

Les LEDs sont utilisées depuis une quarantaine d'années, principalement pour des applications de signalisation (calculatrice, voyant d'appareil électroménager, etc.). La technologie des LEDs n'a cessé de progresser depuis. De nouvelles applications d'éclairage à LEDs se développent chaque jour, améliorant ainsi les performances en matière de puissance, de consommation d'énergie et de durée de vie des nouveaux équipements d'éclairage.

- [Définitions](#)
- [Caractéristiques techniques générales](#)
- [Les LEDs blanches](#)
- [Le marché des LEDs](#)
- [Brillant futur pour l'éclairage à LEDs ?](#)

Définitions

Flux lumineux Φ (Lumens)

C'est la quantité d'énergie émise par une source sous forme de rayonnement visible dans toutes les directions, par unité de temps.

Angle d'émission α (Degrés)

C'est l'angle de demi-intensité lumineuse de la LED, c'est-à-dire l'angle total (dans les deux directions par rapport à l'axe optique) à l'intérieur duquel l'intensité lumineuse (en Candela (cd)) est supérieure à la moitié de l'intensité lumineuse maximale.

Efficacité lumineuse (Lumens/Watts)

Elle définit la capacité d'un éclairage à produire un flux important à partir d'un Watt (W) électrique absorbé. Il faut distinguer trois efficacités lumineuses, suivant que l'on tient compte:

- de la source lumineuse seule,
- de la source lumineuse et de son alimentation électrique (transformateur, redresseur, ballast...),
- de la source lumineuse, de son alimentation électrique et des pertes optiques de l'installation (diffuseur, réflecteur...).

Remarques :

- Les efficacités lumineuses des LEDs testées en laboratoire sont toujours nettement plus élevées que celles des LEDs commercialisées.
- L'unité lumen dépend de la sensibilité de l'œil à la lumière. Il est donc plus facile d'avoir des hautes efficacités lumineuses dans l'orange, longueur d'onde à laquelle les humains sont très sensibles.

Température de couleur (Kelvin)

C'est la couleur apparente émise par une source lumineuse blanche. Elle s'exprime en degrés Kelvin ($0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$). Les lumières de teintes chaudes tirent sur le jaune-rouge et ont une température de couleur inférieure à 3000°K (2700 à 2900°K pour les lumières "incandescentes"). Les lumières de teintes froides tirent sur le bleu-violet et ont une température de couleur comprise entre 5.000 et 10.000°K (6.500°K pour des luminaires de teinte "lumière du jour"). Selon la règle de Kruithof, plus la couleur apparente est chaude (plus la température de couleur est faible), plus le niveau d'éclairage (en lux) peut être faible sans nuire à la sensation de bien être.

Indice de Rendu des Couleurs (IRC)

Cet indice compris entre 0 et 100 définit l'aptitude d'une source lumineuse à restituer les différentes couleurs des objets qu'elle éclaire, par rapport à une source de référence. La lumière solaire a un IRC de 100, tandis que des lampes à vapeur de sodium (utilisées dans les tunnels routiers par exemple) ont un IRC de 20. Dans les magasins, les locaux scolaires ou les bureaux, l'IRC devrait toujours être supérieur à 80.

Voici les appréciations que l'on peut tirer d'un IRC:

- IRC compris entre 0 et 50 : très mauvais
- IRC compris entre 50 et 70 : mauvais
- IRC compris entre 70 et 80 : passable
- IRC compris entre 80 et 90 : bon
- IRC compris entre 90 et 100 : très bon

Caractéristiques techniques générales

Les 2 familles

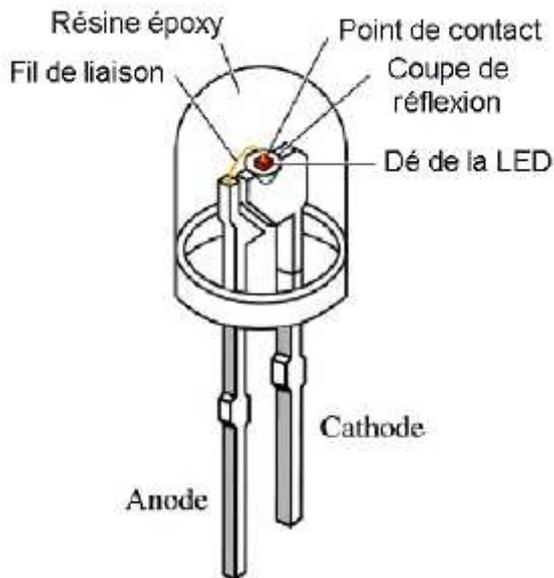
Il existe deux grandes familles de LEDs : inorganiques (LED) et organiques (OLED). Notons simplement que les LEDs organiques (OLEDs) sont en développement, et que les premières applications commencent à peine à arriver sur le marché. Alors que les LEDs fournissent des sources ponctuelles similaires aux lampes à incandescence, les OLEDs pourraient remplacer les sources plus étendues comme les tubes fluorescents. Pour le moment la mauvaise efficacité lumineuse des OLEDs, ainsi que leurs courtes durées de vies font qu'elles ne sont pas utilisées pour l'éclairage. Par contre, les industriels comptent les utiliser à terme pour les applications d'affichage et de signalisation. Nous nous intéresserons dans ce qui suit uniquement aux LEDs (inorganiques).

Les LEDs inorganiques classiques sont des jonctions P-N (diodes) dopées afin d'émettre un rayonnement visible ou ultraviolet quand un courant les traverse dans le sens passant. Le rayonnement émis par une LED classique (rouge, verte) est presque monochromatique (raie spectrale). Le rayonnement des LEDs blanches est dichromatique ou polychromatique suivant la technique utilisée (voir plus bas).

Les différents formats

Les formes des LEDs peuvent être très différentes suivant les modèles. Les LEDs peuvent être: rondes 5mm (la plus classique), rondes 3mm, carrées 7,6 mm, miniatures (pour CMS), ou encore montées sur un circuit spécial (voir la LED Luxéon de Lumileds)

L'encapsulation



Dans tous les types de LEDs la puce semi-conductrice lumineuse (ou 'dé') est complètement encapsulée dans un matériau plastique transparent, généralement une résine époxy, qui joue le rôle de lentille et détermine l'angle d'émission lumineuse. Ce format rend les LEDs très résistantes aux chocs, par contraste avec une ampoule de verre.

L'alimentation électrique

Les LEDs fonctionnent toujours en courant continu basse tension (de 0,5 à 3 Volts par LED selon la couleur). Elles sont souvent montées en série pour augmenter le niveau de tension. Elles sont généralement alimentées en continu 9V, 12V ou 24V, à partir de batteries, de piles ou de photopiles. En continu, le circuit d'alimentation est très simple: il suffit d'ajouter une résistance correctement dimensionnée entre la source de tension continue et la LED.

Exemple : on peut brancher une LED classique rouge (1,2 volts) en série avec une résistance de 180 ohms, le tout alimenté en 5V. Le courant atteint alors 21 mA $[(5-1,2) / 180]$. Remarquons que les trois quarts de l'énergie sont perdues dans la résistance (80 mW contre 25 dans la LED).

En alternatif, des convertisseurs (alternatifs/continu) permettent d'alimenter des luminaires à LEDs à partir du 230 V. Cependant ces convertisseurs peuvent avoir un très mauvais rendement (inférieur à 50%), ce qui réduit d'autant l'efficacité lumineuse de l'ensemble. Il est donc important de bien concevoir ces alimentations pour réduire les consommations. Les LEDs classiques absorbaient un courant de l'ordre de 20 mA pour une puissance de 0,025 W en 1,2V. Mais la puissance de certaines LEDs récentes atteint aujourd'hui 5W

La durée de vie

La durée de vie des LEDs est définie comme la durée avant laquelle la LED n'émettra plus que 50% de son flux lumineux initial. Selon les fabricants de LEDs, ces durées de vies sont supérieures à 100.000 heures (plus de 11 ans en continu), parfois même 150.000 heures. C'est 100 fois plus élevé que pour une lampe à incandescence classique. C'est actuellement l'intérêt majeur des LEDs. Les LEDs conventionnelles perdaient 30% de leur efficacité lumineuse après 3.000 heures d'utilisation à cause du jaunissement de l'encapsulation en époxy. Ce problème a été résolu sur les dernières générations de LEDs.

L'efficacité lumineuse

L'efficacité lumineuse des LEDs dépend de la technologie utilisée. Elle varie énormément avec la couleur émise par la LED, ainsi qu'avec le fabricant. Le tableau ci-dessous donne des ordres de grandeurs, pour les meilleures LEDs (les modèles standards produisent 100 à 1.000 fois moins).

	Rouge/orange	Jaune/Ambre	Vert	Bleu	Blanc
Efficacité lumineuse (Lm/W)	53	35	25-42	5-15	15-25

LEDs blanches : les prévisions selon l'OIDA (Optoelectronics Industry Development Association)

	2002	2007	2012	2020
Efficacité lumineuse (lm/W)	25	75	150	200
Durée de vie (h)	> 20 000	> 20 000	> 100 000	> 100 000
Flux par lampe (lm)	25	200	1000	1500
Indice de rendu des couleurs (IRC)	75	80	> 80	> 80
Marché pénétré		Incandescence	Fluorescence	Tous

Les LEDs blanches

Comment émettre de la lumière blanche à partir de LEDs ?

Les LEDs classiques n'émettent qu'autour d'une longueur d'onde donnée (raie spectrale), alors que la lumière blanche solaire ou incandescente émet sur toute l'étendue du spectre visible de manière continue et homogène. Différentes méthodes sont utilisées pour créer de la lumière blanche ou pseudo-blanche à partir de LEDs. Notons que ces méthodes sont relativement récentes puisqu'elles s'appuient toutes sur l'émission de LEDs bleues ou UV, qui furent particulièrement complexes à réaliser, et n'ont été commercialisées qu'à partir de 1990.

Méthode 1 - Mélange de LEDs de couleurs

La mise au point récente par Nichia de LEDs bleues, permet de produire de la lumière blanche à partir d'un mélange de LEDs rouges, vertes, et bleues dans un même luminaire, spot, ou 'tableau' à LEDs. La température de couleur obtenue dépendra du nombre relatif de chaque type de LEDs. Cette méthode a deux avantages: l'efficacité lumineuse globale est bonne (de l'ordre de 25 lumens par Watt et plus), et elle permet de faire varier les intensités lumineuses de chaque groupe de LEDs afin d'obtenir la température de couleur désirée. C'est la méthode la plus efficace pour le moment. Un IRC de 80 peut être atteint en utilisant 3 types de LEDs soigneusement sélectionnées, mais les meilleures performances sont atteintes avec 4 ou 5 groupes de LEDs de couleurs différentes. Cette méthode sera probablement la plus utilisée à long terme. Mais le mélange homogène des couleurs reste très difficile à réaliser et coûteux.

Méthode 2 - LED bleue et phosphore(s)

Cette méthode utilise le principe de fluorescence. La LED blanche est fabriquée à partir d'une diode émettant dans le bleu (GaN). Une couche luminescente à base de phosphore est déposée au-dessus pour convertir une partie du rayonnement émis en un rayonnement jaune. La lumière visible résultante est donc un mélange de bleu et de jaune, vu comme un pseudo-blanc. Ces LEDs ont une efficacité lumineuse de 15 à 25 lumens par Watt et plus, selon les fabricants (Nichia, CREE). Ce sont les plus répandues sur le marché actuellement. Leur température de couleur est d'environ 4.000K et leur IRC est de 75, ou plus faible (c'est à dire assez mauvais). Un "halo" gênant est également présent pour ces LEDs: alors que la lumière bleue est directive, la lumière jaune émise est multidirectionnelle.

Méthode 3 - La méthode Schubert

Cette méthode développée par le professeur Fred Schubert de l'université de Boston, permet de créer un pseudo-blanc sans phosphore. Cette LED est appelée PRS-LED, pour Photon Recycling Semi-conductor LED. Le principe est le suivant: au niveau du semi-conducteur, une source primaire est excitée par le courant électrique injecté. Cette région active émet alors un rayonnement visible bleu (InGaN) dont une partie va être absorbée par une région active secondaire (AlInGaP) qui "recycle" ces photons émis. Ce recyclage permet la réémission de lumière de longueur d'onde plus élevée (jaune ou rouge), qui, associée à la lumière résiduelle et complémentaire émise par la source primaire, donnera une source-dichromatique pseudo-blanche. Cette méthode n'est pas encore utilisée industriellement.

Méthode 4 – Les LEDs à UV et trois phosphores ou plus

Cette méthode utilise le rayonnement d'une LED à UV qui est absorbé par différents phosphores, qui émettent alors simultanément des couleurs complémentaires. L'IRC est alors similaire à celui des lampes fluorescentes (bon). Mais le fait que le rayonnement UV ne soit pas visible directement (contrairement à la lumière bleue dans la méthode 2), nécessite que l'émission d'UV soit très efficace, pour concurrencer la méthode 2.

Quelles sont les forces et les faiblesses des LEDs blanches pour l'éclairage ?

Les LEDs sont-elles plus efficaces que les autres sources lumineuses blanches?

D'un point de vue purement technique la réponse est "Non, pas encore ... mais cela ne saurait tarder ...", comme le montre le tableau ci-dessous.

	Incandescent	Halogène	Fuocompacte	Tube fluorescent	Sodium haute pression	LED Blanches
Efficacité lumineuse des ampoules seules (lm/W)	5-15	10-26	50-70	70-120	75-150	15-80 (en 2008) 150 (en 2012)
Durée de vie (heures)	1 000	4 000	12 000	10 000 à 20 000	16 000	100 000 à 150 000
Indice de rendu des couleurs (IRC)	100	100	85	85	65	65 (bleue) à 85 (UV)

Remarque: en incluant les pertes des ballasts, les LBC ont une efficacité lumineuse moyenne d'environ 45-60 Lm/W, et les tubes T8 de 36 W d'environ 80 Lm/W.

Les LEDs permettent-elles actuellement de réaliser des économies d'énergie?

Oui, dans certaines applications, compte tenu des caractéristiques optiques des LEDs (couleurs, directivité, type d'alimentation électrique...), les LEDs peuvent remplacer avantageusement l'éclairage

"traditionnel" avec un flux lumineux (en lumens) et une puissance appelées moins importants, pour un service équivalent. Elles sont particulièrement intéressantes pour des applications qui nécessitent un éclairage très directionnel.

Les LEDs sont-elles rentables d'un point de vue économique?

La fiabilité et la durée de vie des LEDs permettent dans les endroits où la maintenance des luminaires pose problème, d'amortir rapidement le surcoût d'achat.

Avantages de la technologie LED

- Allumage instantané (contrairement aux lampes ou tubes fluorescents).
- Durée de vie beaucoup plus longue qu'une lampe à incandescence classique ou même qu'une lampe fluorescente (50 000 à 100 000 heures contre 6 000 à 15 000 heures pour les fluorescentes et au maximum un millier d'heures pour les lampes à incandescence).
- Fiabilité : grande résistance aux chocs, vibrations et écrasement.
- Insensibilité aux allumages répétés et aux basses températures
- Directivité: l'angle d'émission des LEDs actuelles peut varier de 15° à 120°. On peut donc obtenir au choix des éclairages très directifs sans ajout de réflecteurs ou de lentilles (liseuses, torches), ou bien des éclairages beaucoup plus diffus.
- Possibilité de contrôle de l'intensité lumineuse très facile, par simple variation de la tension d'alimentation.
- Possibilité de contrôle de la température de couleur (cas du mélange de LEDs colorées, méthode 1).
- Utilisation possible à basse puissance et basse tension (utilisation directe sur batteries).
- Large gamme de couleurs possibles (sans utilisation de filtres).
- Petite taille et esthétique (par rapport au LBC).
- Facilité de montage sur un circuit imprimé, traditionnel ou CMS
- Faible à très faible consommation électrique (quelques dizaines de milliwatts) grâce à un très bon rendement.
- Taille beaucoup plus petite que les lampes classiques. En assemblant plusieurs LED, on peut réaliser des éclairages avec des formes novatrices.
- Fonctionnement en très basse tension (TBT), gage de sécurité et de facilité de transport. Il existe pour les campeurs des lampes de poche à LED actionnées par une simple dynamo à main (« lampe à manivelle ») de mouvement lent.
- Atout non négligeable en matière de sécurité, par rapport aux systèmes lumineux classiques, leur inertie lumineuse est quasiment nulle. Elles s'allument et s'éteignent en un temps très court, ce qui permet l'utilisation en transmission de signaux à courte distances (optocoupleurs) ou longues (fibres optiques). Les LED atteignent immédiatement leur intensité lumineuse nominale.
- Vu leur puissance, les LED classiques 5 mm ne chauffent presque pas et ne brûlent pas les doigts. Pour les montages de puissance supérieure à 1 W, il faut prévoir une dissipation de la chaleur sans quoi la LED sera fortement endommagée voire détruite du fait de l'échauffement. En effet, une LED convertit environ 20 % de l'énergie électrique en lumière, le reste étant dégagé sous forme de chaleur.

Le marché des LEDs

Les fabricants de LEDs

Les trois principaux fabricants de LEDs au monde sont les entreprises NICHIA (Japon), Philips LUMILEDS (Europe/Etats-Unis) et CREE (Etats-Unis). Un autre grand constructeur est AGILENT.

La signalisation par LEDs

Le marché des luminaires à LEDs n'est pas encore très développé en France. Mais les LEDs peuvent dès à présent être utilisées avec profit pour les applications suivantes de signalisation :

Les feux de circulation

Les LEDs dans cette application sont dans certains cas dix fois plus efficaces que les lampes à incandescence habituellement utilisées, du fait surtout de leur directivité et de leur couleur. La maintenance est également très fortement réduite. De plus les lampes incandescentes utilisées pour ces feux ont un bas rendement.

Exemple d'un feu piéton :

- 2 x 40 W en incandescent,
- 6 à 10 W avec des LEDs. Les gros feux sont encore très coûteux, mais les progrès de cette technologie ont été fulgurants durant ces dernières années.

La ville de Grenoble s'est lancée dans l'aventure et a investi 150.000 Euros pour changer tous les feux de circulation en feux à LED. L'investissement a été remboursé en 3 ans et la ville économise 55.000 Euros par an. Le remplacement des lampes à incandescence par des LED représente un triple intérêt. Celles-ci permettent un gain de consommation important, un gain de maintenance grâce à leur longévité très supérieure, et offrent également une plus grande sécurité. En effet, la lumière colorée des LED évite la pose de caches de couleur sur les boîtiers, améliorant ainsi nettement la visibilité.

Le balisage urbain, la sécurité routière, et l'automobile.

De nombreux distributeurs proposent des systèmes de balisage et de signalisation à LEDs. Un système de balisage d'une autoroute en Suède a été mis en place à partir de LEDs. Les balises sont alimentées par un système photovoltaïque. Les constructeurs commencent également à utiliser les LEDs pour les feux de freinage (le troisième) les clignotants et les tableaux de bord.

Les BAES et BAEH

L'utilisation de LEDs pour la veilleuse et l'éclairage de secours de BAES (Bloc Autonome d'Eclairage de Secours) ou de BAEH permet de réduire considérablement la maintenance sur ces appareils. Les LEDs sont aujourd'hui couramment utilisées pour la fonction veilleuse, mais l'usage de LEDs pour l'éclairage de sécurité est encore rare.

L'éclairage à LEDs

Les lampes torches et frontales

On trouve de nombreuses torches, lampes frontales et phares à LED blanches ou bleues sur le marché. Les LEDs sont particulièrement appréciées pour ces applications, du fait de leur résistance aux chocs et de leur très longue longévité. Elles sont généralement alimentées avec des piles 1,5 V et ne contiennent que quelques LEDs (de 3 à 10 pour les torches, mais jusqu'à 60 pour un phare de plongée). On peut en trouver à partir de 15 Euros. L'utilisation de LEDs permet aussi de concevoir des torches magnétiques sans pile, qui ne soient pas trop encombrantes: en secouant la lampe pendant 30 secondes, on recharge à l'aide d'un aimant glissant à l'intérieur d'une bobine, un condensateur

capable d'alimenter une torche pendant près d'une heure. Ce système est construit pour durer des années.

Les luminaires en hauteur

Dans les usines, supermarchés, amphithéâtres, à l'extérieur... les sources lumineuses sont souvent placées à plus de trois mètres de hauteur ce qui rend la maintenance plus difficile et coûteuse. La durée de vie très importante des LEDs permet alors de réduire incroyablement les opérations de maintenance. Le surcoût des LEDs peut alors être amorti rapidement. On ne trouve malheureusement pas encore beaucoup de luminaires pour ce type d'application en France.

L'éclairage dans les pays "en développement"

Deux milliards de personnes n'ont pas accès à la lumière électrique. Les LEDs pourraient à terme remplacer les lampes à kérosène dangereuses et peu efficaces dans les villages qui le désirent. Le professeur Irvine-Halliday a mis au point une lampe à LEDs fonctionnant sur batteries rechargeables à partir d'énergies renouvelables (pico-turbines, photopiles, petites éoliennes). Un village de 60 maisons équipé de ces lampes absorbe une puissance de l'ordre de 100 W. Pourtant l'éclairage est de meilleure qualité que l'éclairage traditionnel (kérosène, bougie, pétrole...), et suffit à éclairer les postes de travail principaux des logements.

Les luminaires « design »

Les premiers luminaires à utiliser la technologie à LED sont fabriqués par de grands designers. Cette technologie permet d'élaborer de nouvelles formes. La qualité de l'éclairage est également appréciée. Artemide, Lucepla, Ingo Maurer ont développé des lampes de bureau ou des plafonniers à partir des LED.

Les éclairages décoratifs

Les LED sont souvent utilisées dans la décoration intérieure : on trouve des spots colorés à LED pour l'éclairage d'objets exposés, des galets, des torches de jardin, des « bandes » de LEDs qui peuvent servir comme nez de marches ou pour baliser les salles obscures, des panneaux en remplacement des néons colorés, des lampes dichroïques... Ces applications ne nécessitent pas de fortes puissances, et leur surcoût est justifié par leur aspect décoratif.

Brillant futur pour l'éclairage à LEDs ?

Les lampes à incandescence de Thomas Edison pourraient bien disparaître si les LEDs tiennent toutes leurs promesses.

Au cours des dernières années, les adaptations géométriques des puces électroniques ont permis de progresser sur le plan de l'émission de lumière. On dispose ainsi de plus de lumière, pour une consommation en électricité identique. On peut obtenir encore plus de clarté en agrandissant la puce. Il n'y a pas de raisons connues pour que l'efficacité lumineuse des LEDs blanches ne puisse atteindre un 200 lumens ou plus par watt.

Selon l'OIDA (Optoelectronics Industry Development Association) à Washington DC, les LEDs blanches pourraient permettre de diviser par deux la quantité d'électricité utilisée pour l'éclairage aux États-Unis d'ici 2020.