dans les lecteurs de CD, CD-ROM et la technologie DVD. Des diodes laser de couleur violette sont utilisés pour les technologies HD-DVD et Blu-ray. Des diodes laser de haute puissance sont utilisées dans des applications industrielles telles que le traitement thermique, le plaquage, le soudage et pour le pompage d'autres lasers.

Elles trouvent également ses applications dans les dispositifs électroniques de mesure de distance, de vitesse, de guidage et de pointage précis.

## Conclusion Générale

---

### Conclusion Générale

Cette étude sur les composants optoélectroniques nous permet de comprendre les principales bases de fonctionnement de quelques composants optoélectroniques tels que les cellules photovoltaïques, les diodes LED, et les diodes laser. La structure de base de ces composants est la jonction pn qui est la juxtaposition de deux blocs des semiconducteurs, l'un est de type n et l'autre est de type p. Les cellules photovoltaïques émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à l'action de la lumière. Ceux-ci sont éjectés du matériau et ils circulent dans un circuit fermé, produisant ainsi de l'électricité. La diode LED est une Jonction pn fortement dopée émet de la lumière quand elle polarisée en direct. Dans ce cas les semiconducteurs sont des gaps directs. L'émission d'une LED est spontanée, c'est-à-dire que ce type d'émission met en jeu uniquement la recombinaison d'un électron et d'un trou. Comme tout laser, une diode laser fonctionne à l'aide d'un milieu amplificateur, d'une structure résonante et d'un processus de pompage. L'amplification dans les semi-conducteurs est produite par l'émission stimulée. La structure résonante est réalisée par la différence des indices de réfraction des semiconducteurs. Le processus de pompage est obtenu par la circulation du courant électrique en polarisant la diode en direct.

## Références

---

### Références

1. Klalache yamina, détecteur à semi-conducteur, Mémoire de Master2, promotion 2011, Université de Bordj Bou Arreridj.
2. Henry Mathieu, physique des semi-conducteurs et des composants électroniques (5<sup>e</sup> édition), Dunod, paris, 2004.
3. louaradi belkacem, propriétés physiques et cristallographiques du semi-conducteur – carbure de silicium (SiC), Mémoire de Licence, promotion juin 2012, Université de Bordj Bou Arreridj.
4. A. Chovet et P. Masson, "physique des semi-conducteurs universitaire de Marseille, copyright ©,2001.
5. Henry. Mathieu et Herve. Fanet, physique des semi-conducteurs et des composant électroniques (6<sup>e</sup> édition), ©Dunod, paris 2009.
6. Mezrag Fadila, effet du désordre compositionnel sur les propriétés optoélectroniques et diélectriques de l'alliage ternaire semi-conducteur  $GaAs_xSb_{1-x}$ , mémoire MAGISTER, soutenu le 2003.
7. Gianandrea Quadri, Contribution à l'étude de liaisons optiques analogiques pour la distribution de signaux de référence en gamme RF et Micro-ondes, Mémoire Doctorat, l'Université Paul Sabatier de Toulouse 2004.
8. H.Chanoufi, thèse optimisation du procédé technologique de réalisation d'une cellule solaire par la technique de diffusion, université de Batna ,2008 .
9. Bouaraba Fazia, Etude d'une LED à base d'InGaN pour l'émission de la lumière blanche, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.
10. C. KAMMERER, Spectroscopie optique de boîtes quantiques uniques : effets de l'environnement, Université Paris-VI (2002).
11. Semi-conducteurs – diode laser, Plate-forme Matière Condensée et Cristallographie (MCC) C.E.S.I.R.E, Université J.Fourier Grenoble.
12. Baziz Liela, etude de l'interaction laser métal. Application sur les alliages d'aluminium, mémoire, Université, Mentouri Constantine, 2007.
13. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Diode\\_laser](http://fr.wikipedia.org/wiki/Diode_laser)