

cours et principe de fonctionnement

La diode L.E.D.

Cette diode émet de la lumière quand elle polarisée en direct. Elle est maintenant très utilisée pour l'éclairage des habitations et depuis 1975 comme voyants lumineux dans les appareils électroniques.

Principe de fonctionnement

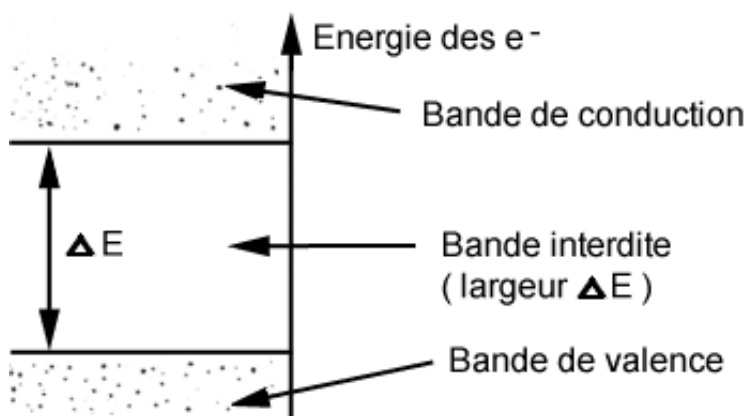
Le mot LED est l'acronyme de Light Emitting Diode (Diode Electroluminescente en français). Le symbole de la LED ressemble à celui de la diode mais on y a ajouté deux flèches sortantes pour représenter le rayonnement lumineux émis.



Symbole de la LED.

Electroluminescence

La physique des semi-conducteurs nous enseigne que les électrons dans les solides cristallins se situent à des niveaux d'énergie spécifiques. Ces niveaux très proches les uns des autres, sont regroupés en "bandes d'énergie".



Un électron de la bande de valence peut passer dans la bande de conduction à condition d'acquérir une énergie supplémentaire au moins égale à ΔE .

C'est l'effet photoélectrique.

Un électron de la bande de conduction peut passer dans une bande de valence. Dans ce cas il libère une énergie au moins égale à ΔE .

Cette énergie peut être :

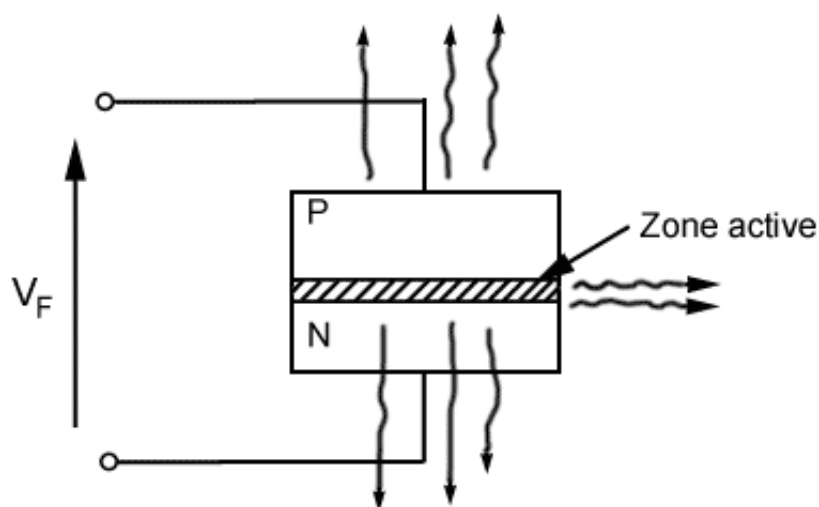
- Dissipée sous forme de chaleur (phonons),
- émise sous forme de lumière (photons).

C'est l'effet électroluminescence (visible ou non).

Jonction P.N.

Ce phénomène d'électroluminescence sera obtenu à la condition de créer une forte quantité d'électrons dans la bande de conduction. On l'obtient par injection de porteurs en polarisant dans le sens direct, une jonction PN à semi-conducteur.

Le même résultat aurait pu être obtenu en irradiant le cristal avec une source lumineuse d'énergie importante (photoluminescence) ou par bombardement électronique (cathodoluminescence).



Selon la fabrication, la lumière peut être émise soit latéralement, soit perpendiculairement à travers la mince couche N ou P.

Caractéristiques optiques

Longueur d'onde du pic d'émission

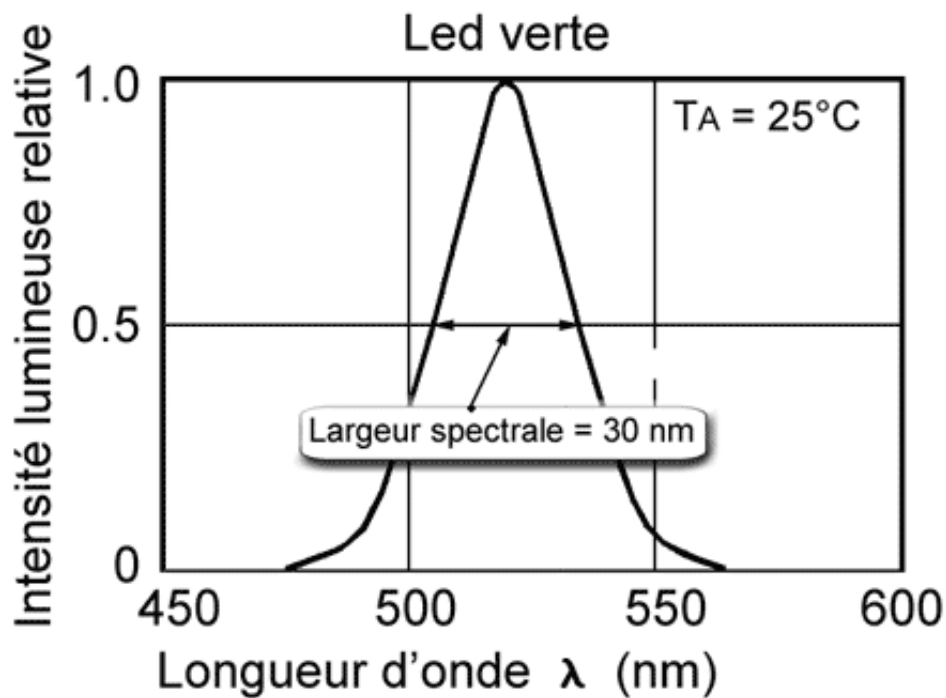
Cette valeur nous indique la longueur d'onde (λ_p), en nano-mètre, à laquelle est émis la plus importante partie du rayonnement (wavelength). La valeur est donnée pour une intensité de [courant \(\$I_F\$ \)](#).

Spectre ou largeur spectrale à mi-intensité

Le spectre d'émission d'une diode LED est relativement étroit.

Exemple : pour une longueur d'onde à intensité maximale égale à 520 nm,

la longueur d'onde à intensité moitié pourra être comprise de 505 nm à 535 nm (soit une largeur spectrale de 30 nanomètres).



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 :

Matériaux	Rayonnement	Longueur d'onde
InAs	ultra-violet	315 nm
InP	infra-rouge	910 nm
GaAsP ₄	rouge	660 nm
GaAsP ₈₂	jaune	590 nm
GaP	vert	560 nm

Correspondance couleurs, longueurs d'onde et énergie des photons

Couleur	Longueur d'onde (nm)	Energie des photons (eV)
UltraViolet	< 390	> 3,18
Violet	390-455	2,72-3,18
Bleu	455-490	2,53-2,72
Cyan	490-515	2,41-2,53
Vert	515-570	2,18-2,41

Jaune	570-600	2,06-2,18
Orange	600-625	1,98-2,06
Rouge	625-720	1,72-1,98
InfraRouge	> 720	< 1,72

Diagramme de rayonnement

Le flux lumineux n'est pas homogène tout autour de la LED. La répartition spatiale de la puissance émise dépend de la forme de la diode LED :

- forme de la partie émissive (point, trait...),
- avec lentille de concentration ou sans,
- diffusante ou non.

Cette répartition est définie par le diagramme de rayonnement qui représente la répartition angulaire de l'intensité relative émise.

Exemple :

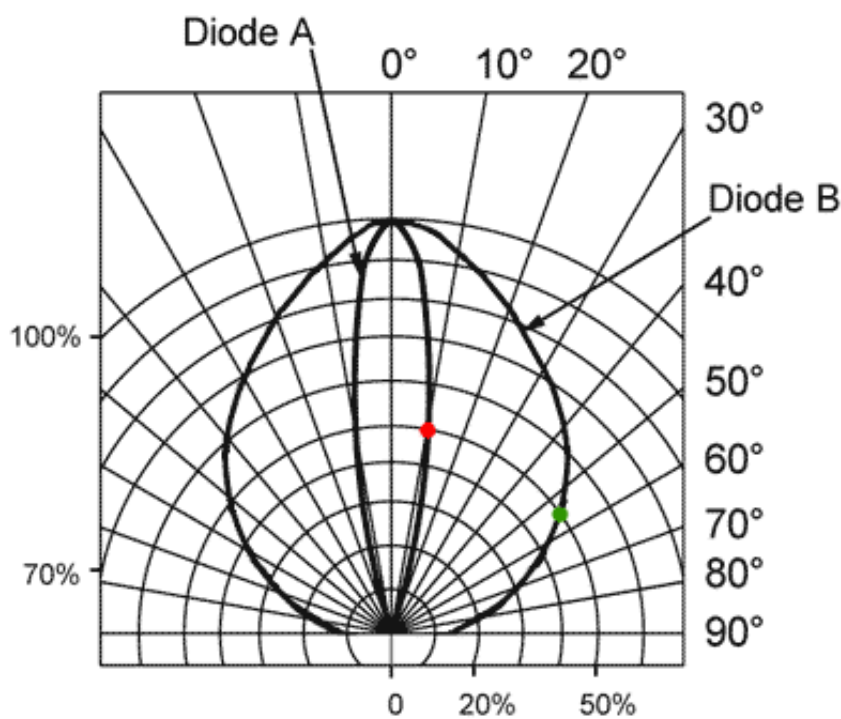


Diagramme de rayonnement

Angle d'émission à mi-intensité

Les fabricants précisent souvent l'angle pour lequel l'intensité lumineuse a été réduite de moitié. Sur le diagramme ci-dessus, le point rouge indique un angle de 10 degrés et le point vert un angle de 50° pour une intensité relative émise de 50%.

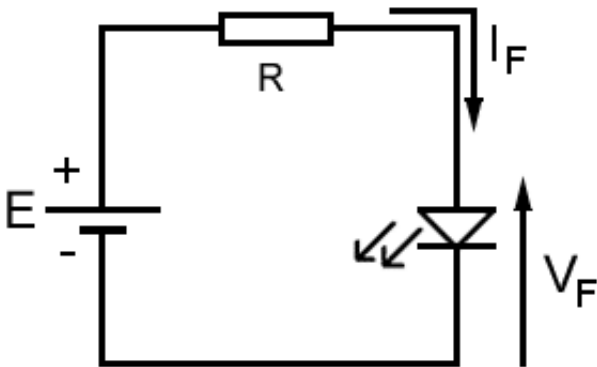
Intensité lumineuse

L'intensité lumineuse (mesurée en candelas) est la quantité de lumière émise dans une certaine direction à 1 mètre de distance. Dans les caractéristiques optiques des leds nous l'exprimons aussi en micro-candela (mcd) et se note I_V .

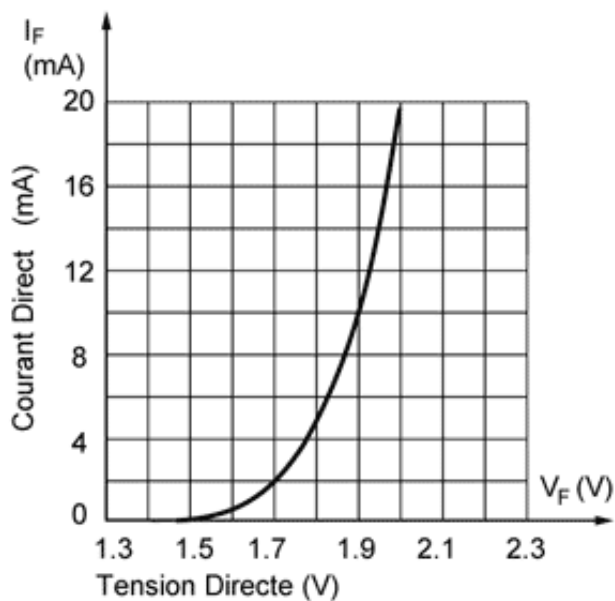
Caractéristiques électriques

Point de fonctionnement et tension direct

Une LED se comporte électriquement comme une diode. Pour émettre elle doit être polarisée en direct.



La caractéristique $I_F(V_F)$ montre que la tension de conduction de la diode LED (forward voltage) est environ 1,5 volts à 2 V.



Le courant I_F vaut environ $E - 2V/R$.

En pratique, le constructeur préconise 10 à 20 mA.

Le courant traversant la LED détermine l'intensité lumineuse émise.

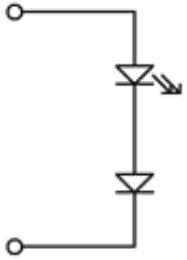
Remarque : certaines diodes ont des tensions de construction de l'ordre de 3 volts et plus.

Tension inverse (V_R)

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 comme une diode de redressement par exemple. Les valeurs courantes se situent telles que $V_R \text{ max} = \pm 3 \text{ V}$ à 5 V (reverse voltage) ; 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.



Courant direct en continu (I_F)

Le courant direct (mA) est donné en règle générale pour une température ambiante (T_A) de 25°C . C'est le courant permanent que peut supporter la diode. Comme un semi-conducteur chauffe (avec aggravement si $T_A > 25^\circ\text{C}$), il est recommandé de réduire l'intensité du courant (forward current).

Courant direct de crête (I_{FM})

C'est l'intensité d'une impulsion de courant direct maximum qui peut être appliquée à la LED pendant une durée déterminée. Entre deux impulsions de cette intensité, le composant doit avoir le temps de refroidir. Il faudra donc choisir un rapport entre durée d'impulsion et durée de pause assez grand.

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.

Les puissances des diodes LEDs destinées aux applications d'éclairage de locaux ou des lieux publics sont de l'ordre du Watt voir beaucoup plus quand il s'agit de module LED.

Influence de la tension directe

Toutes les LEDs présentent des variations de tension directe en fonction des changements de température de jonction. Le coefficient de température dépend du type de jonction. Les LEDs InGaAlP (jaune, orange et rouge) ont un coefficient compris entre $-3,0 \text{ mV/K}$ à $-5,2 \text{ mV/K}$, et la LED InGaN (bleu, vert et blanc) ont un coefficient compris entre $-3,6 \text{ mV/K}$ et $-5,2 \text{ mV/K}$.

Influence du courant I_F sur l'intensité lumineuse

L'œil est sensible à l'intensité lumineuse moyenne émise. L'intensité lumineuse donnée par le fabricant est obtenue dans des conditions de fonctionnement qu'il doit spécifier. Généralement il

utilise un courant continu (à $T_A = 25^\circ \text{C}$).

D'autres valeurs de courant se traduisent par d'autres intensités lumineuses. En exploitant d'autres caractéristiques I_V (I_F) on s'aperçoit alors que l'intensité lumineuse augmente plus vite que le courant, c'est-à-dire que le rendement augmente pour un courant I_F , élevé mais bref, appelé [courant de crête](#).

Voir l'exemple [de la modulation d'une led infra-rouge pour télécommande RC5](#).

Il est alors extrêmement intéressant d'alimenter la LED en courant pulsé au lieu du courant continu. La valeur crête du courant permet alors d'obtenir des intensités lumineuses importantes. De ce fait nous pouvons :

- augmenter l'intensité lumineuse émise à consommation électrique moyenne égale,
- diminuer la consommation électrique tout en obtenant une intensité lumineuse égale,
- réduire l'échauffement de la jonction.

Influence de l'intensité lumineuse sur la température

L'intensité lumineuse diminue à mesure que la température augmente. Il s'agit d'un résultat de l'évolution des gains d'efficacité dans le semi-conducteur, et non le résultat de la variation de la tension direct en fonction de la température. Ce changement de température est non linéaire.

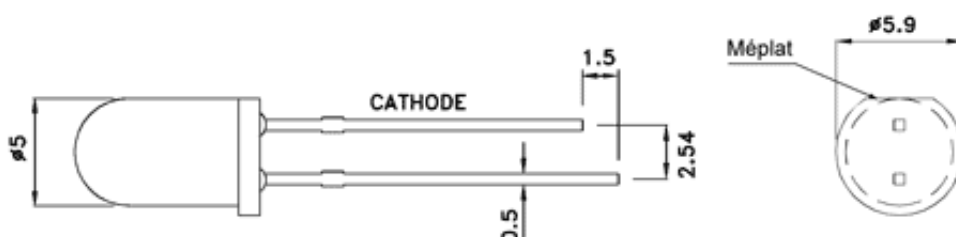
Décalage des coordonnées de chromaticité

Les caractéristiques de couleur des LED sont dépendantes du courant direct. Une attention particulière doit être accordée lors de l'utilisation des pilotes ou driver utilisés avec des LEDs RVB. Les gradateurs d'éclairage ne devraient pas modifier le rendu des couleurs. La solution préférée, est une gradation par PWM pour que chaque LED, de la composante RVB, soit pilotée avec le courant direct adapté.

Caractéristiques physiques

Composants traversants

Les fabricants proposent maintenant des leds de formes variées ; la plus commune de toutes étant la ronde. Elle se décline en plusieurs diamètre : 1,35 mm, 3 mm, 5 mm à 10mm. Nous trouvons également des led rectangulaires, triangulaires, carrées et en barre. Il faut bien repérer les connexions anode et cathode et respecter les consignes de mise en oeuvre lors de l'implantation de la led sur le circuit imprimé ou du soudage avec des fils.



Composants CMS

Sous cette forme les boîtiers sont moins encombrants et nous pouvons en souder plus sur une surface donnée. Ils conviennent pour la réalisation d'affichage, de feux de signalisation, modules électroniques miniatures ou une matrice de leds.



Réseau de LEDs

Les diodes électroluminescentes discrètes peuvent être organisées en réseaux linéaires ou plan. Dans le premier cas, elles peuvent remplacer un affichage analogique classique (galvanomètre). Dans le second cas, elles serviront à toutes sortes d'affichages, y compris graphiques et leur commandes sera généralement multiplexée.

Commande d'un réseau linéaire avec signal analogique

Après l'affichage par galvanomètre, puis l'affichage numérique, on trouve maintenant de plus en plus, un affichage mixte, où les valeurs analogiques sont quantifiées et affichées en échelle par tout ou rien.

C'est l'affichage analogique linéaire "bar-graph".

Formes

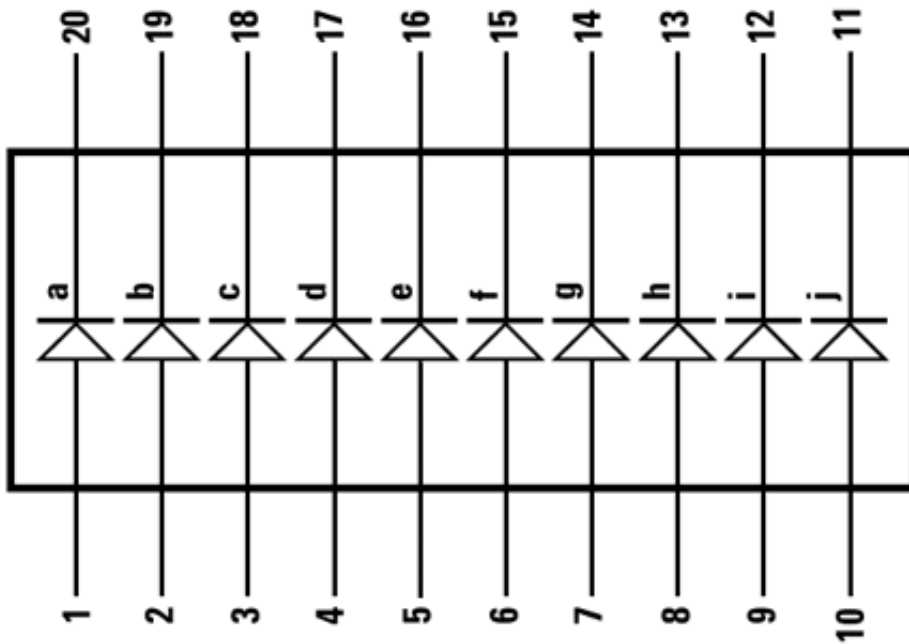
Les formes peuvent être variées :

- en ligne horizontale,
- verticale,
- multiple,
- circulaire simple,
- multiple.

Exemples de réseau linéaire à LEDs :

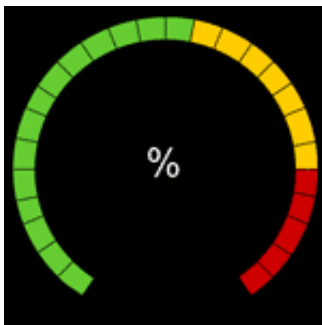


Schéma interne d'un réseau de leds :



sur cette configuration, on remarque bien la disponibilité de chacune des connexions des leds.

Illustration d'un réseau circulaire à LEDs :



L'affichage peut respecter toutes les lois mathématiques (logarithmiques par exemple) et être commandé à partir d'informations codées de toutes sortes.