

### **Généralités sur les émetteurs de lumières**

Les émetteurs optiques à semi-conducteurs, utilisés dans les liaisons par fibres optiques, ont les propriétés suivantes :

- Petite taille.
- Émission à des longueurs d'onde couvrant le visible et l'infrarouge et même l'ultraviolet.
- Bon rendement
- Possibilité de modulation par le courant.
- Intégration facile.

Les matériaux semi-conducteurs utilisés pour leur développement sont à gap direct, donc à transitions radiatives. Ils sont souvent réalisés à partir d'alliages de deux (GaAs), trois ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ) ou quatre ( $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ ) éléments. On distingue deux types d'émetteurs à semi-conducteurs :

i- **les Diodes électroluminescentes (DEL)** qui constituent les éléments les plus simples.

Elles couvrent tout le spectre visible et peuvent être modulées par le courant jusqu'à 100 MHz.

Les DEL produisent un rayonnement monochromatique incohérent de faible puissance.

ii- **les diodes laser (laser à semi-conducteurs)** qui sont les composants essentiels dans les transmissions par fibres optiques

### **Diodes électroluminescentes (DEL)**

#### **1. Définition :**

Une **diode électroluminescente** (*light-emitting diode*), est un dispositif optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens (le sens passant, comme une diode classique, l'inverse étant le sens bloquant) et produit un rayonnement monochromatique ou polychromatique non cohérent à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse (figure 1).

En raison de leur rendement lumineux, les LED pourraient représenter 75 % du marché de l'éclairage domestique et automobile avant 2020. Elles sont aussi utilisées dans la construction des écrans plats de télévision : pour le rétro éclairage des écrans à cristaux liquides ou comme source d'illumination principale dans les télévisions à OLED.

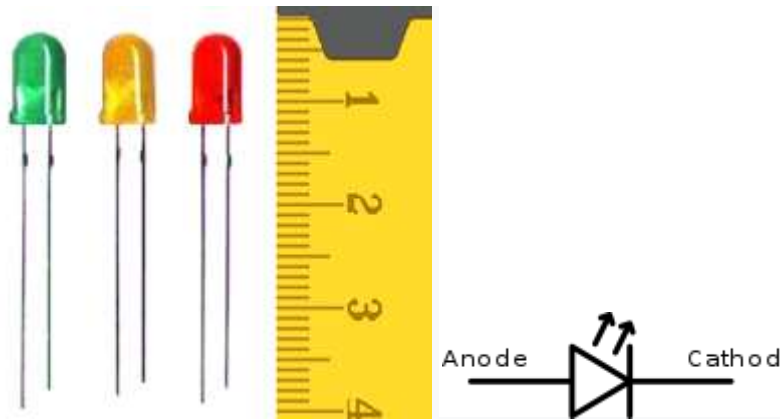


Figure 1 : Diodes de différentes couleurs      Symbole de la diode électroluminescente

## 2. Structure de base et fonctionnement

La diode électroluminescente DEL : est une diode à jonction PN réalisée sur un matériau semi-conducteur, fortement dopé, à recombinaisons radiatives. Une structure type de la diode électroluminescente est illustrée sur la figure 2. La LED émet un rayonnement incohérent issu d'émissions spontanées de photons.

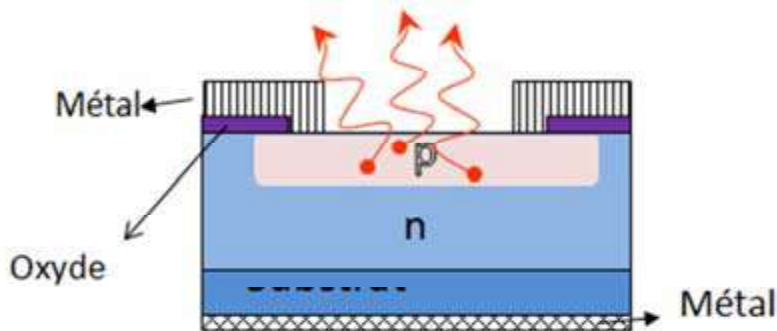


Figure 2 : Structure de base d'une diode électroluminescente DEL

La diode électroluminescente fonctionne sous polarisation directe. Lorsque la tension d'alimentation est assez importante, la LED doit être protégée par une résistance pour limiter le courant qui la traverse à des valeurs inférieures à l'intensité maximale de courant tolérée.

Ainsi, l'alimentation de la LED se fait plutôt en courant qu'en tension, et ceci à travers la résistance, présente dans le circuit (figure 3), qui permet de fixer ou limiter la valeur du courant ainsi que celle de la puissance lumineuse émise.

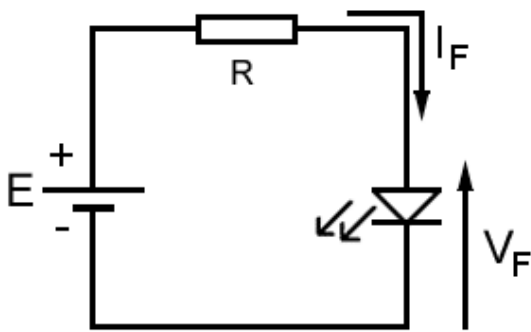
Le courant qui travers la jonction est donné par l'expression :

$$I = I_s(e^{V_d/kT} - 1)$$

$I_s$  : le courant de saturation de la diode,

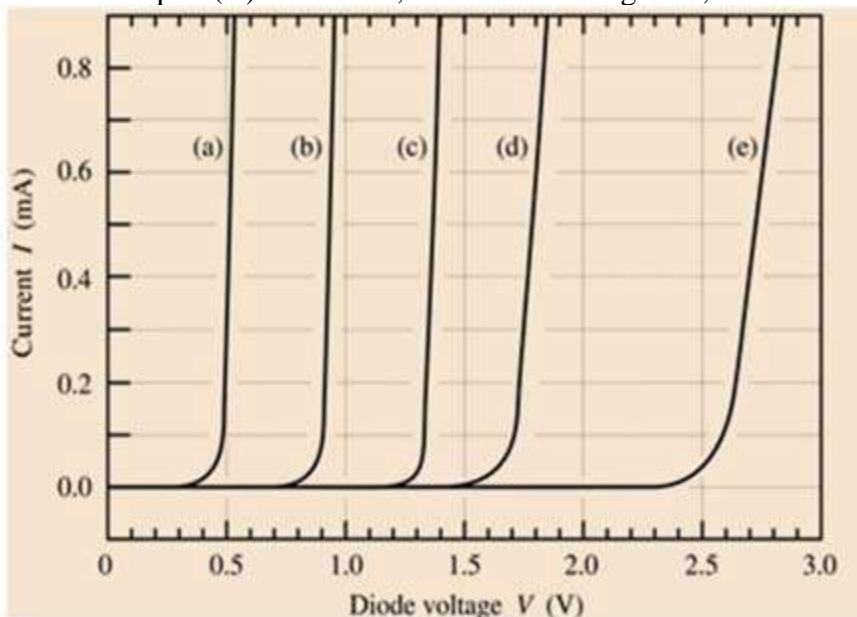
$K$  : la constante de Boltzmann,  $T$  ; la Température

$V_d$  : la tension aux bornes de la diode.



**Figure 3 :** Circuit de polarisation de la LED

La caractéristique I(V) de la LED, illustrée sur la figure 5,



**la figure 4** Caractéristique I(V) de la diode à base de : (a) Ge, (b) Si, (c) GaAs, (d) GaAsP, (e) GaInN, [Réf : *LIGHT-EMITTING DIODES*, E. F. SCHUBERT, CAMBRIDGE University Press, 2003, page 58].

La tension directe appliquée à la LED :

- Est de l'ordre de 1,1 V pour les diodes à émission dans l'infrarouge.
- Varie de 1,8 V à 2,5 V pour les LED à émission dans le rouge, le jaune et le vert
- Supérieur à 3,5 V pour l'émission dans le bleu est le violet.
- Le courant nominal d'une diode électroluminescente est de l'ordre de 10 à 50 mA.

**Polarisation dans le sens indirect :**

- Dans certains cas, on peut avoir besoin de polariser en inverse la LED. La diode est alors éteinte : elle n'émet plus d'intensité lumineuse. Mais attention, la diode LED ne peut pas supporter des tensions inverses trop importantes. Les valeurs courantes se situent telles que  $V_R \text{ max} = \pm 3 \text{ V à } 5 \text{ V}$ ;

au delà de ces valeurs il y a endommagement ou destruction du composant. En cas de besoin nous plaçons une diode normale en série avec la LED.

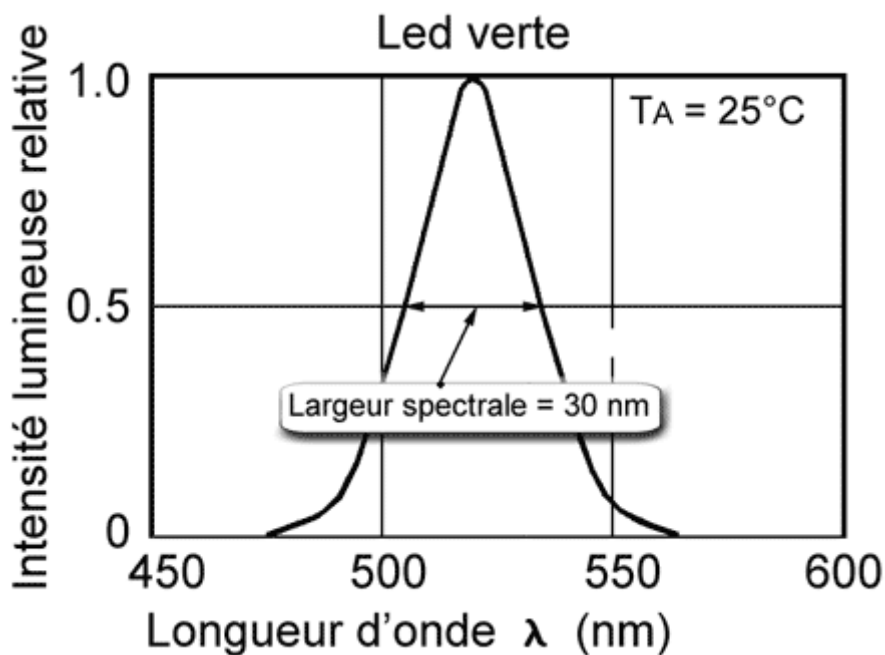
### Polarisation dans le sens direct

- Lorsque la DEL est polarisée dans le sens direct, sous l'effet de la tension appliquée, les électrons (de plus grande mobilité) de la région n sont injectés vers la région p où ils sont minoritaires et se recombinent avec les trous dans une région au voisinage de la jonction, limitée par leur longueur de diffusion, appelée zone active. Ils donnent ainsi lieu à un faisceau lumineux incohérent, de couleur, donc de longueur d'onde, conditionnée par la composition et l'état du matériau de type p dans lequel se produit l'essentiel des recombinaisons.

La lumière émise peut ainsi être du domaine de radiations proche infrarouges, visibles ou ultraviolettes.

### 3-Le spectre d'émission de la LED

La lumière émise d'une LED étant principalement due à des recombinaisons spontanées, sa caractéristique spectrale (intensité émise – longueur d'onde), illustrée sur la figure (5), est continue. Elle est de type sensiblement gaussien et relativement large.



**Figure 5** : Spectre d'émission d'une diode électroluminescente

Il existe actuellement plusieurs types de LED donnant chacun des spectres différents. Cela est obtenu par la variété des semi-conducteurs utilisés pour fabriquer les jonctions PN.

Exemples dans le tableau suivant pour l'obtention de certaines longueurs d'onde :

<b>Matériaux</b>	<b>Rayonnement</b>	<b>Longueur d'onde</b>
InAs	ultra-violet	315 nm
InP	infra-rouge	910 nm
GaAsP <sub>4</sub>	rouge	660 nm
GaAsP	jaune	590 nm
GaP	vert	560 nm

#### **4- Rendements de la diode électroluminescente**

Outre la longueur d'onde  $\lambda$  du rayonnement et sa largeur spectrale, un paramètre essentiel dans le fonctionnement de la DEL est son rendement de puissance  $\eta$  ou rendement global qui représente son efficacité énergétique.

Les photons générés au niveau de la jonction sont émis dans toutes les directions, mais seule une fraction peut émerger en dehors de la surface et peut donc être utile. On définit alors le rendement de puissance de la LED par :

$$\eta = \frac{\text{puissance optique émise de la DEL}}{\text{puissance électrique fournie à la DEL}}$$

#### **5-Puissance et température de fonctionnement**

La température de jonction doit rester inférieure à 125°C. Mais souvent les diodes LED sont montées dans des boîtiers plastiques. Dans ce cas, la température de fonctionnement ne doit pas dépasser 100°C. La puissance que

peut dissiper une diode LED commune (ou utilisée en tant que témoin lumineux) est de l'ordre de 20 à 100 mw.

## 6-Les matériaux utilisés

Le choix de la couleur dépend de l'utilisation :

- Les LED de couleur visible sont utilisées pour la visualisation (éclairage, affichage, témoins, indicateurs lumineux, feux tricolores et les feux de signalisation).
- Les LED IR sont utilisées dans les télécommandes, les barrières de comptage de personnes, dans certaines alarmes, pour certaines transmissions d'informations dans l'air et dans la transmission d'informations par fibre optique. Elles sont aussi utilisées sur les caméscopes permettant de "voir" la nuit

### 6.1 Emission dans le visible

L'œil humain n'étant sensible qu'aux lumières d'énergie supérieure ou égale à 1.4eV ( $\lambda < 0.8 \mu\text{m}$ ), les matériaux utilisés pour la fabrication de LED à émission dans le visible sont à énergie de gap  $\geq 1.4 \text{ eV}$ .

Ce sont des composés III-V, souvent à base de gallium, comme les alliages de type  $\text{GaAs}_x\text{P}_{1-x}$  ou  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$  dont l'énergie de gap  $E_g$  est une fonction de la fraction  $x$ .

- Une émission dans le rouge pour  $x = 0.4 \Rightarrow \text{GaAs}_{0.6}\text{P}_{0.4}$  (gap direct)
- Une émission dans le vert pour  $x = 1 \Rightarrow \text{GaP}$  (N) (gap indirect).
- Pour l'émission dans le bleu les matériaux utilisés sont :
  - Le SiC avec des dopages en Al(p) et N(n) ( $E_g \approx 2.6 \text{ eV}$ ,  $\lambda \approx 0.475 \mu\text{m}$ ), avec un rendement d'environ 0.001%, avec un spectre d'émission assez large du à des transitions indirectes.
  - Le GaN ( $E_g \approx 2.8 \text{ eV}$ ,  $\lambda \approx 0.44 \mu\text{m}$ ) avec un rendement de 0.005%
  - L'InGaN ( $\lambda \approx 0.45 - 0.473 \mu\text{m}$ )

Ce n'est que dans les années 90 que les LED bleues furent commercialisées. Cela est dû à la difficulté de produire du bleu avec un matériau semi-conducteur.

### 6.2 Emission dans l'infrarouge

Les LED à IR, qui sont d'importantes sources pour la communication par fibres optiques, sont réalisées suivant la même configuration que celle des LED pour le visible mais à partir de matériaux à gap **direct**, ayant une bande interdite inférieure à 1.5 eV, tels le GaAs pour  $\lambda = 0.87 \mu\text{m}$  ou le  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{P}_y$  qui couvre la gamme allant de 1 à 1.7  $\mu\text{m}$  en jouant sur les fractions  $x$  et  $y$  de l'indium et du phosphore, respectivement.

### 6.3 Emission dans l'ultraviolet

- ❖ Pour les DEL émettant dans l'ultraviolet, les matériaux utilisés ont un gap plus grand. Un des matériaux utilisé est le **GaN** avec  $\lambda$  comprise entre 370 - 390 nm.
- ❖ Les LED UV ont l'avantage de posséder un spectre très fin, ce qui leur permet de ne pas émettre de la chaleur.
- ❖ Elles sont utilisées dans la constitution de détecteurs miniatures de faux billets.
- ❖ Les Diodes Electroluminescentes dans l'UV remplacent peu à peu les lampes traditionnelles en photochimie, biologie et dans les applications médicales.

### 6.4 Les LED blanches

En réalité il n'existe pas de LED "blanche" proprement dite. On peut les obtenir de plusieurs façons différentes :

- ❖ Une des techniques consiste à réunir 3 LED (rouge, verte et bleu) ensemble. La lumière résultante est blanche, son spectre couvre la gamme de longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nm.
- ❖ Les caractéristiques colorimétriques de la lumière produite sont fonction de la proportion relative de rayonnement des trois composantes.

### Avantages

- Petite taille : on peut par exemple construire des LED de la taille d'un pixel (ce qui ouvre la possibilité d'utiliser des diodes pour construire des écrans de haute résolution)
- Facilité de montage sur un circuit imprimé, traditionnel ou CMS (Composant Monté en Surface).
- Consommation inférieure aux lampes à incandescence et du même ordre de grandeur que les tubes fluorescents
- Excellente résistance mécanique (chocs, écrasement, vibrations).
- Taille beaucoup plus réduite que les lampes classiques ce qui offre la possibilité de réaliser des sources de lumière très ponctuelles, de faible à très faible consommation électrique (quelques dizaines de milliwatts) et avec un bon rendement. En assemblant plusieurs LED, on peut réaliser des éclairages avec des formes novatrices.
- Durée de vie (20 000 à 50 000 heures environ) beaucoup plus longue qu'une lampe à incandescence (1 000 heures) ou qu'une lampe halogène (2 000 heures).
- Vu leur puissance, les LED classiques 5 mm ne chauffent presque pas et ne brûlent pas les doigts.

## **Inconvénients**

- Les LED, comme tout composant électronique, ont des limites maximales de température de fonctionnement ce qui conditionne en partie la durée de vie des lampes à LED. La dissipation thermique des composants des ampoules à LED est un facteur limitant leur montée en puissance. Les recherches portent sur des moyens de limiter la température et de mieux dissiper la chaleur des LED.
- Selon le constructeur Philips, l'efficacité lumineuse de certaines LED baisse rapidement (comme pour la plupart des technologies lumineuses) pour ne plus produire en fin de vie que 20 % de la quantité de lumière initiale, mais pour les LED les plus performantes du marché, la quantité de lumière produite en fin de vie serait encore d'au moins 70 %. La température accélère la baisse de l'efficacité lumineuse. Philips précise également que la couleur peut varier sur certaines LED blanches et tirer sur le vert en vieillissant.
- Le processus de fabrication d'une LED est très coûteux en énergie (mais une production à grande échelle comme actuellement permet de réduire massivement ce coût).