

de demain

Nicolas Grandjean

produire de la lumière blanche. Ces lampes sont de plus en plus présentes dans nos foyers, en particulier sous la forme d'ampoules fluocompactes, grâce à l'amélioration constante de la qualité de la lumière, la réduction du délai d'allumage et la diminution du prix d'achat.

Cependant, un autre type d'éclairage est apparu récemment sur le marché : les lampes à diodes électroluminescentes (LED, pour *Light-Emitting Diode*) blanches. Ces systèmes offrent des perspectives intéressantes pour un éclairage de qualité et à faible consommation ; ils pourraient remplacer les ampoules incandescentes d'ici une dizaine d'années.

En attendant, ces dispositifs peuvent encore être améliorés pour arriver à maturité. Cela passe notamment par une augmentation du rendement lumineux, défini comme le rapport du flux lumineux émis dans le domaine visible à la consommation électrique. Les LED blanches ont un rendement lumineux déjà élevé, mais il reste inférieur aux maxima théoriques qui, en fonction de la qualité de la lumière blanche, sont d'environ 350 à 400 lumens par watt. Le rendement actuel

L'ESSENTIEL

■ **L'éclairage représente plus de dix pour cent de la consommation d'électricité en France. Le remplacement des lampes à incandescence par des lampes plus efficaces, à base de diodes électroluminescentes (LED), entraînera des économies d'énergie.**

■ **Les LED au nitrure de gallium émettent une lumière bleue, dont une fraction est convertie en jaune pour donner de la lumière blanche.**

■ **Plusieurs pistes existent pour fabriquer du nitrure de gallium moins cher et de bonne qualité.**

RealCG/shutterstock.com

est de l'ordre de 100 lumens par watt pour les LED blanches, 50 à 80 lumens par watt pour les lampes fluocompactes et environ 15 lumens par watt pour les ampoules à incandescence, qui émettent surtout dans l'infrarouge.

Le principe de fonctionnement des LED blanches est très différent de celui des lampes à incandescence et fluorescentes. Nous allons voir qu'il est fondé sur la physique des semi-conducteurs et qu'il a nécessité une cinquantaine d'années de recherches et de développements avant d'aboutir à des lampes commerciales – dont le coût devrait baisser avec l'amélioration des techniques de fabrication.

Fluorescence contre rendement

Expliquons d'abord pourquoi les lampes fluocompactes ont un rendement lumineux non optimal. La raison principale est liée au phénomène de fluorescence et à l'énergie des photons impliqués – énergie directement reliée à la longueur d'onde (ou la couleur) du photon. La désexcitation des atomes de mercure produit des photons

ultraviolets de cinq électronvolts (un électronvolt est l'énergie acquise par un électron soumis à une tension de un volt). Un photon du spectre visible a une énergie plus faible, comprise entre deux (pour le rouge) et trois (pour le bleu) électronvolts. Lors de la fluorescence, la différence d'énergie entre le photon ultraviolet absorbé et le photon visible émis est convertie en chaleur sur les parois de la lampe. Pour obtenir un rendement maximal, il faudrait exciter un atome qui retournerait à son état fondamental en émettant directement un photon de longueur d'onde correspondant à la lumière visible.

Cette idée est applicable dans les semi-conducteurs. Dans un tel matériau, les électrons ne peuvent occuper que certaines gammes d'énergie, nommées bandes. Entre la « bande de valence » – la dernière bande remplie d'électrons – et la « bande de conduction », d'énergie supérieure, il existe une bande interdite correspondant à des énergies inaccessibles aux électrons. Lorsqu'un électron est excité avec une énergie suffisante, il peut passer de la bande de valence à la bande de conduction en laissant un « trou » dans la première. Lorsqu'il revient dans son état fondamental, l'électron se recombine avec un trou de la bande de valence en émettant un photon.

L'énergie de ce photon correspond à la différence d'énergie entre les deux bandes autorisées – la hauteur de la bande interdite. Certains semi-conducteurs présentent des configurations permettant l'émission de photons de longueur d'onde appartenant au domaine visible (*voir l'encadré page 35*).

■ **LA LUMIÈRE BLANCHE** est le résultat de l'addition des différentes couleurs du spectre électromagnétique visible (380 à 780 nanomètres de longueur d'onde). Il est possible d'obtenir de la lumière blanche en additionnant seulement deux couleurs, telles le bleu et le jaune.

■ **LE LUMEN** est l'unité de flux lumineux. Cette grandeur tient compte de la sensibilité spécifique de l'œil humain aux différentes longueurs d'onde de la lumière visible. Le rendement lumineux d'une lampe, exprimé en lumens par watt, est le rapport du flux lumineux à la puissance électrique.

■ **LA TEMPÉRATURE DE COULEUR** caractérise la lumière blanche qui peut être « chaude » ou « froide » selon que sa composante jaune ou bleue domine.

■ **L'INDICE DE RENDU DES COULEURS** caractérise la qualité d'une lumière blanche et la fidélité du rendu des couleurs perçues. La valeur maximale est de 100 pour la lumière du Soleil.

Lorsque la source d'excitation de l'électron est un courant électrique, on parle de phénomène d'électroluminescence. Cet effet a été observé pour la première fois en 1907 par le physicien anglais Henry Joseph Round. Ce processus est aujourd'hui largement mis à profit dans les diodes électroluminescentes et les lasers à semi-conducteurs. La première LED émettant dans le spectre visible – une LED rouge à base d'arséniure de gallium – fut réalisée par Nick Holonyak en 1962.

LED bleues pour lumière blanche

Durant la décennie suivante, les chercheurs ont développé de nouveaux matériaux semi-conducteurs et le domaine d'émission des LED a été étendu au bleu, avec le carbure de silicium, et au jaune-vert, avec le phosphore de gallium. Mais à l'exception des LED rouges, dont la forte luminosité a permis de les utiliser dans les feux « stop » des véhicules, les LED bleues et vertes sont restées peu efficaces jusqu'au début des années 1990. Leurs applications se sont donc limitées surtout aux témoins lumineux et à l'affichage.

En 1993, Shuji Nakamura, alors ingénieur de l'entreprise japonaise *Nichia*, annonça la mise au point de la première LED bleue à forte luminosité, constituée de nitrure de gallium (GaN). Son rayonnement était dix fois plus intense que celui des autres LED bleues existantes. Cette étape était cruciale pour le développement des LED blanches : en ajoutant un matériau fluorescent qui absorbe une fraction de la lumière

LAMPE À INCANDESCENCE



Rendement (en lumens/watt)

12-20

Indice de rendu des couleurs

100

Durée de vie (en heures)

1 000-2 000

TUBE FLUORESCENT



Rendement (en lumens/watt)

70-120

Indice de rendu des couleurs

40-90

Durée de vie (en heures)

6 000-15 000

LAMPE FLUOCOMPACTE



Rendement (en lumens/watt)

50-80

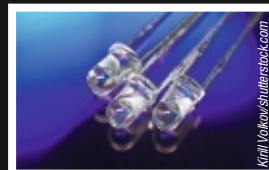
Indice de rendu des couleurs

85-90

Durée de vie (en heures)

6 000-15 000

LAMPE À LED BLANCHE



Rendement (en lumens/watt)

70-100

Indice de rendu des couleurs

80-85

Durée de vie (en heures)

25 000-50 000

1. DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE ont été développés ces 130 dernières années. Si la lampe à incandescence s'est imposée grâce à la qualité de sa lumière et au faible coût de fabrication d'une

ampoule, son rendement est très faible : une grande partie de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur. Les lampes à LED présentent un rendement élevé, qui peut encore être amélioré.